

ISSN 2072-8964

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№6 (62) 2010  
ноябрь-декабрь

№ 6 (62) ноябрь-декабрь 2010

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Орловский государственный технический университет»

Редакционный совет

Голенков В.А., председатель  
Радченко С.Ю., заместитель председателя  
Борзанков 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., Аверченков В.И.,  
Гайндрик К.Г., Еременко В.Т.,  
Иванов Б.Р., Иванников А.Д.,  
Ипатов О.С., Колоколов Ю.В.,  
Корндорф С.Ф., Коськин А.В.,  
Подмастерьев К.В., Поляков А.А.,  
Располов В.Я., Сотников В.В.,  
Шкатов П.Н.

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40  
(4862) 43-40-39; www.ostu.ru; E-mail: isi @ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору, в сфере  
связи и массовых коммуникаций,  
Св-во о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77-35333 от 17.02. 2009 г.

Сдано в набор 15.10.2010 г.  
Подписано в печать 25.10.2010 г.  
Формат 70x108 1/16.

Усл. печ. л. 9,5. Тираж 300 экз.  
Заказ № 111/10 П2

Отпечатано с готового оригинал-макета на  
полиграфической базе ОрелГТУ  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65

Рубрики номера

1. Математическое  
и программное обеспечение  
вычислительной техники  
и автоматизированных систем ..... 5-27
2. Математическое и компьютерное  
моделирование..... 28-65
3. Информационные технологии  
в социально-экономических  
и организационно-технических  
системах..... 66 -105
4. Автоматизация и управление  
технологическими процессами  
и производствами..... 106-126
5. Телекоммуникационные системы  
и компьютерные сети..... 127-141
6. Информационная безопасность.....142-149

Редакция

Г.А. Константинова  
А.И. Мотина  
А.А. Митин

До второго полугодия 2009 г.  
журнал выходил под названием  
«Известия ОрелГТУ».  
Серия «Информационные системы  
и технологии».

Подписной индекс 15998  
по объединенному каталогу  
«Пресса России»

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

© ОрелГТУ, 2010

№ 6 (62) November-December 2010

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

The founder – Orel State Technical University

### *Editorial council*

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

Arhipov O.P., Averchenkov V.I.,  
Gaidrik K.G., Eremenko V.T., Ivanov B.R.,  
Ivannikov A.D., Ipatov O.S., Kolokolov J.V.,  
Korndorf S.F., Koskin A.V., Podmasteriev K.V.,  
Polyakov A.A., Raspopov V.Ya.,  
Sotnikov V.V., Shkatov P.N.

### *The address of the founder of magazine*

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

### *The address of the edition*

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

Journal is registered in Federal Department  
for Mass Communication.

The certificate of registration  
ПН № ФС77-35333 from 17.02.2009.

It is handed over in a set of 15.10.2010,  
25.10.2010 are sent for the press  
Format 70x108 1/16.

Press conditions L. 9,5. Circulation 300 copies  
The order №

It is printed from a ready dummy on polygraphic base  
of OrelSTU  
302030, Orel, street Moscow, 65

### In this number

1. Software of the computer facilities  
and the automated systems..... 5 -27
2. Mathematical  
and computer simulation..... 28-65
3. An information technology in social  
and economic and organizational  
-technical systems .....66 -105
4. Automation and management  
of technological processes  
and manufactures.....106-126
5. Telecommunication systems  
and computer networks..... 127-141
6. The informational safety ..... 142-149

### *The edition*

Konstantinova G.A.  
Motina A.I.  
Mitin A.A.

Before the second half of the year 2009  
the magazine was leave under the name  
«Izvestia Orel State Technical University.  
Information systems and technologies».

Index on the catalogue  
of the «Pressa Rossii» 15998

© OrelSTU, 2010

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

## СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>Остриков А.Ю.</i> Алгоритм синтеза сети абонентского доступа с учетом характера мобильности пользователей.....	5
<i>Сотников В.В., Сибаров Д.А., Бирюков В.П., Комаров П.И., Григорьев А.П.</i> Алгоритм расчета и стабилизации октанового числа изомеризата .....	17
<i>Степанов Л.В.</i> Подход к формализации процесса формирования рынка.....	22

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Белов А.А., Кропотов Ю. А., Проскураков А.Ю.</i> Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля.....	28
<i>Литвинов А.Л., Зайцева Т.В., Игрунова С.В., Путивцева Н.П., Пусная О.П.</i> О возможности классификации изображений с учетом их особенностей и границ применимости .....	36
<i>Раков В.И., Захарова О.В.</i> Анализ особенностей автоматизированной системы научных исследований для быстродействующих промышленных контроллеров .....	44
<i>Хилов В.С.</i> Особенности расчета параметров поля вокруг токопровода при использовании датчика тока с элементами Холла.....	55
<i>Хайдаров А.Г., Холоднов В.А., Боровинская Е.С., Решетиловский В.П.</i> Интервальный метод оценки чувствительности констант скоростей при решении системы уравнений химической кинетики окисления метана.....	61

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

<i>Жиляков Е.Г., Ломазова В.И., Ломазов В.А.</i> Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем .....	66
<i>Нечаев Д.Ю.</i> Системный подход в исследовании многомерного коммуникационного пространства корпоративной информационной системы .....	71
<i>Тарасова М.А., Рогожина Т.С., Мосин Ю.В.</i> Программно-методическая система обучения и оценки знаний учащихся и студентов .....	79
<i>Рожков Г.Г.</i> Концептуальная модель данных автоматизированной системы управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия .....	86
<i>Старых В.А.</i> Открытая территориально-распределённая система управления информационными ресурсами .....	90
<i>Финогеева Э.А., Савва Ю.Б.</i> Девиантологические аспекты самореализации современной молодежи в сети Интернет.....	99

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>Зимнухова Ж.Е., Немтинов В.А.</i> Практическая реализация технологии поддержки принятия решений для автоматизированной системы технологической подготовки экологически безопасного производства изделий из металлов .....	106
<i>Константинов И.С., Иващук О.Д.</i> Особенности построения и интеллектуализация системы экомониторинга в составе автоматизированной системы управления экологической безопасностью .....	113
<i>Светкин А.В., Иващук О.А.</i> Подсистема Интернет-представительства для обработки входящих заявок в АСУП.....	119
<i>Прасов М.Т., Агарков Д.В.</i> Повышение достоверности контроля параметров в АСУ микроклимата с помощью интеллектуальных датчиков .....	123

### ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

<i>Киселев А.А., Войцеховский А.И., Гусяков В.В.</i> Решение организационных вопросов присоединения сетей связи специального назначения ЕСЭ России к базовой сети тактовой сетевой синхронизации .....	127
<i>Казаков П.В., Левкина А.А.</i> Советующая система оптимизации выбора оборудования компьютерных сетей .....	136

### ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Корсунов Н.И., Титов А.И.</i> Анализ алгоритмов шифрования, применяемых для предотвращения утечки информации с web-сервера .....	142
---	-----

## CONTENT

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

- Ostrikov A.Y.* Synthesis algorithm for subscriber access networks, taking into account nature of user mobility .....5
- Sotnikov V.V., Sibarov D.A., Biryukov V.P., Komarov P.I., Grigoriev A.P.* Algorithm of calculating and stabilization of octane number of izomerizate .....17
- Stepanov L.V.* Approach to formalize the process of market formation .....22

### **MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION**

- Belov A.A., Kropotov Y.A., Proskuryakov A.Y.* The automated analysis and processing time numbers of the data about polluting emissions in system of the ecological control.....28
- Litvinov A.L., Zaytseva T.V., Igrunova S.V., Putivtseva N.P., Pusnaya O.P.* About possibility of classification of graphic images taking into account their features and borders of applicability .....36
- Rakov V.I., Zaxarova O.V.* Analysis of the characteristics of an automated system of scientific research for high-speed industrial controllers .....44
- Khilov V.S.* Features of the calculation of the parameters of the field around bus ducts when paired with current Hall elements .....55
- Khaydarov A.G., Kholodnov V.A., Borovinskaya E.S., Reshetilovskiy V.P.* Interval method of sensitivity computation for chemical reactions rate constant on the solving of chemical kinetic equations system (for example oxidation of methane) .....61

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

- Zhiluyakov E.G., Lomazova V.I., Lomazov V.A.* Selection of additive functional models of complex systems.....66
- Nechayev D.Y.* Systemic approach to research multidimensional communication space of the corporate information system .....71
- Tarasova M.A., Rogozhina T.S., Mosin Y.V.* Programmno-methodical sistem of teaching and marks of knowledge of pupils and students .....79
- Rozhkov G.G.* Conceptual model of the data of the automated control system of process of training on the basis of parameters of interactive interaction .....86
- Strykh V.A.* The open territorially-distributed control system of information resources .....90
- Finogeyeva E.A., Savva Y.B.* Deviationologic aspects of self-realization of modern youth in the Internet.....99

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

- Zimnukhova Zh.E., Nemtinov V.A.* Practical implementation of technology decision support for automated system technological preparation of environmentally safe manufacture of metal products .....106
- Konstantinov I.S., Ivaschuk O.D.* Features of construction and intellectualization ecomonitoring within the automated system of environmental safety management.....113
- Svetkin A.V., Ivaschuk O.A.* Enterprise Internet-representation subsystem for processing incoming issues ..... 119
- Prasov M.T., Agarkov D.V.* Data control reliability enhancement in microclimate ACS using intellectual sensors ..... 123

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

- Kiselev A.A., Voytsekhovskiy A.I., Guslyakov V.V.* Decision of the organizing questions of the joining telecommunications special purpose to backbone network of the pulsing network synchronizing ..... 127
- Kazakov P.V., Levkina A.A.* The advising system for select network equipment..... 136

### **THE INFORMATION SAFETY**

- Korsunov N.I., Titov A.I.* Analysis of the encryption algorithms used to prevent the leakage of information from the Web-server.....142

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

УДК 004.72

А.Ю. ОСТРИКОВ

**АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА  
С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА МОБИЛЬНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

*Статья посвящена вопросам структурного синтеза сети абонентского доступа с учетом динамики поведения абонентов. Автором предложен алгоритм синтеза, основанный на решении задачи многомерной кластеризации методом  $k$ -средних. Проведена сравнительная оценка эффективности решений, полученных при помощи классических алгоритмов синтеза радиально-узловых структур (COM, Drop, R-структур) и предлагаемого алгоритма.*

*Ключевые слова:* структурный синтез; сеть абонентского доступа; точка доступа; кластеризация; алгоритм.

*Article is devoted to user's access network structural synthesis with view in dynamics behaviour of subscribers. Authors offer a algorithm based on the decision of multivariate clusterization problem by  $k$ -averages method. The comparative estimation of efficiency by classical synthesis algorithms for structures (COM, Drop, R-structure) and offered algorithm are leaded.*

*Keywords:* structural synthesis; user's access network; point of access; clusterization; algorithm.

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день неотъемлемым атрибутом конвергированных инфокоммуникационных сетей является возможность обеспечения услуг с использованием различных технологий доступа, в том числе, и мобильных [1, 6, 8]. Налицо изменение приоритетов на рынке инфокоммуникаций как со стороны операторов фиксированной проводной связи, так и операторов мобильного сегмента. Если первые расширяют спектр своих возможностей за счет внедрения устройств радио доступа (Wi-Fi Router, точки доступа WiMax), то вторые непрерывно совершенствуют технологии, позволяющие предоставлять высокоскоростные услуги, характерные для проводных технологий.

Эти тенденции ведут к неперенной смене парадигмы в области проектирования сетей и принципов их организации. Современные инфокоммуникационные сети не только должны быть масштабируемыми и гибкими, но и обладать свойством некой технической инерции. Другими словами на этапе проектирования сети должны учитываться возможные траектории динамически изменяемых условий, например, передвижение абонентов, изменяемая нагрузка и т.д. С этой точки зрения наиболее важным аспектом является построение сети абонентского доступа.

Данная статья содержит отдельные результаты исследований автора, связанные с вопросами проектирования современных инфокоммуникационных сетей.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Задача синтеза сети абонентского доступа сводится к выбору мест размещения точек доступа и определения их характеристик. В качестве целевого эффекта при построении сети выступает качество обслуживания, показателем которого с учетом

специфики абонентских сетей выступает вероятность доступности с требуемыми параметрами (интенсивностями потоков). Таким образом, формальная постановка задачи синтеза сети абонентского доступа может быть представлена в виде (1):

$$\begin{aligned} P_{\text{дост}}^i(R_i^{\text{ТД}}, \lambda_i, t) &\rightarrow \max \\ \sum_j \lambda_j(j) &\leq \Lambda_j, \quad j = \overline{1..n} \\ nC^{\text{ТД}} &\leq C^{\text{АС}} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $R_i^{\text{ТД}}$  – расстояние  $i$ -го абонента до точки доступа;

$\lambda_i$  – интенсивность потока от  $i$ -го абонента;

$\Lambda_j$  – максимально возможная нагрузка  $j$ -ой точки доступа;

$C^{\text{АС}}$  – нормативная стоимость абонентской сети;

$C^{\text{ТД}}$  – стоимость точки доступа.

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

В качестве прототипа модели синтеза сети абонентского доступа целесообразно использовать аналитические решения задач кластеризации. Из существующих методов наиболее адекватен условиям решаемой задачи метод  $k$ -средних [7], принадлежащий группе итеративных методов кластеризации эталонного типа, поскольку он позволяет разбить исходное множество на то количество кластеров, которое задано исходными данными (например, количеством точек доступа).

Кроме того, метод  $k$ -средних использует два критерия разбиений исходного множества: первый определяет меру сходства объектов (например, евклидово расстояние), а второй – мощность сформированных кластеров, обеспечивающий равномерность их заполнения, что и отвечает требованиям к построению сетей абонентского доступа [4].

Пусть синтезируемая сеть должна предоставлять услуги  $n$  абонентам. Географическое положение абонентов определяется координатами  $(x, y)_n$ . Значение  $x$  и значение  $y$  являются случайными величинами, каждая из которых характеризуется плотностью функции распределения. События, определяющие местоположение абонентов относительно координат  $x$  и  $y$ , являются независимыми и поэтому могут быть описаны системой случайных величин с функцией распределения вероятности вида [2, 5]:

$$f(x, y)_n = f_1(x)_n \cdot f_2(y)_n, \quad (2)$$

где  $f_1(x)_n, f_2(y)_n$  плотности функций распределения координат  $x$  и  $y$  для  $n$ -го абонента.

Таким образом, плотность функции распределения для географического положения абонента описывает поверхность распределения. Так, например, если в качестве закона распределения координат определим нормальный закон, характеризующийся математическим ожиданием  $m_x, m_y$  и дисперсией  $d_x, d_y$ , тогда поверхность распределения будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

Вид поверхности распределения является одним из признаков, определяющий абонента как объект кластеризации. Другим признаком является интенсивность потока  $\lambda_i$ , порождаемого  $i$ -ым абонентом. Для уменьшения размерности пространства решений целесообразно использование мультипликативной свертки двух признаков:

$$f(x, y)'_i = f(x, y)_i \cdot \lambda_i \quad (3)$$

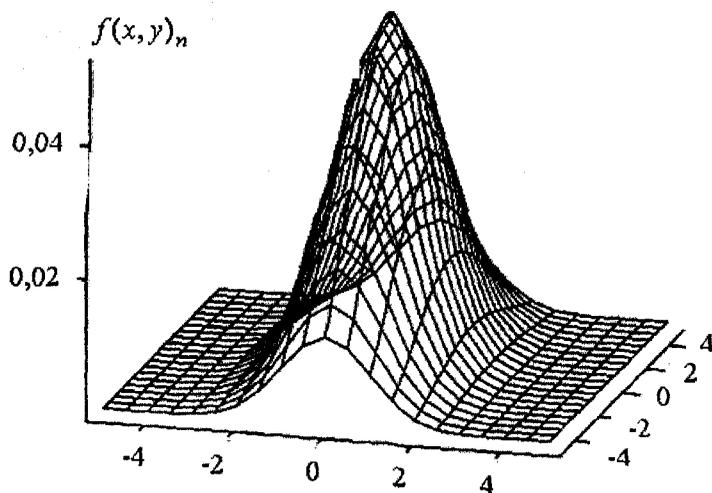


Рисунок 1 – Вид поверхности распределения

Учитывая независимость признаков объектов в качестве меры сходства целесообразно использовать евклидово расстояние между каждой парой классифицируемых объектов [7]:

$$d_{i,j} = \rho(f(x, y)_i, f(x, y)_j) = \sqrt{\sum_{i,j} \sum_{k=1}^l (x_i - x_j)^2_k + (y_i - y_j)^2_k + (f(x_i, y_j) - f(x_i, y_j))^2_k} \quad (4)$$

Для построения модели сети абонентского доступа воспользуемся аналитическими выражениями метода  $K$ -средних [7, 9]. В соответствии с этим методом из всего множества объектов выбираются эталоны  $E$ . Исходя из решаемой задачи, количество эталонов кластеризации определяется количеством точек доступа, концентрирующих нагрузку абонентской сети, а оно, в свою очередь, может быть задано в качестве стоимостного ограничения на синтез сети.

Процедура объединения объектов в кластеры определяется выражением (5):

$$f(x, y)_j = \frac{w_j f(x, y)_j + f(x, y)_{n+1}}{w_j + 1} : d_{j,n+1} \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $j=1..e$  – номер кластера (при первой итерации за кластеры произвольно принимаются  $e$  объектов из множества  $N$ );

$w$  – коэффициент, учитывающий количество входящих в кластер объектов.

В результате  $m$  итераций, образующих устойчивые кластеры, формируются  $e$  объектов, характеризующихся приведенными плотностями функций распределения  $f_e(x, y)_e$ . Математическое ожидание и значение этой функции в точке математического ожидания определяют наиболее вероятное место географического положения концентрирующего элемента сети абонентского доступа (точки доступа), для которого рассчитываются характеристики потока, исходя из модели источника нагрузки.

В общем случае поток концентратора рассчитывается как сумма потоков всех терминалов, входящих в один кластер с концентратором (6) (7):

$$\Lambda_j^{ex} = \sum_{n \in E_j} \lambda_n^{ex} \quad (6)$$

$$\Lambda_j^{ucx} = \sum_{n \in E_j} \lambda_n^{ucx} \quad (7)$$

Специфика поведения пользователей предполагает решение задачи в динамике. Для этого необходимо определить временные интервалы, в пределах которых будет выполнен расчет конфигурации сети, а затем объединить частные решения в единое общее.

В связи с этим нагрузка абонента будет задаваться не интенсивностью и некоторым профилем  $\lambda(t_p)_i$ . Анализ литературы [3, 8] показал целесообразность выбора временных интервалов размером астрономического часа.

### АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

На основании предложенной математической модели, алгоритм синтеза сети абонентского доступа может быть представлен в виде блок-схемы (рис. 2).

В качестве исходных данных задаются (бл.1):

– характер мобильности пользователя (функция  $f(x, y)$ ) на временных интервалах  $t_p$ ;

– профиль нагрузки абонентского терминала ( $\lambda(t_p)$ );

– количество точек доступа  $K$ .

В совокупности признаки 1 и 2 определяют метрическое пространство, содержащее  $n$  объектов (абонентских терминалов).

В блоке 2 (рис. 2) для каждого терминала производится нормирование характеристики профиля нагрузки, а затем осуществляется мультипликативная свертка параметров  $f(x, y)$  и  $\lambda(t)$  (блок 3).

В итоге для каждого терминала на выделенных временных интервалах формируется совокупность значений обобщенного признака  $f(x, y)_i^p$ , характеризующего как мобильность, так и интенсивность нагрузки объекта (рис. 3).

В блоках 5-8 алгоритма производится кластеризация объектов на заданные  $K$  кластеров методом  $k$ -средних в пределах каждого временного интервала  $t_p$ , в результате чего образуется множество новых объектов с признаками  $F_k^{cp}(x, y)_p$ , где  $k = \overline{1..K}$ ,  $p = \overline{1..T}$ ,  $T$  – количество рассматриваемых временных интервалов.

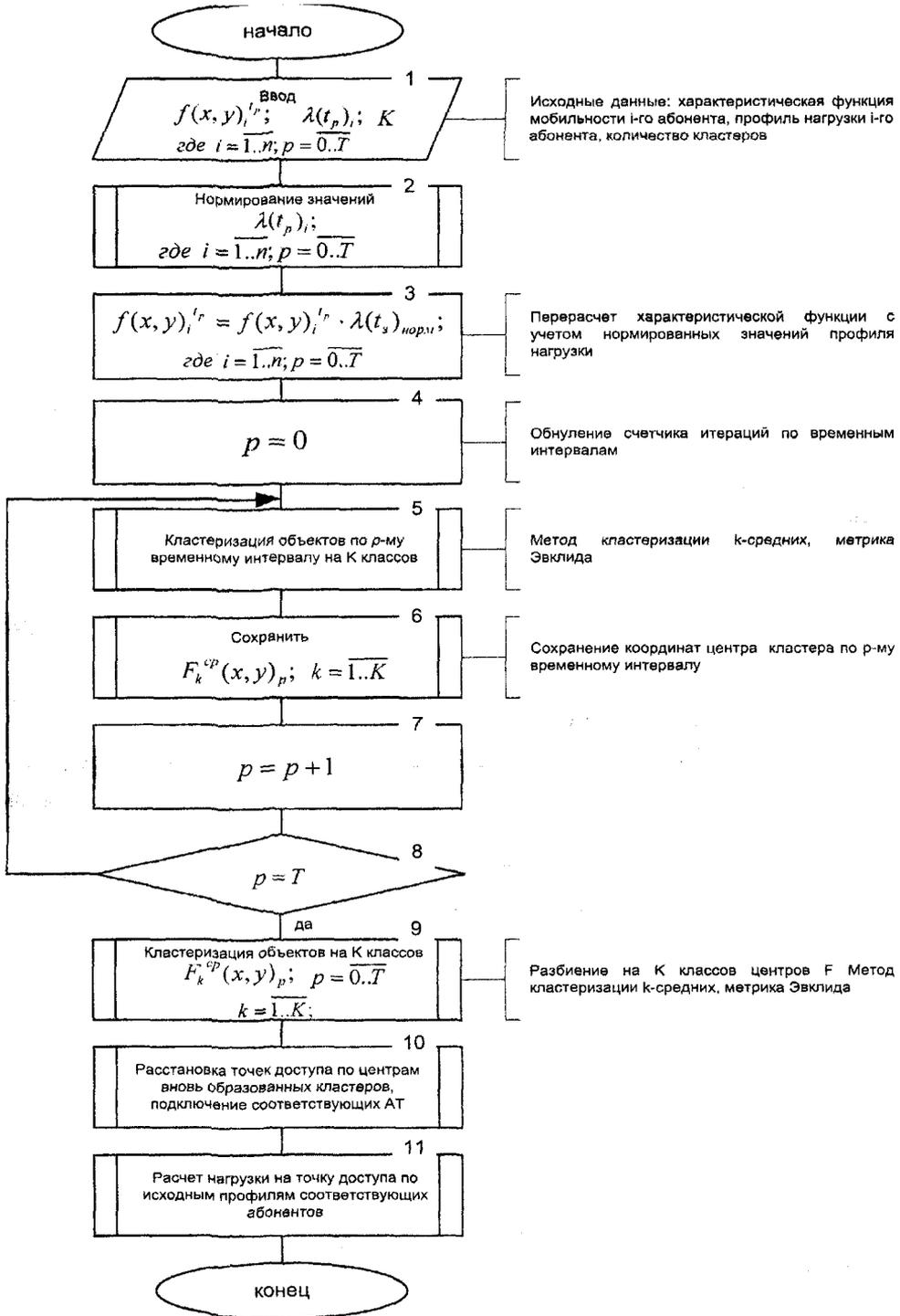


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма синтеза сети абонентского доступа с учетом мобильности пользовательских терминалов

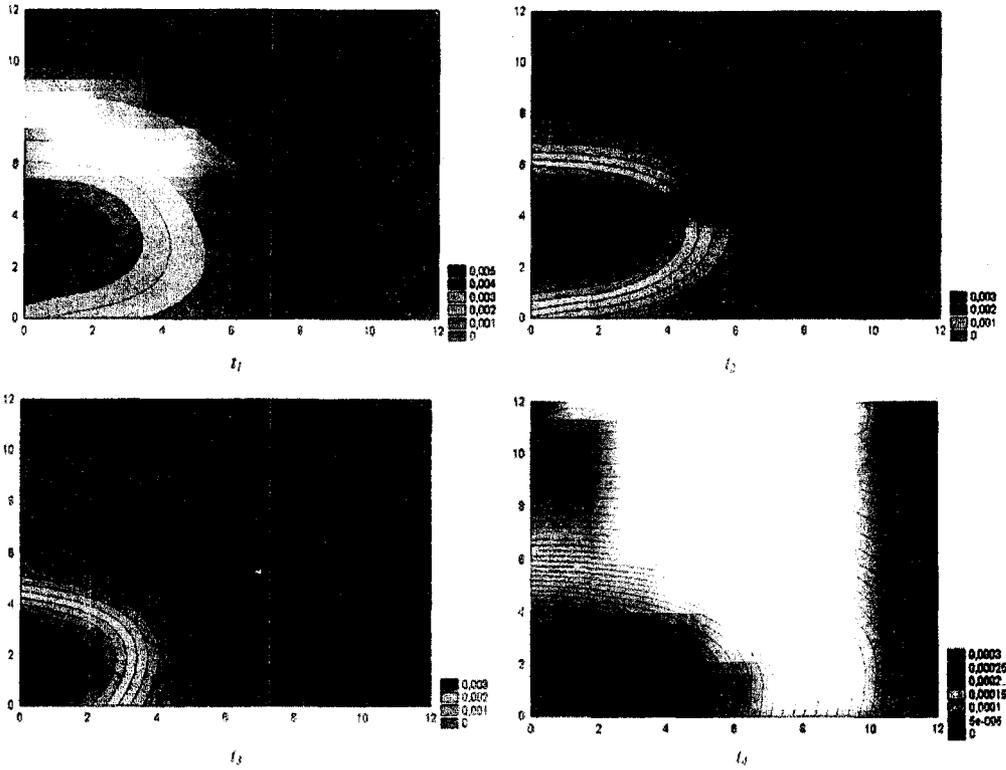


Рисунок 3 – Пример функции  $f(x, y)_{i^p}$  для  $i$ -объекта на различных временных интервалах  $t_p$

Далее производится обобщение результатов по временным интервалам (бл. 8) логичным образом. Координаты размещения точек доступа определяются для каждого кластера в отдельности путем поиска  $\max_{x,y} F_k^{op}(x, y)$  (рис. 4).

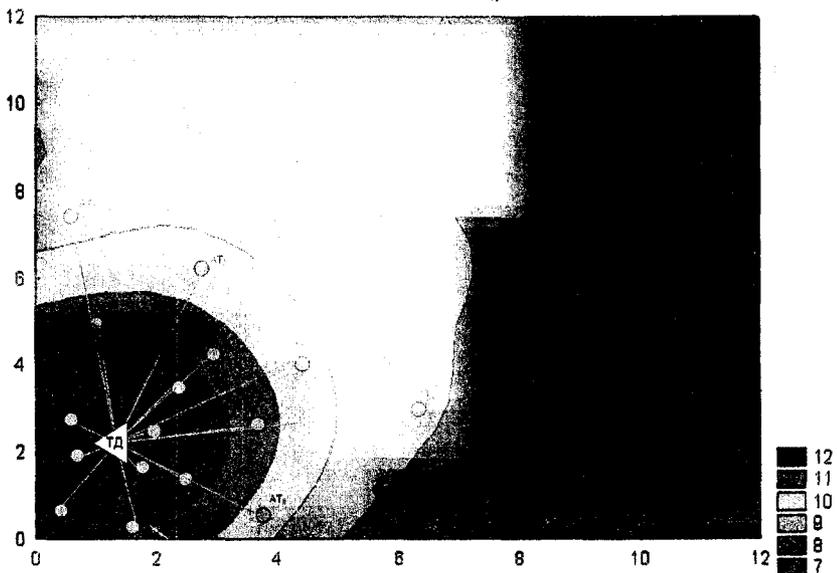


Рисунок 4 – Пример размещение точки доступа для одного из кластеров

После чего с помощью выражений (2.14 – 2.15) рассчитывается максимальная нагрузка в точке доступа по профилям соответствующих абонентских терминалов.

Исследование предложенного алгоритма по трем основным свойствам – сходимость, сложность, точность [10] – показало следующие результаты.

**Сходимость.**

Критическими операциями в алгоритме являются:

- цикл с условием, реализуемый блоками 7, 8;
- функция деления на переменную в процедурах бл.5 и бл.8.

На основе анализа набора предусловий и постусловий для каждого шага алгоритм можно считать сходимым при условии корректности и непротиворечивости исходных данных.

**Сложность.**

Сложность алгоритма определяется частотой выполнения элементарных функций. В таблице 1 сведены частоты по каждому шагу алгоритма.

Таблица 1 – Анализ сходимости алгоритма

Блок алгоритма	Наименование операции	Частота	
2	Нормирование значений	$nT$	
3	Перерасчет характеристик	$nT$	
5	Кластеризация	$(n * K)$	$*P$
6	Сохранение	$K$	
9	Кластеризация	$(n * K)T$	

Таким образом, наивысшая степень полином, характеризующая сложность алгоритма, равна 3. Следовательно, алгоритм имеет полиномиальную сложность третьего порядка  $O(n^3)$ .

**Точность.**

Точность разработанного алгоритма определяется погрешностью вычислений, которая в общем случае состоит из  $\delta_n$  – неустранимой погрешности исходных данных,  $\delta_m$  – погрешности метода и  $\delta_b$  – погрешности вычислительной платформы, т.е.:

$$\delta = \delta_n + \delta_m + \delta_b \tag{8}$$

Погрешность исходных данных зависит от числа значащих цифр значений параметров и определяется по формуле:

$$\delta_n \approx 10^{-N+1} \tag{9}$$

где N – длина мантииссы.

В рассматриваемом алгоритме переменные нормированы в диапазоне 0..1. Исходя из того, что количество этих переменных определяется шагом координатной

сетки, задаваемой заказчиком, и основываясь на проведенных расчетах, минимальная длина мантиссы исходных данных  $-N=10$ . Таким образом  $\delta_n \approx 10^{-10+1} = 10^{-11}$ .

Для оценки погрешности метода будем руководствоваться следующими правилами:

1. При суммировании чисел одного знака точность суммы равна наименьшей точности любого слагаемого:

$$\delta_m^+ \approx \sup(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) \quad (10)$$

2. При вычитании чисел происходит увеличение наибольшей относительной погрешности одного из компонентов выражения в  $\nu$  раз, где:

$$\nu = \frac{|a+b|}{|a-b|} \quad (11)$$

Тогда:

$$\delta_m^- \approx \sup(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) \cdot \nu, \quad (12)$$

если  $a$  и  $b$  – величины, входящие в операцию вычитания.

3. Произведение и частное двух величин обладают погрешностью, приблизительно равной сумме относительных погрешностей компонентов выражения:

$$\delta_m^x \approx \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (13)$$

$$\delta_m^+ \approx \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (14)$$

4. Для оценки погрешности функций используются следующие соотношения:

$$\delta_m(y) \approx \nu \cdot \delta_n(x), \quad (15)$$

$$\nu = \frac{|x| \cdot |f'(x)|}{|f(x)|}, \quad (16)$$

где:  $y=f(x)$  – исследуемая функция;

$x$  – аргумент исследуемой функции;

$y$  – рассчитанное значение функции  $f(x)$ .

Исходя из того, что погрешность современных вычислительных платформ существенно меньше погрешности исходных данных, то для расчета точности алгоритма величина  $\delta_b$  не учитывалась.

Таким образом, расчетная точность алгоритма составляет  $10^{-9}$ .

### ПРИМЕР РАСЧЕТА И ОЦЕНКА ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ

Произведем расчет структуры сети абонентского доступа для 20-абонентов. Исходные данные, определяющие характер мобильности абонентов и интенсивности их нагрузки по временным интервалам ( $p=1..12$ ), представлены в таблице 2. Для упрощения расчетов, допустим, что мобильность абонентов описывается нормальным законом распределения с заданными в таблице 2 параметрами. Записи исходных данных формируются по шаблону:  $M_x, M_y / D_x, D_y$  – мат.ожидание/дисперсия;  $N$  –

нормированная нагрузка, нормативное количество точек доступа  $K = 4$ . Для временных интервалов 0-2 и 2-4  $N=0$  для всех абонентов, поэтому при расчете они не учитываются.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета структуры абонентской сети

№ аб/Вр	4-6		6-8		8-10		10-12		12-14		14-16		16-18		18-20		20-22		22-24		
	3	3	5	6	7	8	9	10	11	12	11	12	10	11	11	12	11	12	11	12	
1	Mx	87	80	67	67	65	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Dx	1	4	1	1	3	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	25	36	47	47	45	34	47	47	34	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
	Dy	1	5	1	1	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
	N	0	0,017009	0,207447	0,15135	0,05783	0,06971	0,098627	0,396191	0,001704	0,00017										
2	Mx	20	28	32	32	34	32	31	32	31	32	31	32	31	32	31	32	31	32	31	32
	Dx	1	2	2	3	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	15	50	80	79	64	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	Dy	1	3	1	2	7	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1
	N	0	0,004753	0,014116	0,53521	0,24932	0,002357	0,04940	0,143515	0,001173	0,000117										
3	Mx	63	65	72	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	Dx	1	3	1	3	2	2	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
	My	83	70	43	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	Dy	1	2	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	N	0	0,003689	0,184468	0,04427	0,06456	0,451946	0,226895	0,022136	0,001844	0,000184										
4	Mx	77	83	88	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	Dx	2	1	3	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	My	95	91	30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Dy	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	N	0,00211	0,025353	0,285296	0,50928	0,00213	0,050715	0,071852	0,050715	0,002113	0,000427										
5	Mx	59	50	34	32	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Dx	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	87	80	74	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	Dy	1	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
	N	0	0,010874	0,011785	0,71657	0,01907	0,029002	0,112415	0,099719	0,001813	9,065E-05										
6	Mx	70	64	34	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	Dx	1	1	5	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	75	76	52	50	50	50	52	50	52	50	52	50	52	50	52	50	52	50	52	50
	Dy	1	1	2	5	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	N	0,00347	0,001743	0,216216	0,10113	0,23714	0,059285	0,094158	0,212728	0,073234	0,000878										
7	Mx	18	15	24	32	32	34	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	Dx	1	1	2	1	3	1	4	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	My	65	70	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	Dy	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	N	0,00124	0,159123	0,160414	0,40621	0,16758	0,029754	0,018113	0,029754	0,006468	0,001297										
8	Mx	83	84	78	75	75	75	76	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	Dx	1	1	1	3	1	6	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
	My	40	41	52	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Dy	2	1	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	N	0,00127	0,028744	0,057310	0,19358	0,08278	0,068773	0,152823	0,413903	0,002547	0,000254										
9	Mx	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	Dx	1	3	2	1	5	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	10	15	30	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
	Dy	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	N	0,001197	0,025133	0,375804	0,014362	0,028724	0,384182	0,143618	0,025133	0,001196	0,000846										
10	Mx	47	62	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Dx	1	2	3	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	My	50	45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Dy	1	1	1	1	2	3	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4
	N	0,00117	0,016441	0,066940	0,1468	0,40516	0,140927	0,076335	0,117438	0,028186	0,000582										
11	Mx	55	50	25	25	25	25	32	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	Dx	1	2	1	1	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
	My	57	56	54	50	50	50	50	51	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	Dy	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	N	0,00276	0,017986	0,188105	0,10788	0,09405	0,167352	0,186722	0,171506	0,062247	0,001383										
12	Mx	7	15	42	42	42	42	42	35	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Dx	1	1	1	3	1	5	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
	My	47	30	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Dy	1	2	1	1	5	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
	N	0,00301	0,222891	0,045180	0,13554	0,03614	0,051204	0,042168	0,096385	0,361445	0,006024										
13	Mx	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Dx	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
	My	8	10	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Dy	1	1	2	3	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	N	0,00191	0,003821	0,673040	0,08604	0,04015	0,022944	0,110898	0,040153	0,001912	0,019125										

Таблица 2 (продолжение)

14	Mx	7	10	15	20	20	20	20	14	7	7
	Dx	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1
	My	68	68	60	52	52	52	52	52	68	68
	Dy	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
	N	0,00226	0,095238	0,079365	0,1678	0,02721	0,072562	0,102048	0,272108	0,178870	0,004531
15	Mx	13	60	70	79	79	79	79	40	13	13
	Dx	1	1	2	1	1	5	1	1	1	1
	My	92	80	75	75	75	75	75	75	92	92
	Dy	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1
	N	0	0,247422	0,028868	0,11134	0,44123	0,024743	0,092785	0,047427	0,004127	0,002061
16	Mx	97	90	80	87	87	87	87	91	97	97
	Dx	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1
	My	57	57	74	74	74	74	74	74	57	57
	Dy	1	1	2	1	2	2	1	3	1	1
	N	0,00913	0,068492	0,146118	0,35614	0,00913	0,246575	0,004562	0,146118	0,009132	0,004566
17	Mx	50	40	30	20	10	10	10	20	50	50
	Dx	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1
	My	18	18	20	30	30	30	30	20	18	18
	Dy	1	1	2	5	1	1	2	3	1	1
	N	0,00794	0,172669	0,007194	0,03597	0,28777	0,151079	0,223026	0,086339	0,021587	0,007194
18	Mx	27	10	5	5	6	5	7	5	27	27
	Dx	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
	My	8	8	26	12	26	10	26	26	8	8
	Dy	1	1	1	2	5	1	1	1	1	1
	N	0,00826	0,088154	0,21487	0,14876	0,03305	0,086115	0,374855	0,057852	0,002754	0,005506
19	Mx	87	70	60	60	60	60	65	70	87	87
	Dx	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1
	My	7	7	26	26	26	26	26	26	7	7
	Dy	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	N	0,04329	0,088581	0,129870	0,17316	0,08658	0,04329	0,216450	0,173160	0,04329	0,004329
20	Mx	57	50	42	40	40	40	40	52	57	57
	Dx	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1
	My	48	48	65	80	80	80	80	50	48	48
	Dy	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1
	N	0	0,007656	0,172262	0,20671	0,04597	0,172262	0,225854	0,122497	0,045936	0,000880

На первом этапе в соответствии с предложенным алгоритмом проводится расчет характеристической функции (бл.2, 3 рис. 2). Проводя кластеризацию по временным интервалам (бл.5 – 8), получим разбиения абонентов на  $K = 4$  классов (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты кластеризации на первом этапе

Вр.инт\кл	1	2	3	4	Координаты центров
3 (4-6)	1, 8, 13, 19	2, 9, 17, 18	7, 12, 14, 15	3, 4, 5, 6, 10, 11, 16, 20	(87,20)(15,60)(34,22)(72,40)
4 (6-8)	1, 8, 13, 19	2, 9, 17, 18	7, 12, 14, 15, 16, 20	3, 4, 5, 6, 10, 11	(74,25)(20,63)(35,21)(74,45)
5 (8-10)	9,11,12, 17, 18	2,5,6,7,14,20	1,3,15,16	4,8,10,13,19	(70,24)(25,64)(37,21)(53,71)
6 (10-12)	12, 17, 18	2,5,6,7,9,11,14,20	13,15,16	1,3,4,8,10,13,19	(78,28)(27,68)(37,21)(70,40)
7 (12-14)	2,5,12, 17, 18	6,7,9,11,14,20	1,3,4,15,16	8,10,13,19	(71,15)(18,61)(40,23)(73,33)
8 (14-16)	2,5,12, 17, 18	6,7,14,20	9,11,15,19	1,3,4,8,10,13,16	(80,32)(17,59)(41,25)(65,75)
9 (16-18)	12, 17, 18,20	2,5,6,7,9,11,14	15,16	1,3,4,8,10,13,19	(85,27)(21,62)(35,22)(70,68)
10 (18-20)	1, 8, 19	2, 7, 9, 11, 17, 18	12, 13, 14, 15	3, 4, 5, 6, 10, 16, 20	(79,30)(23,57)(32,19)(75,54)
11 (20-22)	1, 8, 13, 19	2, 9, 17, 18	7, 12, 14, 15	3, 4, 5, 6, 10, 11, 16, 20	(87,20)(15,60)(34,22)(72,40)
12 (22-24)	1, 8, 13, 19	2, 9, 17, 18	7, 12, 14, 15	3, 4, 5, 6, 10, 11, 16, 20	(87,20)(15,60)(34,22)(72,40)

Далее центры сформированных классов используются как объекты очередного процесса кластеризации (бл.6), в результате которого будут сформированы

окончательные разбиения и определены координаты размещения точек доступа (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты расчета структуры абонентской сети

№ ТД	1	2	3	4
Координаты размещения	(81, 30)	(22, 65)	(37, 22)	(70, 69)

Сравнительный анализ решений, полученных с помощью предложенного алгоритма и существующих аналогов (*COM*, *Drop*, *R-структур*) [4] проводился на основе имитационной модели в среде AnyLogic 6.0. В качестве показателя качества была выбрана вероятность соединения с точкой доступа. Результаты эксперимента приведены на рисунке 5.

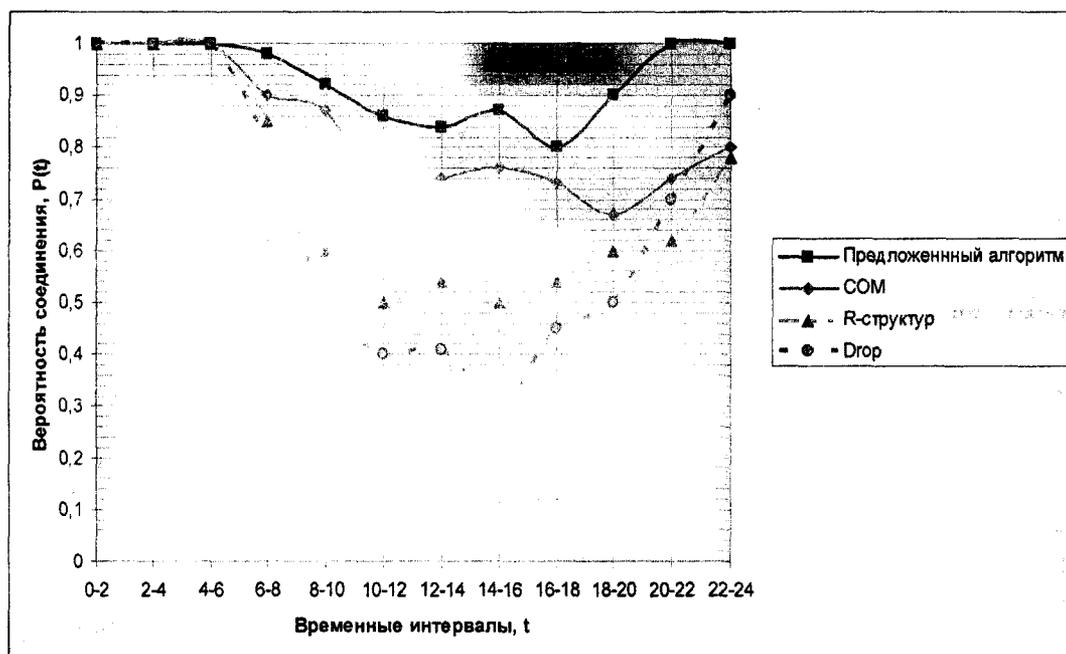


Рисунок 5 – Сравнительный анализ структур абонентской сети

Вероятность установления соединения абонентского терминала с точкой доступа практически на всех временных интервалах выше для структуры, рассчитанной по приведенному алгоритму. Прогнозируемые нагрузки на точки доступа для рассчитанной структуры сети по предложенному алгоритму представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Средняя нагрузка точки доступа по временным интервалам

Вр.инт\ТД	1	2	3	4
1	2	3	4	5
1 (0-2)	0 Мбит	0 Мбит	0 Мбит	0 Мбит
2 (2-4)	0 Мбит	0 Мбит	0 Мбит	0 Мбит
3 (4-6)	0,1 Мбит	0,1 Мбит	0 Мбит	0,1 Мбит
4 (6-8)	1,2 Мбит	1,4 Мбит	1,5 Мбит	1,25

Продолжение таблицы 5.

1	2	3	4	5
5 (8-10)	2,2 Мбит	2,4 Мбит	2,2 Мбит	2,7 Мбит
6 (10-12)	2,7 Мбит	3,1 Мбит	2,5 Мбит	3,0 Мбит
7 (12-14)	1,3 Мбит	0,4 Мбит	1,2 Мбит	1,3 Мбит
8 (14-16)	2,1 Мбит	3,4 Мбит	3,1 Мбит	1,5 Мбит
9 (16-18)	3,2 Мбит	3,4 Мбит	3,6 Мбит	3,45
10 (18-20)	3,5 Мбит	2,8 Мбит	2,1 Мбит	2,4 Мбит
11 (20-22)	0,7 Мбит	1,5 Мбит	1,7 Мбит	1,5 Мбит
12 (22-24)	0,8 Мбит	0,98	1,1 Мбит	0,7 Мбит

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм синтеза сети абонентского доступа позволяет рассчитать места размещения точек доступа, увязать их с группами абонентских терминалов, кластеризированных по критерию схожести характеристик, и рассчитать потоковые нагрузки для каждой точки доступа. Анализ эффективности показал, что структура абонентской сети, рассчитанная при помощи предложенного алгоритма по показателю вероятности соединения абонентских терминалов с точкой доступа на длительных временных интервалах, значительно превосходит структуры, рассчитанные по известным алгоритмам синтеза абонентских подсетей, а средняя нагрузка для точек доступа распределена более равномерна. Таким образом, разработанный алгоритм в силу присущих ему положительных свойств может быть использован при проектировании сети абонентского доступа как для проводных, так и для беспроводных технологий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации; под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для ВУЗов. – 5-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
3. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
4. Зайченко Ю.П., Гонта Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. – Киев: Техника, 1986.– 168 с.
5. Колде Я.К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике – М.: Высшая школа, 1991. – 157 с.
6. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001. – 280 с.
7. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ./Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.: ил.
8. Семенов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: Наука и техника, 2005. – 236 с.
9. Теория статистики: учебник; под ред. проф. Р.А. Шмойловой. – 3-е изд., перераб. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 560 с.
10. Успенский В.Д., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 288 с.

Остриков Алексей Юрьевич  
 Академия ФСО России, г. Орел  
 Адъюнкт  
 Тел.: +7(4862)41-99-51  
 E-mail: ostrikov\_au@mail.ru

УДК 658.512+658.012

В.В. СОТНИКОВ, Д.А. СИБАРОВ, В.П. БИРЮКОВ,  
П.И. КОМАРОВ, А.П. ГРИГОРЬЕВ**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И СТАБИЛИЗАЦИИ  
ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ИЗОМЕРИЗАТА**

*Целью статьи является создание алгоритма расчета и стабилизации октанового числа изомеризата. Особенностью предлагаемого алгоритма является его работа в реальном масштабе времени, что в существующих аналогичных системах управления отсутствует. Алгоритм предусматривает стабилизацию октанового числа на заданном уровне, что позволяет повысить качество целевого продукта.*

*Ключевые слова:* изомеризат; октановое число; алгоритм расчета.

*The paper aims to create the algorithm for calculating and stabilization octane of isomerizate. Feature of the proposed algorithm is its work in real time, similar to that existing control systems is absent. The algorithm provides for the stabilization of the octane number at a given level, which improves the quality of the target product.*

*Keywords:* octane of isomerizate ; the algorithm for calculating; the octane number.

Система управления процессом изомеризации парафиновых углеводородов, описанная в статьях [1,2], особенностью которой является наличие в ее структуре математической модели, позволяющей определить углеводородный состав смеси на выходе каждого из реакторов рассматриваемого технологического процесса. Определение последнего дает возможность рассчитать октановое число изомеризата [3], величина которого является оценкой его качества.

В настоящей статье рассматривается алгоритм расчета и стабилизации на заданном уровне октанового числа изомеризата в реальном масштабе времени, что в существующих аналогичных системах управления отсутствует. Исходными данными для работы алгоритма являются рассчитанные по математической модели величины компонент углеводородной смеси и соответствующие уставки регулятору температуры на входе первого реактора.

Задача стабилизации октанового числа возникает в связи с возмущениями, которые могут появиться при реализации процесса изомеризации. К ним относятся изменение состава сырья, нарушение его дозировки и дозировки водородсодержащего газа, снижение активности катализатора и др. Каждое из перечисленных возмущений может вызвать уменьшение октанового числа. Одной из задач рассматриваемого алгоритма является стабилизация последнего на заданном уровне, реализация которой обуславливает повышение качества целевого продукта.

Блок-схема алгоритма расчета и стабилизации октанового числа приведена на рисунке 1.

Приводим условные обозначения, используемые при описании алгоритма расчета и стабилизации октанового числа.

$T_{вх}$  – входная температура 3 реактора,

$C_{А3ввых}$  – концентрация н-пентана на выходе из третьего реактора,

$C_{В3ввых}$  – концентрация изо-пентана на выходе из третьего реактора,

$C_{С3ввых}$  – концентрация н-гексана на выходе из третьего реактора,

$C_{D3ввых}$  – концентрация 2-метилпентана на выходе из третьего реактора,

$C_{E3\text{ВЫХ}}$  – концентрация 3-метилпентана на выходе из третьего реактора,  
 $C_{F3\text{ВЫХ}}$  – концентрация 2,3-диметилпентана на выходе из третьего реактора,  
 $C_{G3\text{ВЫХ}}$  – концентрация 2,2-диметилбутана на выходе из третьего реактора,  
 $N_{\text{смеси}}$  – октановое число (ОЧ) смеси на выходе из третьего реактора.

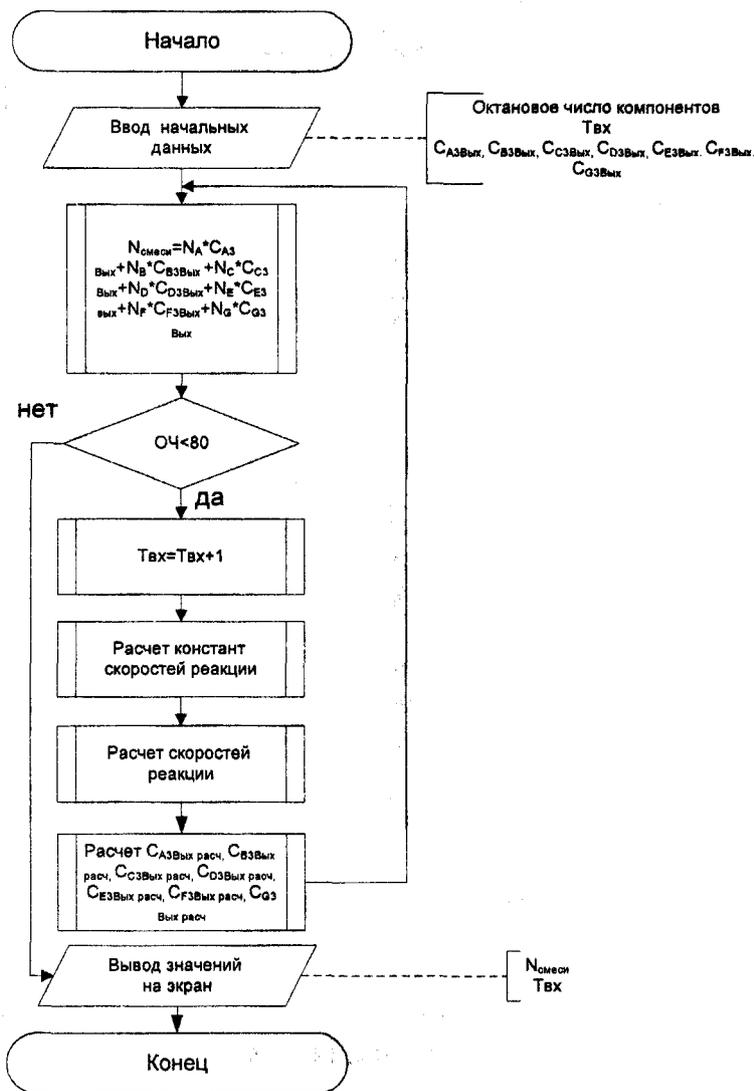


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма расчета и стабилизации октанового числа

Алгоритм расчета октанового числа состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Ввести начальные данные: температуру, концентрации углеводородов, ОЧ углеводородов.

Шаг 2. Рассчитать ОЧ смеси.

Шаг 3. Если  $N_{\text{смеси}} < 80$ , то  $T_{\text{вх}} = T_{\text{вх}} + 1$ , перейти к шагу 4. Иначе процесс продолжается.

Шаг 4. Рассчитать константы скоростей реакции.

Шаг 5. Рассчитать скорости реакций.

Шаг 6. Рассчитать  $C_{A\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{B\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{C\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{D\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{E\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{F\text{ВЫХ}}$ ,  $C_{G\text{ВЫХ}}$ . Перейти к шагу

2.

Для проверки работы алгоритма в регламентных условиях выбрано сырье, по составу близкое к реальному, используемому в производстве, при условии, что в сырье содержание бензола не превышает 0,5%.

Результаты расчета октанового числа исследуемой смеси на выходе каждого из 3х реакторов, а также соответствующие составы углеводородной смеси основных компонентов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет октанового числа изомеризата по реакторам

Исходные данные		Расчетные значения ОЧ		
ОЧ входной смеси	72	I реактор	II реактор	III реактор
		78	81	83
Состав сырья	Н-пентан 59,37% Изо-пентан 17,39% Н-гексан 5,41% 2-метилпентан 10,80% 3-метилпентан 4,52% 2,3-диметилбутан 1,06% 2,2-диметилбутан 0,92%	Температура на выходе реакторов		
		I реактор	II реактор	III реактор
Объемная скорость	2ч <sup>-1</sup>	131,1°С	134,2	150,6
Начальная температура	120°С	Константы скоростей		
		Прямые		Обратные
Расходы сырья и ВСГ	Сырья 35т/ч ВСГ 135,7м <sup>3</sup> /ч	k1=0,039 k3=0,009 k5=0,031 k7=0,012 k9=0,017 k11=0,001 k13=0,06 k15=0,035	k2=0,01 k4=0,005 k6=0,001 k8=0,015 k10=0,035 k12=0,06 k14=0,031 k16=0,0001	
Давление на входе	25атм			
Содержание бензола	0,53%			
Теплоемкость	190,931Дж/(моль·К)			
Плотность	0,651кг/м <sup>3</sup>			
Температура на входе реакторов	I реактор 120°С II реактор 130°С III реактор 135°С			

Из таблицы 1 видно, что при выбранных исходных данных октановое число на выходе из третьего реактора, являющееся оценкой качества изомеризата, отвечает требуемому значению. Кроме того, значения октановых чисел и температуры на выходе первого и второго реактора не противоречат реальным.

Работа второй части алгоритма – стабилизирующей октановое число – иллюстрируется таблицей 2.

В ее 3 колонке происходит снижение рабочей константы скорости реакции, имитирующей понижение активности катализатора в процессе его работы, что приводит к снижению октанового числа на выходе третьего реактора (колонка 4 табл. 2). При каждом снижении октанового числа на выходе из третьего реактора вступает в работу алгоритм стабилизации и поднимает показатель качества изомеризата до требуемого значения (колонка «III реактор»). Управляющим воздействием, величину которого определяет алгоритм стабилизации, является величина температуры на входе I реактора.

Таблица 2 – Моделирование процесса стабилизации ОЧ изомеризата при снижении активности катализатора путем повышения температуры смеси на входе 1-го реактора.

Состав сырья	Температура на входе в I реактор	Константы скоростей	Некорректируемое октановое число	Расчетное значение $t_{ex}$ I реактора для стабилизации ОЧ	Расчетные значения ОЧ изомеризата по реакторам			Температура на выходе из III реактора
					1	2	3	
Н-пентан 59,37%	120°C	$k_1=0,039; k_2=0,01;$ $k_3=0,009; k_4=0,005;$ $k_5=0,031; k_6=0,001;$ $k_7=0,012; k_8=0,015;$ $k_9=0,017; k_{10}=0,035;$ $k_{11}=0,001; k_{12}=0,06;$ $k_{13}=0,06; k_{14}=0,031;$ $k_{15}=0,035; k_{16}=0,0001;$	83	120°C	78	81	83	150,6°C
Изо-пентан 17,39%	120°C	$k_1=0,0117; k_2=0,003;$ $k_3=0,0027; k_4=0,0015;$ $k_5=0,0093; k_6=0,0003;$ $k_7=0,0036; k_8=0,0045;$ $k_9=0,0051; k_{10}=0,0105;$ $k_{11}=0,0003; k_{12}=0,018;$ $k_{13}=0,018; k_{14}=0,0093;$ $k_{15}=0,0105; k_{16}=0,00003;$	79	126°C	75	78	80	148°C
Н-гексан 5,41%								
2-метилпентан 10,80%	120°C	$k_1=0,0078; k_2=0,002;$ $k_3=0,0018; k_4=0,001;$ $k_5=0,0062; k_6=0,0002;$ $k_7=0,0024; k_8=0,003;$ $k_9=0,0034; k_{10}=0,007;$ $k_{11}=0,0002; k_{12}=0,012;$ $k_{13}=0,012; k_{14}=0,0062;$ $k_{15}=0,007; k_{16}=0,00002;$	76	132°C	75	78	80	139,5°C
3-метилпентан 4,52%								
2,3-диметилбутан 1,06%	120°C	$k_1=0,0039; k_2=0,001;$ $k_3=0,0009; k_4=0,0005;$ $k_5=0,0031; k_6=0,0001;$ $k_7=0,0012; k_8=0,0015;$ $k_9=0,0017; k_{10}=0,0035;$ $k_{11}=0,0001; k_{12}=0,006;$ $k_{13}=0,006; k_{14}=0,0031;$ $k_{15}=0,0035; k_{16}=0,00001;$	74	142°C	75	78	80	133,4°C
2,2-диметилбутан 0,92%								

Примечание: снижение активности катализатора имитируется путем снижения констант скоростей реакции.

Результаты, приведенные в таблице 2, позволяют утверждать, что описываемый алгоритм может решать задачу стабилизации октанового числа при наличии возмущений на объекте управления. Исходя из вышеизложенного, следует, что предлагаемая система управления процессом изомеризации может повысить качество изомеризата за счет контроля и управления октановым числом в реальном масштабе времени.

Для адаптации предлагаемой системы управления на конкретном производстве необходимо определить состав сырья и его дозировки, константы скоростей реакции, регламентные значения переменных, характеризующих качество реализации процесса и физические параметры, используемые в алгоритмах программного обеспечения системы.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Григорьев А.П., Сотников В.В., Сибаров Д.А., Лисицын Н.В. Алгоритм системы управления процессом изомеризации // Информационные технологии в науке, образовании и производстве ИТНОП 2010: материалы IV Международной научно-технической конференции, 22-23 апреля, г. Орел. – Том 3. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – С. 74-80.
2. Сотников В.В., Сибаров Д.А., Григорьев А.П., Комаров П.И., Демидов А.П. Система управления процессом изомеризации // Информационные технологии в науке, образовании и производстве ИТНОП 2010: материалы IV Международной научно-технической конференции, 22-23 апреля, г. Орел. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – Том 4. – С. 112-118.
3. Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии: – М.: Химия, 1978. – 376 с.
4. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии: 4-е изд., перераб., доп. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
5. Бурсиан Н.Р. и др. Изомеризация парафиновых углеводородов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979. – 71с.
6. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. – М., 1972. – 235 с.

#### **Сотников Владимир Васильевич**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук, профессор кафедры САПРиУ  
Тел.: +7(812)348-43-85  
E-mail: wwc@ Rambler.ru

#### **Сибаров Дмитрий Андреевич**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии нефтехимических  
и углехимических производств  
Тел.: +7(812)774-37-24

#### **Бирюков Владимир Петрович**

Балаковский государственный технический университет, г. Санкт-Петербург  
Заведующий кафедрой автоматики и кибернетики  
Тел.: +7(927)227-94-07

#### **Комаров Петр Иванович**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Доцент кафедры САПРиУ  
Тел.: +7(812)598-05-38

#### **Григорьев Александр Павлович**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Аспирант кафедры САПРиУ  
Тел.: +7(950)023-51-49  
E-mail: legend01@mail.ru

Л.В. СТЕПАНОВ

## ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РЫНКА

*Анализируются экономические предпосылки формирования рынка и важность этого процесса для деятельности предприятия. Предложена математическая модель формирования множества условных коалиций предприятий производственного и потребительского сегментов экономического пространства и формализовано определение состава рынка.*

*Ключевые слова:* рыночная система; формирование рынка; математическое моделирование; теория игр; теория принятия решений

*This paper analyzes the economic prerequisites for the formation of the market and the importance of this process for the enterprise. The mathematical model was proposed for the formation of coalitions of enterprises of on segments of the economic space and the formalization of the composition enterprise of the market.*

*Keywords:* market system; market formation; mathematical modeling; game theory; decision theory.

### ВВЕДЕНИЕ

Рыночная система представляет собой общность экономических отношений, складывающихся между определенными субъектами по поводу совместного использования (купли или продажи) каких-либо товаров или услуг.

Однако совокупное экономическое пространство любого предприятия существенно шире. Его формируют все субъекты не только напрямую, но и косвенно связанные с использованием, управлением, производством или потреблением определенных товаров и услуг. Так, деятельность некоторого производителя может зависеть от дистрибьюторов, промоторов и других предприятий, не участвовавших в процессе создания товара или услуги.

В современной экономической литературе [1, 2] часто выделяют различные условия возникновения рынка. Они носят весьма общий характер и не дают представления о сущности этого процесса.

В связи с этим необходимо формализовать механизм формирования рынка, позволяющий четко определить границу внешней среды предприятия. Синтез данной модели устранил неопределенность и абстрактность в рассмотрении рынка и создаст базис для анализа процессов на нем.

Поэтому возникает потребность в исследовании динамики состояния рынка в конкурентных условиях, а одним из основных инструментов этих исследований могут являться формализованные теоретико-игровые модели.

### ПОДХОД К РАССМОТРЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

Центральным элементом экономического пространства будем рассматривать субъект рынка, т.е. предприятие, с позиции которого анализируется рыночный процесс. Другими элементами рассматриваемого экономического пространства являются предприятия-производители, выпускающие некоторые товары и услуги для реализации, и предприятия-потребители данной продукции.

Относительно центра они формируют определенную внешнюю среду. Тогда все экономическое пространство  $E$  можно описать:

$$E = \langle B; P^{Pr}; P^{Pt} \rangle, \quad (1)$$

где  $B$  – субъект рынка;

$P^{Pr}$  – множество предприятий-производителей экономического пространства;

$P^{Pt}$  – множество предприятий-потребителей экономического пространства.

Во внешней среде субъекта экономического пространства производятся различные по характеристикам товары или услуги и далеко не все из них совпадают по составу и значениям.

В связи с этим можно поставить цель первого этапа моделирования процесса формирования рынка  $R$  и сформулировать ее в терминах теории игр – определить множество условных коалиций предприятий в экономическом пространстве субъекта.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МНОЖЕСТВА УСЛОВНЫХ КОАЛИЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для решения задачи разбиения  $E$  на коалиции  $S$  применим подход, изложенный в [3, 4, 5], основанный на использовании математического ожидания случайной величины вектора Шепли и позволяющий на основании качественного описания элементов множества предприятий и использования ряда параметров экономического характера получить на множестве  $E$  конечное число коалиций  $S$ .

Таким образом, генеральную стратегию формирования коалиций  $S$  предлагается строить на общности признаков  $H$  товаров или услуг участников экономического пространства. Будем считать, что субъект может оценить все свойства каждого предприятия с помощью вектора критериев:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_q, \dots, K_z\}. \quad (2)$$

В связи с тем, что критерии  $K$  могут иметь различную значимость и влияние на решение задачи, следует рассмотреть следующие способы определения множества коалиций предприятий в случае множества критериев:

1. Случай равнозначности заданных критериев предлагается реализовать с использованием метода выбора альтернатив по обобщенному критерию [6];
2. Случай упорядоченности критериев по важности – лексикографический метод [6].

Рассмотрим первый возможный путь решения задачи в случае равнозначности заданных критериев с использованием метода выбора альтернатив по обобщенному критерию максимина. Сущность модернизации заключается в использовании для формирования коалиций интервальной оценки  $\zeta$ .

Пусть каждому из критериев  $K_q$  можно на основании экспертной информации поставить в соответствие множество оценок  $H_{qj}$  для всех предприятий (производителей или потребителей) из  $E$ . Количество критериев  $K_q$  во многом зависит от конкретных экономических условий и определяется экспертно. Тогда можно утверждать, что каждому предприятию  $P_j$  соответствует оценка  $H_{qj}$  для каждого из введенных критериев  $K_q$ . Тогда алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Для каждого критерия вычислить максимальную критериальную оценку по каждому из критериев:

$$H_{q \max} = \max_{q=\overline{1,z}} H_{qj}, \quad (3)$$

где  $z$  – число характеристик по  $K_q$  критерию.

2. Вычислить приведенные нормализованные оценки предприятия по критериям:

$$H_{qj}^* = \frac{H_{qj}}{H_{q \max}}. \quad (4)$$

3. Вычислить минимальную критериальную оценку для каждого предприятия:

$$H_{j \min} = \min H_{qj}^*. \quad (5)$$

4. Сформировать коалиции  $S$  на основе величины степени сходства  $\zeta$  предприятий:

а. Задаются левая и правая граница степени сходства  $\zeta_1, \zeta_2 \in [0, 1]$ . Величины выбираются случайным образом с учетом  $\zeta_1 < \zeta_2$ .

б. Коалиция  $S_j$  формируется из предприятий, для которых при заданных значениях степени сходства выполняется условие:

$$\zeta_1 \leq H_{j \min} < \zeta_2. \quad (6)$$

с. Изменяя значения левой  $\zeta_1$  и правой  $\zeta_2$  границ степени сходства, можно получить множество коалиций  $S$ .

Если поиск множества коалиций проводится по максимумному принципу, то на третьем шаге необходимо вычисление величины  $H_{j \max}$  с ее последующим использованием.

В общем случае поиск множества условных коалиций может быть затруднен, поскольку в различных практических задачах вес критериев может быть разным или их значения могут быть противоречивы. Поэтому целесообразно данную процедуру строить по иерархическому принципу, т.е. установить некоторую упорядоченность примененных критериев.

Предлагается применить метод поиска по лексикографически упорядоченным критериям [7], что обеспечивает быстрый машинный выбор перспективных вариантов коалиций. Сначала выделяется множество предприятий с наилучшей оценкой по наиболее важному критерию, а затем выбираются те участники экономического пространства, которые имеют лучшую оценку по следующему критерию из упорядоченных по важности. Сущность предлагаемой модернизации заключается в использовании уровня  $\alpha$  для формирования коалиций. Рассмотрим алгоритм, реализующий эту процедуру:

1. Критерии  $K$  упорядочиваются по важности:  $K_1, K_2, K_3$  и т.д.

2. ЛПР назначает уровень  $\alpha \in [0, 1]$ , для которого определяется множество лучших предприятий в соответствии с шагами:

а. Определить нижнюю ( $n$ ) и верхнюю ( $v$ ) границу  $\alpha$ -уровневых подмножеств для оценки предприятия по рассматриваемому критерию:

$$n(H_{qj}) = \inf_{H_{qj} \geq \alpha} l, \quad v(H_{qj}) = \sup_{H_{qj} \geq \alpha} l, \quad (7)$$

где  $l$  – значение оценки  $j$ -го предприятия  $H_{qj}$  для  $\alpha$ -уровня.

б. Для каждой пары предприятий  $j$  и  $j+1$  из  $P$  вычислить показатели взаимного превышения критериальных оценок  $\zeta_{H_{qj} H_{qj+1}}(H_{qj} > H_{qj+1})$  и  $\zeta_{H_{qj+1} H_{qj}}(H_{qj} < H_{qj+1})$ :

$$\zeta_{H_{qj} H_{qj+1}} = \frac{B(H_{qj}) - B(H_{qj+1})}{B(H_{qj}) - H(H_{qj})}, \quad (8)$$

$$\zeta_{H_{qj+1} H_{qj}} = \frac{H(H_{qj+1}) - H(H_{qj})}{B(H_{qj}) - H(H_{qj})}, \quad (9)$$

где  $H_{qj}, H_{qj+1} \in H$ .

с. Вычислить показатели функции принадлежности  $\mu_{qj}$   $j$ -го предприятия к множеству лучших по  $q$ -критерию:

$$\mu_{qj} = \sup \{ 0, ( \max_{H_{qj}, H_{qj+1} \in H} \zeta_{H_{qj}, H_{qj+1}} - \max_{H_{qj}, H_{qj+1} \in H} \zeta_{H_{qj+1}, H_{qj}} ) \}. \quad (10)$$

3. Если множество по рассматриваемому  $q$ -критерию содержит не одну альтернативу с  $\mu_{qj} \geq \alpha$ , то выбирается следующий критерий по важности и этапы п.2 повторяются.

4. Изменяя значение уровня  $\alpha$ , можно получить множество коалиций  $S$ .

Каждый из представленных алгоритмов содержит определенную модернизацию, которая является новой по сравнению с базовой структурой методов, лежащих в основе этих алгоритмов. Возможность изменений подтверждается практической реализацией их на ЭВМ в составе пакета прикладных программ выбора и распределения ресурсов [7].

Экономическое пространство субъекта может быть представлено как два множества коалиций предприятий-производителей и предприятий-потребителей:

$$E = \langle B; S^{pr}; S^{pt} \rangle, \quad (11)$$

причем

$$S^{pr} = \{S_y^{pr}\}, S^{pt} = \{S_y^{pt}\}. \quad (12)$$

где  $S_y^{pr}$  –  $y$ -я коалиция производителей;

$S_y^{pt}$  –  $y$ -я коалиция потребителей товаров или услуг.

Однако далеко не каждая коалиция может рассматриваться, как потенциальный рынок субъекта экономического пространства. Поэтому возникает следующая задача определения оптимальных коалиций предприятий (производителей и потребителей), совокупность которых (предприятий) сформирует рынок субъекта  $R$ .

## МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОАЛИЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Фактически определение оптимальной коалиции является следующим этапом локализации предприятий экономического пространства вокруг субъекта. В этой связи в процессе моделирования следует повысить структурированность и перейти к двум критериям:

1.  $K^C$  – обобщенный ценовой (стоимостной) критерий;
2.  $K^{NC}$  – обобщенный неценовой критерий.

В основу построения модели определения оптимальной коалиции предприятий предлагается положить подходы теории принятия решений, в соответствии с которыми каждый из введенных критериев можно рассматривать с точки зрения общего понятия полезности, т.е.  $j$ -е предприятие должно оцениваться в смысле целесообразности его учета как участника единого рыночного процесса с субъектом экономического пространства.

Возникает задача построения функции полезности в случае двух критериев  $K^C$  и  $K^{NC}$ .

Теоретические вопросы построения и оптимизации функции полезности подробно рассмотрены в литературе и в данной работе не приводятся [8, 9]. На основании предложенных процедур можно получить аналитический вид функции  $V$ , заданной на векторе критериев  $K$ , характеризующих ценовые и неценовые свойства предприятия. Полученная функция полезности обладает свойством непрерывности и позволяет на основании интерполяции рассчитывать ее значения за границами выбранных первоначально интервалов. Другими словами, у субъекта появляется возможность прогнозирования возможного изменения показателей предприятий. Это имеет большое практическое значение.

Если величину оценки каждого из критериев можно задать в виде некоторого интервала, т.е. степень неопределенности исходных данных высока, то для построения функции полезности предлагается воспользоваться методом, основанным на декомпозиции многомерных нечетких функций полезности, изложенным в [8, 9].

Точность получаемого результата существенно зависит не только от формализации исходных данных, но и от того, сколько критериев введены субъектом для предприятий.

Таким образом, можно определить значения функции полезности для каждого предприятия (производителей и потребителей) экономического пространства субъекта.

Тогда каждая коалиция  $S$  (например, производителей) представляет собой некоторое объединение:

$$S_y = \cup_j \frac{pr_j}{V_j(K^C, K^{NC})}, \quad (13)$$

где  $V_j(H_{K^C}, H_{K^{NC}})$  – значение функции полезности  $pr_j$  производителя. Отсюда следует, что функция полезности коалиции в целом:

$$V_{S_y} = \cup_j V_j(K^C, K^{NC}), \quad (14)$$

где  $pr_j \in S_y$ ,

При этом условии значение полезности может быть рассчитано, как среднее для всех ее элементов:

$$V_{S_y} = \frac{\sum_{j \in S_y} V_j(K^C, K^{NC})}{|S_y|}, \quad (15)$$

где  $S_y \in E$ .

Подобный расчет необходимо независимо производить для всех коалиций  $S$  подсистем производителей и потребителей экономического пространства  $E$ .

В качестве критерия оптимизации предлагается принять максимум функции полезности. Тогда применение критерия оптимизации к коалициям производителей и потребителей товаров или услуг позволяет сузить экономическое пространство  $E$  до рынка  $R$  и получить множества  $PR$  и  $PT$ :

$$PR = S^{pr} \setminus \max V_{S_y}, PT = S^{pt} \setminus \max V_{S_y}. \quad (16)$$

В результате можно определить состав множества производителей и множества потребителей, формирующих в совокупности для субъекта рынок товаров или услуг  $R$ :

$$R = PT \cup PR. \quad (17)$$

В основе предложенного подхода лежит использование базовых положений теории принятия решения и оптимизация функции полезности, применение которой к задаче моделирования процесса формирования рынка является элементом новизны данного научного исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов В.Б., Акулова О.В. Экономическая теория: учеб. пособие. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2002. – 115 с.
2. Борисов Е.Ф. Экономическая теория: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 1999. – 384 с.
3. Ауман Р., Шепли Л. Значения для неатомических игр. – М.: Мир, 1977. – 230 с.
4. Дюбин Г.Н. О функции Шелли для игр с бесконечным числом игроков // Теоретико-игровые вопросы принятия решений. – Л.: Наука, 1978. – 310 с.
5. Дюбин Г.Н., Суздаль В.Г. Введение в прикладную теорию игр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 336 с.
6. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений // Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
7. Степанов Л.В., Сербулов Ю.С., Силко В.В. Пакет прикладных программ для выбора и принятия решений в задачах поставки сырья на промышленное предприятие // Инф. листок № 289 – 97. – Воронеж: ЦНТИ, 1997. – 2 с.
8. Борисов А.Н., Алексеев А.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
9. Кини Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: пер. с англ.; под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

**Степанов Леонид Викторович**

Институт менеджмента, маркетинга и финансов, г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий

Тел.: 8-950-771-31-13, (4732) 42-21-41

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

А.А. БЕЛОВ, Ю.А. КРОПОТОВ, А.Ю. ПРОСКУРЯКОВ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА  
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДАННЫХ О ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЫБРОСАХ  
В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

*Освещены вопросы применения аппарата вейвлет-преобразования для анализа и обработки временных рядов концентраций загрязняющих веществ. Научная новизна заключается в разработке математической модели временного ряда, построенной на базе вейвлет-преобразования. На основе предложенной модели разрабатываются алгоритмы анализа, обработки и представления экспериментальных временных рядов концентраций загрязняющих веществ. Подробно описывается процесс преобразования временных рядов на основе работы с коэффициентами вейвлет-разложения и многомасштабного представления анализируемых временных рядов. Разработанные алгоритмы интегрируются в автоматизированную систему контроля над промышленными выбросами.*

*Ключевые слова:* вейвлет-преобразование; система контроля над выбросами; временные ряды данных; обработка и анализ данных; коэффициенты разложения.

*The questions of application wavelet-transformation for the analysis and processing of time series concentrations of pollutants is represented. Scientific novelty of the work is to develop a mathematical model of time series, constructed on the basis of the wavelet transform. On the basis of the model developed algorithms for analysis, processing and presentation of experimental time-series concentrations of pollutants. Process of transformation time numbers on the basis of work with factors of wavelet-decomposition and multiscale representation of analyzed time numbers is in detail described. The developed algorithms are integrated into the automated monitoring system behind industrial emissions.*

*Keywords:* wavelet-transformation; the monitoring system behind emissions; time numbers of the data; processing and analysis of the data; coefficients of decomposition.

Снижение негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и автоматизация контроля над выбросами загрязняющих веществ является важной задачей современных промышленных предприятий.

Развитие рыночной экономики России, выход отечественных предприятий на зарубежные рынки сбыта продукции обусловили совершенствование существующих систем менеджмента предприятий, а также необходимость модернизации входящих в их состав систем обеспечения экологической безопасности и необходимостью их доведения до требований международного стандарта ИСО 14000.

В ходе автоматизированного контроля над выбросами осуществляется сбор и накопление временных рядов концентраций загрязняющих веществ.

Существующие на сегодняшний день алгоритмы решают задачу обработки, анализа и представления данных о загрязняющих выбросах, концентрациях загрязняющих веществ, областях их локализации не в полной мере.

В связи с этим возникает необходимость разработки и исследования алгоритмов, позволяющих проводить весь цикл обработки, анализа и представления данных об уровне выбросов, зонах распространения загрязняющих веществ на основе выбранного математического метода.

Возникает задача описания разнородной экспериментальной и расчетной информации о концентрациях загрязняющих веществ и их локализации на местности. При этом должна обеспечиваться возможность совместного анализа, обработки и представления этих данных на базе выбранного метода преобразования.

Одним из наиболее эффективных математических методов (по критериям погрешности и вычислительным затратам) для анализа и обработки нестационарных во времени временных рядов концентраций загрязняющих веществ является вейвлет-преобразование.

Применение вейвлет-преобразования позволяет сконцентрировать внимание на тех или иных локальных особенностях анализируемых временных рядов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционного преобразования Фурье и других ортогональных преобразований. Данный метод преобразования позволяет проводить весь цикл обработки и анализа временных экспериментальных рядов концентраций загрязняющих веществ, начиная от первичной обработки и анализа, заканчивая прогнозированием, восстановлением значений временных рядов данных об уровнях выбросов без проведения других промежуточных преобразований.

При применении вейвлет-преобразования существуют два основных подхода: алгоритмы, основанные на работе с коэффициентами разложения (первичная обработка, фильтрация, сжатие, прогнозирование и т.д.), и алгоритмы, основанные на многомасштабном анализе исследуемого сигнала (рассмотрение внутренней структуры анализируемых данных).

Для создания алгоритмов автоматизации обработки и анализа данных первоначально была разработана математическая модель временных рядов концентраций, основанная на свойствах вейвлет-преобразования.

Математическая модель временного ряда концентраций может быть представлена в виде суммы 2 компонент – сигнала с датчика и флуктуации относительно уровня сигнала:

$$x(t_k) = u(t)_k + \xi_k, \quad (1)$$

где  $u(t)$  – уровень сигнала с датчика;

$\xi_k$  – случайная флуктуация сигнала с датчика.

Сигнал  $x_k$  раскладывается на две проекции – проекцию на пространство  $V^m$  (аппроксимирующие коэффициенты, представляющие низкочастотную составляющую сигнала) и пространство  $W^m$  (детализирующие коэффициенты, отвечающие за передачу высокочастотной части сигнала). При этом аналогичному дальнейшему разложению подвергается только пространство  $V^m$  [1].

В результате вейвлет-преобразования получаются аппроксимирующие (C) и детализирующие (d) коэффициенты разложения:

$$C_1 = \frac{1}{p} \cdot (u(t)_k + \xi_k) \cdot \varphi_1(2t - k); \quad d_1 = \frac{1}{p} \cdot (u(t)_k + \xi_k) \cdot \psi_1(2t - k) . \quad (2)$$

На каждой следующей итерации разложению подвергаются только аппроксимирующие коэффициенты предыдущего уровня.

$$C_{i+1} = \frac{1}{p} \cdot C_i \cdot \varphi_{i+1}(2^{i+1}t - k), \quad d_{i+1} = \frac{1}{p} \cdot C_i \cdot \psi_{i+1}(2^{i+1}t - k). \quad (3)$$

Упрощенно формулу восстановления сигнала можно записать в виде:

$$x_k = d_1 + d_2 + \dots + d_n + C_n \quad (4)$$

Таким образом, математическая модель экспериментального временного ряда концентраций при вейвлет-разложении до уровня  $n$  может быть представлена в виде:

$$x_k = \frac{1}{p} [(u(t)_k + \xi_k) \cdot \psi_1(2t - k)] + \sum_{i=1}^n (C_i \cdot \psi_{i+1} \cdot (2^{i+1}t - k)) + C_n \cdot \varphi_n \cdot (2^n t - k) \quad (5)$$

где  $p$  – коэффициент нормирования.

Минимальное время опроса установленных в системе контроля датчиков (Detcon IR-700, FP-700) программным путем равно 10 мс. Осуществление сбора с такой периодичностью повлечет огромную избыточность накопления массивов концентраций. Поэтому необходимо исследовать и обосновать дискретность сбора значений концентраций с датчиков.

1) Анализируем частоту повторения значений концентраций при разных значениях частоты опроса датчиков.

2) На основе оптимальной частоты опроса, определенной в п.1, формируем временную табличную функцию и строим её график.

3) Аппроксимируем табличную функцию полиномом и строим график аппроксимирующего полинома.

4) С помощью преобразования Фурье находим амплитудный спектр, по которому находим верхнюю частоту спектра временного ряда концентраций.

5) По теореме Котельникова вычисляем оптимальный период дискретизации.

В соответствии с разработанной математической моделью были созданы алгоритмы, на которых базируется работа подсистемы обработки и анализа экспериментальных данных. Данная подсистема является важнейшей частью системы контроля за выбросами на промышленном предприятии.

Алгоритм работы данной подсистемы приведен на рисунке 1.

Процесс обработки и анализа временных рядов концентраций загрязняющих веществ начинается с процедуры сглаживания. Оно необходимо для повышения эффективности дальнейшей обработки и анализа временных рядов концентраций. Высокочастотная составляющая сигнала несет в себе минимум информации об основных тенденциях изменения концентраций загрязняющих веществ, поэтому её необходимо сгладить. Для этого проводится пороговая обработка детализирующих коэффициентов первых уровней разложения. Проведение сглаживания временного ряда позволяет повысить соотношение сигнал/шум тестового анализируемого временного ряда концентраций

После первичной обработки временного ряда начинается процесс анализа свойств сигнала, выявление особенностей периодических структур и тренда.

Периодические структуры определяют годовые, сезонные, месячные, недельные, суточные колебания концентраций загрязняющих веществ. На малых уровнях вейвлет-разложения (высокая частота анализирующей скейлинг и вейвлет-функции) выявляются суточные и недельные периодические структуры.

Применение больших масштабов вейвлет-разложения позволяет выявить более редкие периодические процессы изменения концентраций загрязняющих веществ (рис.2 а).

Вейвлет-преобразование позволяет выделить краткосрочные и долговременные тренды временных рядов концентраций загрязняющих веществ, а это может быть использовано при анализе динамики, прогнозировании и принятии управляющих решений, направленных на сокращение уровня выбросов загрязняющих веществ на промышленном предприятии (рис.2б).

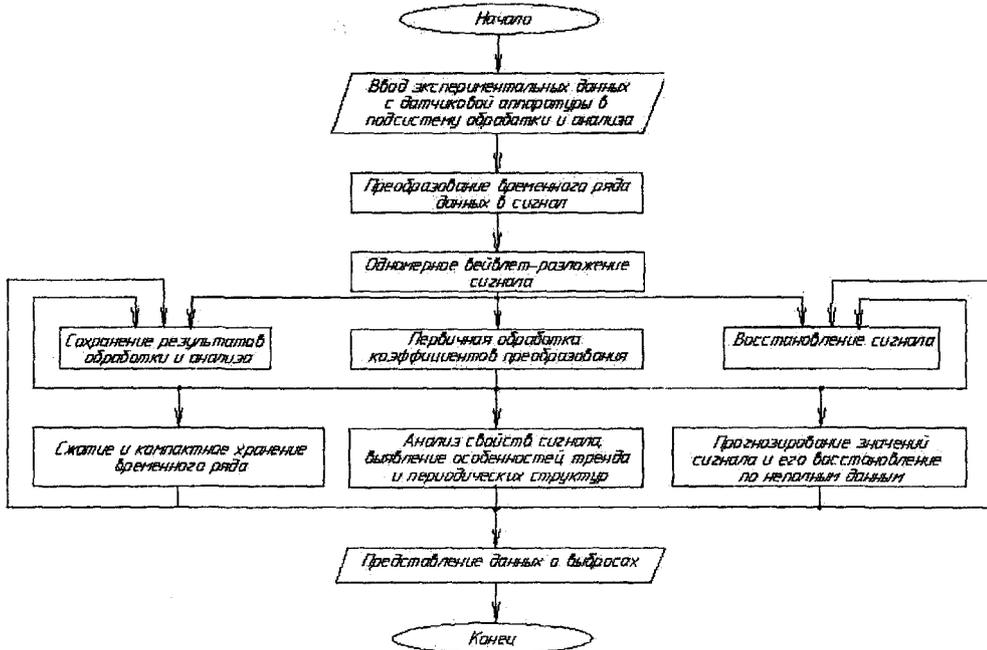


Рисунок 1 – Работа подсистемы анализа и обработки экспериментальных временных рядов

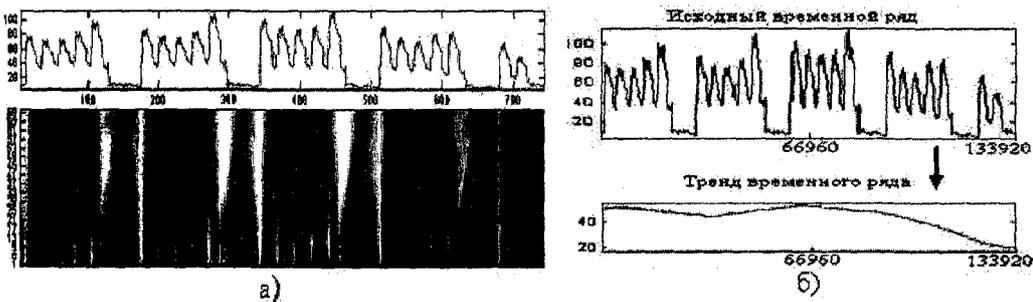


Рисунок 2 – Анализ периодических структур и тренда временного ряда концентраций

Общее число датчиков системы контроля над выбросами может быть достаточно большим (к каждому компьютеру системы контроля по интерфейсу RS-485 подключается до 32 датчиков), а информация с датчиковой аппаратуры может собираться через короткие промежутки времени, поэтому необходимо сокращать объемы массивов накопленных значений временных рядов концентраций. Ежемесячно перед сохранением временных рядов концентраций в архивную базу данных системы осуществляется их сжатие на основе пороговой обработки (трешолдинга) вейвлет-коэффициентов разложения.

Существуют несколько методик по выбору оптимальных пороговых уровней отсекающей детализирующих коэффициентов вейвлет-разложения ряда: стратегия высокой, средней и низкой редкости детализирующих коэффициентов (Scarce high, medium, low); стратегия выбора многоуровневого штрафного порога отсекающей детализирующих коэффициентов (Penalize high, medium, low); стратегия удаления детализирующих коэффициентов, стремящихся к нулю (Remove near 0); стратегия процентного баланса между нормой сжатого сигнала и количеством обнуленных детализирующих коэффициентов (Balance sparsity norm).

На основании приведенных выше стратегий пороговой обработки при сжатии одномерного сигнала была проведена компрессия тестового сигнала, отображающего временной ряд данных концентраций ацетона, полученного в течение декабря 2008 года. Временной ряд содержит 133920 отсчета (отсчеты брались каждые 20 секунд в течение месяца).

Сжатие одномерного временного ряда концентраций происходит на основе двухканального одномерного дискретного вейвлет-разложения на аппроксимирующие ( $C_j$ ) коэффициенты последнего уровня и детализирующие вейвлет-коэффициенты каждого уровня разложения ( $d_1, d_2, ..d_j$ ) [2].

Процедуру пороговой обработки можно осуществлять над любыми коэффициентами, полученными при разложении. Степень сходства исходного и сжатого сигналов можно выразить через величину взаимной информации  $I(x_k, \bar{x}_k)$ . Данная характеристика показывает, сколько информации об исходном сигнале  $x_k$  сохраняется в сжатом восстановленном  $\bar{x}_k$  сигнале:

$$I(x_k, \bar{x}_k) = \sum_{k=1}^l p(x_k, \bar{x}_k) \cdot \log_{10} \frac{p(x_k, \bar{x}_k)}{p(x_k) \cdot p(\bar{x}_k)}, \quad (6)$$

где  $p(x_k), p(\bar{x}_k)$  – плотности распределения вероятностей вейвлет-коэффициентов исходного и сжатого сигналов,

$p(x_k, \bar{x}_k)$  – совместная плотность распределения вероятностей сигналов.

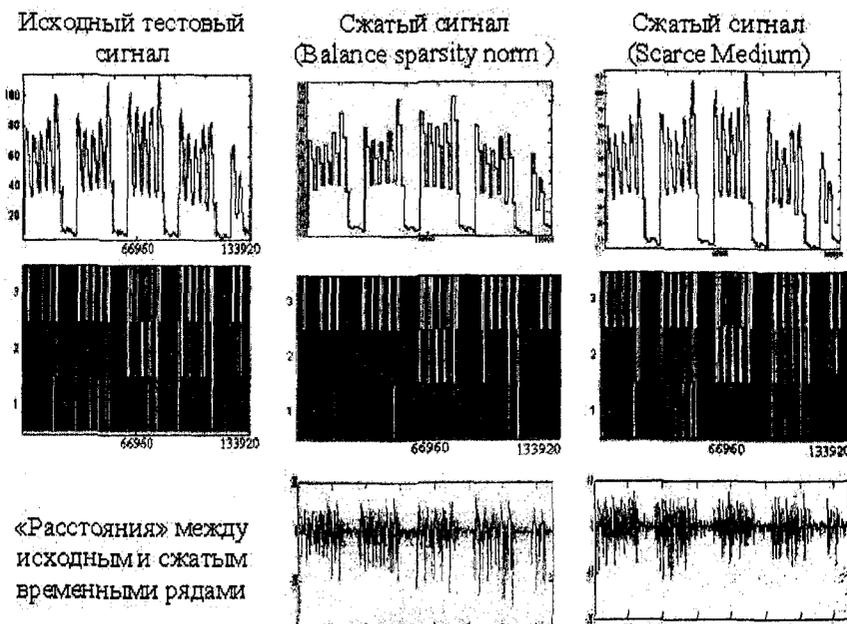


Рисунок 3 – Экспериментальное сжатие тестового временного ряда

На рисунке 3 приведены результаты сжатия тестового сигнала при использовании различных методов трешолдинга, вейвлет-образы сигналов, функции разности (расстояния) между сигналами и автокорреляционные функции для разности сигналов.

Величину потерянной информации при пороговой обработке коэффициентов разложения можно вычислить как разность соответствующих аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов разложения:

$$I(x_k - \bar{x}_k) = \sum_{j=1}^m (C_{jn} - \bar{C}_{jn}) + \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^t (d_{ik} - \bar{d}_{ik}), \quad (7)$$

де  $n$  – уровень разложения;

$m, t$  – число аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов.

Процент обнуленных вейвлет-коэффициентов вычисляется по формуле:

$$Noz = (1 - \frac{\bar{N}}{N}) \cdot 100 \% , \quad (8)$$

где  $N$  и  $\bar{N}$  – исходное и оставшееся после трешолдинга число вейвлет-коэффициентов.

Эффективность вейвлет-сжатия можно количественно выразить через коэффициент сжатия:

$$K = \frac{N}{\bar{N}} \cdot 100 \% \quad (9)$$

В таблице 1 приведены основные параметры сжатия тестового временного ряда при различных стратегиях трешолдинга.

Одной из важнейших задач в ходе автоматизированного контроля за выбросами является восстановление утраченных и прогнозирование значений временных рядов концентраций.

Таблица 1– Параметры сжатия тестового временного ряда

		Исходный сигнал	Balance sparsity norm	Scarce		
				High	Medium	Low
Пороговые значения по уровням	1	0	24,67	11,12	10,83	10,15
	2	0	19,135	8,31	7,28	6,56
	3	0	17,925	5,95	4,38	1,48
Размер, байт		780120	97560	163620	195120	226620
Обнуленные коэффициенты, %		0	<b>87,5</b>	79,03	75	70,97
Остаточная энергия, %		100	99,05	99,66	99,73	99,79
Коэффициент сжатия, раз		1	<b>7,996</b>	4,768	3,998	3,442

Для решения этой задачи осуществляется регрессионный анализ временных рядов концентраций на основе вейвлет-преобразования. Данная возможность обеспечивается разложением сигнала на аппроксимирующие и детализирующие составляющие, по которым можно восстановить ряд данных.

Входной временной ряд данных  $(x_k, y_k)$  преобразуется в массив  $(X_b, Y_b)$ , в котором  $X_b$  – равномерно распределенные отсчеты времени, полученные посредством

деления временной оси на равные отрезки. Для каждого отрезка  $I$  находится среднее значение  $Y_b(i)$  на данном отрезке:

$$Y_b(i) = \frac{\sum_{j=1}^N y_j(i)}{N}, \quad (10)$$

где  $N$  – число отсчетов на отрезке.

Выполняется вейвлет-разложение сигнала. На данном этапе посредством скейлинг и вейвлет-функции осуществляется аппроксимация сигнала  $Y_b(i)$  коэффициентами разложения. В результате получают усредненные аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты уровня разложения  $J$  [3]:

$$\bar{C}_{J,k} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{nb} Y_b(i) \cdot \varphi_{J,k}(X_b(i)); \quad \bar{d}_{J,k} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{nb} Y_b(i) \cdot \psi_{J,k}(X_b(i)). \quad (11)$$

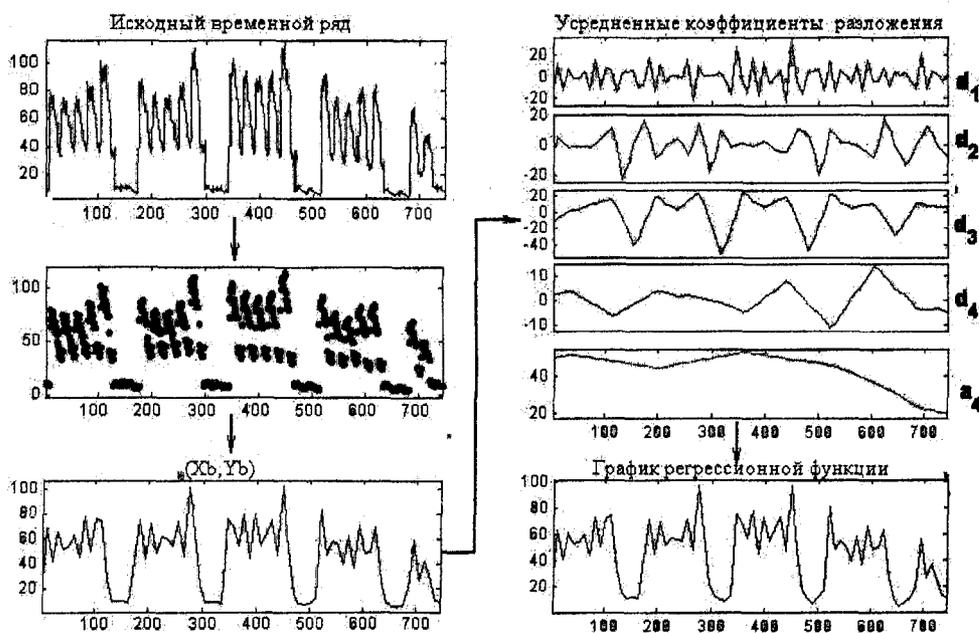


Рисунок 4 – Построение регрессионной функции

Полученные коэффициенты полностью характеризуют функцию регрессии  $\bar{f}$ , с её помощью может быть выполнена операция экстраполяции или аппроксимации временного ряда экологических данных (рис. 4). Затем с помощью обратного вейвлет-преобразования по коэффициентам  $\bar{C}_{J,k}$  и  $\bar{d}_{J,k}$  восстанавливается прогнозируемое значение временного ряда  $y(j)$  для произвольного значения параметра  $x(j)$ , лежащего внутри или за границами исходного диапазона значений времени (рис. 5):

$$y(j) \approx \bar{C}_J \cdot \varphi_J(x(j)) + \sum_{m=1}^J \bar{d}_m \cdot \psi_J(x(j)) \quad (12)$$

Системный подход к обработке и анализу временных рядов концентраций на едином математическом методе вейвлет-преобразования позволяет повысить эффективность автоматизированной обработки данных о загрязняющих выбросах, полученных с помощью системы контроля, приведенной на рисунке 5 [4].

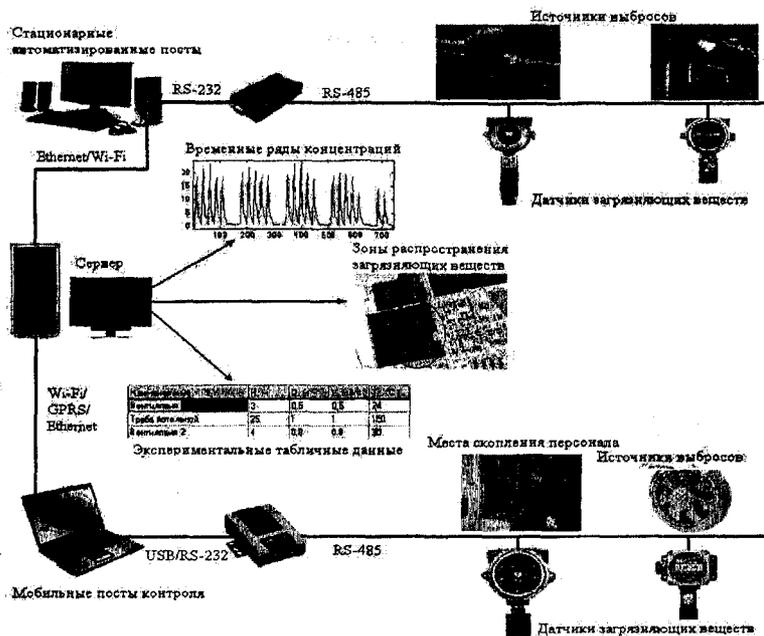


Рисунок 5 – Система контроля над выбросами промышленного предприятия

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов А.А. Применение вейвлет-преобразований для обработки картографических данных в экологической ГИС / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии», 2008. – №1. – С. 40-45. – Библиогр.: С. 45.
2. Белов А.А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – №12. – С. 9-15. – Библиогр.: С. 15.
3. Белов А.А. Вопросы обработки экспериментальных временных рядов в электронной системе автоматизированного контроля / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая, 2010. – №1. – С. 95-101. – Библиогр.: С. 101.
4. Белов А.А., Бурман В.М., Кропотов Ю.А., Макаров С.В., Самарин А.Н., Суворова Г.П. Патент на полезную модель № 90577 «Система контроля за выбросами промышленного предприятия» от 10 января 2010 г.

**Белов Алексей Анатольевич**

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет», г. Муром  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры ЭиВТ  
 Тел.: +7920-622-55-82  
 E-mail: aleks.murom@mail.ru

**Кропотов Юрий Анатольевич**

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский г. Муром  
 Кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой ЭиВТ  
 Тел.: +7(49234)2-15-72  
 E-mail: electron@mivlgu.ru

**Проскуряков Александр Юрьевич**

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет», г. Муром  
 Студент группы ЭВМ-105

А.Л. ЛИТВИНОВ, Т.В. ЗАЙЦЕВА, С.В. ИГРУНОВА,  
Н.П. ПУТИВЦЕВА, О.П. ПУСНАЯ

## О ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ<sup>1</sup>

*В работе рассмотрены основные характеристики графических файлов и предложена их возможная классификация в соответствии со сферой применения.*

*Ключевые слова:* графические файлы; классификация; характеристики изображений; критерии сравнения изображений.

*Basic descriptions of graphic files are in-process considered and their possible classification is offered in accordance with a purview.*

*Keywords:* graphic files; classification; descriptions of images; criteria of comparison of images.

Многие направления науки, техники и производства в значительной степени ориентируются на развитие систем, в которых информация носит характер поля (изображения). При обработке такой информации возникает ряд сложных научных, технических и технологических проблем. Одной из самых сложных на сегодняшний момент из них является обработка и распознавание изображений. О важности этой проблемы говорит тот факт, что исследования по распознаванию образов, анализу изображений и речи включены в перечень приоритетных направлений развития науки и техники и критических технологий федерального уровня.

Как уже было сказано, в последние годы одним из направлений развития компьютерных технологий является обработка цифровых изображений: улучшение качества изображения или восстановление поврежденных изображений. Быстрое развитие цифровых технологий получения, хранения и обработки цифровых фото- и видеоизображений, а также увеличение объемов хранимой и передаваемой посредством компьютерных сетей графической информации, определяет актуальность разработки новых, более эффективных алгоритмов сжатия изображений [1]. Одним из новых направлений в теории кодирования изображений является применение автоматической классификации.

Классификация изображений играет важную роль при решении многих задач, таких как системы технического зрения роботов, распознавание образов, анализ рентгенографических и других медицинских снимков и т.д. В общей постановке задача автоматической классификации может рассматриваться как задача принятия решений в условиях отсутствия информации о вероятностных распределениях образов и числе классов и решается методами кластерного анализа. При этом необходимо учитывать, что существует множество возможных осей для построения классификации, выбор позиции зависит от того, для какой цели должны использоваться изображения.

В настоящее время существует очень много документов, содержащих графические изображения, и множество графических файлов, при этом методы сжатия в различных файлах могут быть одинаковыми и, наоборот, один и тот же

<sup>1</sup> Статья поддержана грантом РФФИ № 10-07-00266.

формат графического файла может быть получен разными методами сжатия.

Все типы информации занимают много места на диске (особенно, если это \*.bmp или \*.psd файлы) и требуют довольно больших вычислительных мощностей. С другой стороны растут потребности пользователей. Им надо не только хранить и просматривать подобную информацию у себя на компьютере, но и передавать ее по сети. Это все накладывает определенные требования на виды представления информации, на аппаратное обеспечение, а также на возможности преобразования изображений для дальнейшего использования.

Относительно представления и преобразования информации можно выделить следующие требования: [2]

1. Информация должна быть компактной, то есть занимать немного места на диске и не должна требовать много времени для передачи ее по сети.

2. При сжатии графической информации не должно страдать ее качество. Это требует применение алгоритмов сжатия без потери, либо, если применение таких алгоритмов невозможно, тщательный подбор коэффициентов сжатия в алгоритмах сжатия с потерей.

Необходимость использования сжатия для графических изображений обуславливается следующими тремя основными особенностями изображений: изображения занимают намного больше места в памяти, чем текст; человеческое зрение при анализе изображения оперирует контурами, общим переходом цветов и сравнительно нечувствительно к малым изменениям в изображении; изображение, в отличие, например, от текста, обладает избыточностью в 2-х измерениях (соседние точки как по горизонтали, так и по вертикали в изображении близки по цвету). Данные особенности позволяют создавать специальные алгоритмы сжатия, ориентированные только на изображения. А выбор оптимального алгоритма сжатия определяется особенностями структуры изображения и требованиями, предъявляемыми к нему в зависимости от цели использования.

При решении задачи автоматической классификации возникают следующие проблемы: выбор информативного признакового пространства, выбор меры сходства и выбор метода классификации. Поэтому, прежде чем осуществлять выбор алгоритма сжатия, необходимо четко представлять, для каких целей будет использоваться изображение, и выделить основные характеристики, по которым будут сравниваться разработанные на сегодняшний день алгоритмы.

К основным характеристикам графических файлов можно отнести:

1. Соответствие сфере применения. Большинство графических форматов ориентировано на конкретные области применения. Например, для Web-сайтов наиболее предпочтительны файлы с расширениями \*.jpg и \*.gif.

2. Возможность хранения дополнительных цветовых каналов. В полиграфии очень часто используют заранее подготовленные смешанные цвета (так называемые, плашечные).

3. Возможность хранения масок. Данная характеристика является не однозначной и в разных областях применения имеет свою специфику.

4. Возможность хранения обтравочных контуров. Например, в случае подготовки изображения для верстки лучше выбирать форматы, которые поддерживают обтравочные контуры.

5. Возможность хранения калибровочной информации. Данная характеристика является важной, так как представляет собой математическое описание цветопередачи одного и того же устройства.

6. Возможность и способы сжатия графической информации. Большинство графических файлов уже представлены в сжатом виде, при этом при сжатии одного и того же файла могут применяться различные алгоритмы сжатия.

7. Возможность хранения параметров растривания. Данное свойство является важным при выводе изображения на экран или печать.

8. Использование цветовых моделей. Например, формат TIFF поддерживает монохромные, индексированные, полутоновые, полноцветные, многоканальные изображения и альфа-каналы в изображениях.

9. Возможность масштабирования. При изменении размеров изображения необходимо сохранение пропорций и отсутствие эффекта пикселизации.

10. Наличие избыточности в изображениях. Различают статистическую и визуальную избыточности.

11. Поддержка контрастности. Для ряда специализированных изображений, например, для рентгеновских снимков, обязательным условием является контрастность.

12. Плотность. Данная характеристика чаще всего учитывается при выводе изображения на экран или печать.

В данной статье рассмотрим основные типы изображений в соответствии со сферой применения. Можно выделить три основные группы изображений: промышленные, дизайнерские и бытовые. Для каждой группы характерны свои особенности.

Группы состоят из классов, которые могут пересекаться и одновременно принадлежать нескольким группам в зависимости от тех требований, какие являются приоритетными для той или иной области применения.

В литературе [3-5], как правило, рассматриваются отдельные виды изображений с выделением для них основных характеристик, но до сих пор нет четкой классификации изображений по областям применения с учетом этих характеристик.

Нами сделана попытка классифицировать изображения с учетом их особенностей и границ применимости. Предлагается выделять следующие классы изображений: технические, деловая графика, виртуальные модели, для Web-дизайна, полиграфические и изображения, полученные от специализированных источников излучения.

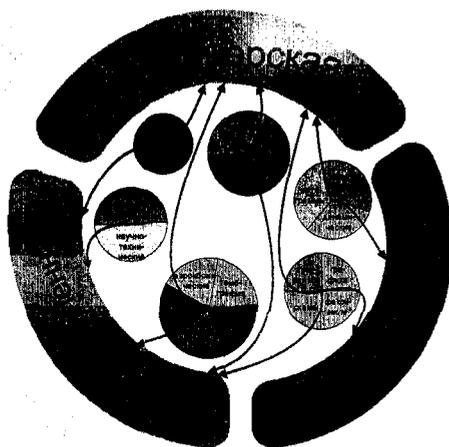


Рисунок 1 – Классификация изображений по сфере применения

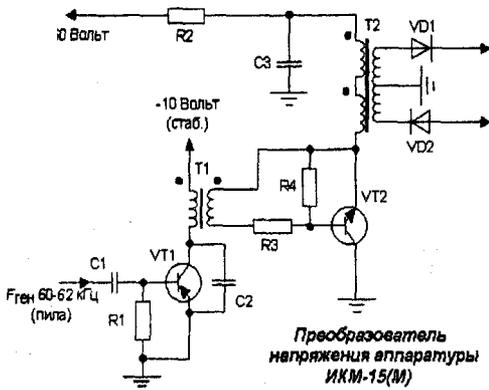


Рисунок 2 – Схема преобразователя



Рисунок 3 – Фрагмент модели порта

К классу технических изображений мы отнесли научно-технические и инженерные. К научно-технической графике относят изображения, включающие в себя расчетные формулы, модели, схемы.

Основными требованиями, предъявляемыми пользователями, являются: возможность масштабирования без потери качества, большая размерность исходных изображений, четкость контуров.

К этому же классу можно отнести инженерную графику (в том числе, чертежи и эскизы).

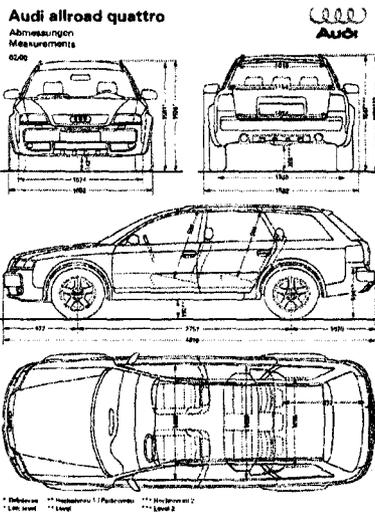


Рисунок 4 – Пример чертежа

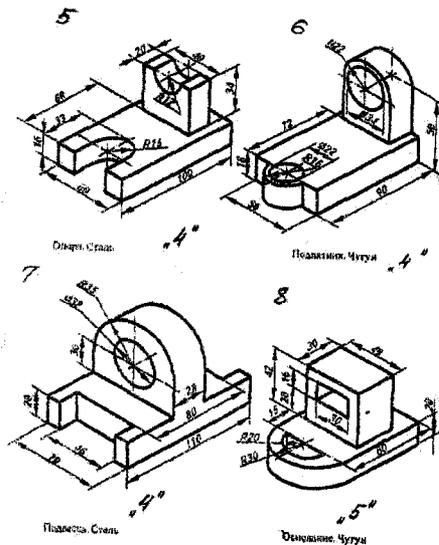


Рисунок 5 – Пример эскиза

Подобные изображения должны обладать следующими характеристиками: сохранение соотношений свойств (атрибутов) линий при изменении размера, поддержка градаций серого цвета или битовая палитра.

К классу деловой графики мы отнесли различные типы диаграмм и графиков, организационные схемы, схемы процессов, блок-схемы, факсимильные сообщения.

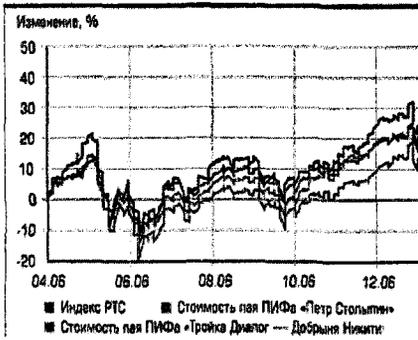


Рисунок 6 – Пример графика

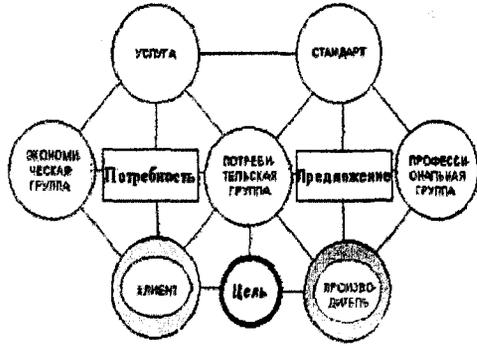


Рисунок 7 – Пример организационной схемы

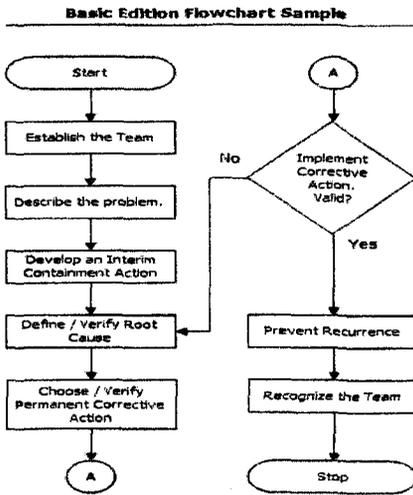


Рисунок 8 – Пример блок-схемы

mCharts.com visitors countries

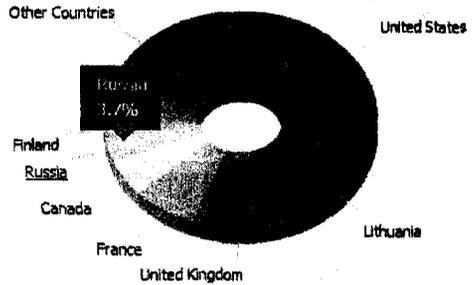


Рисунок 9 – Пример диаграммы

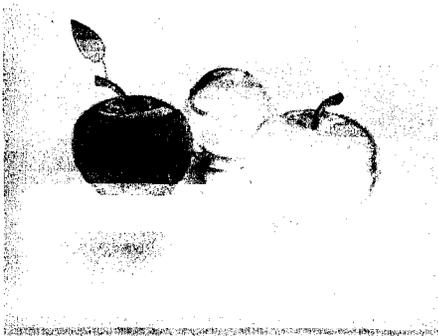


Рисунок 10 – Пример 3D-графики

Характеристики изображений данного класса: масштабируемость, контрастность, цветность. В зависимости от носителя деловая графика может быть плакатной, презентационной.

Класс виртуальных моделей может в себя включать модели, созданные в 3D-графике (без программирования: например, с помощью программных средств «Компас», 3D-MAX, AutoCAD; и с программированием), фрактальные модели.

Основные характеристики изображений данного класса: возможность масштабирования без потери качества и размер файла.

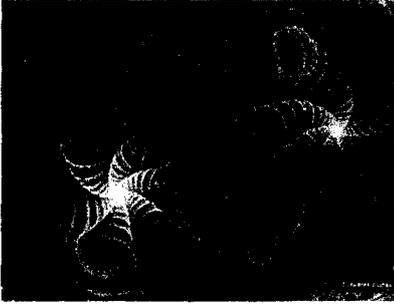


Рисунок 11 – Пример фрактальной графики

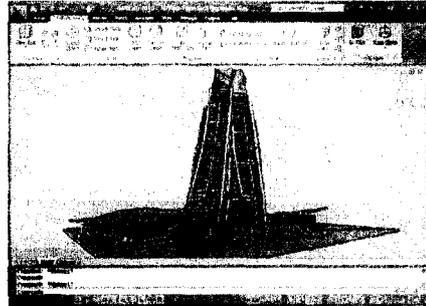


Рисунок 12 - Пример модели в AutoCAD

К следующему классу изображений мы отнесли класс Web-публикаций, к которому можно отнести динамические (анимационные) и статические изображения, а также пиктограммы.

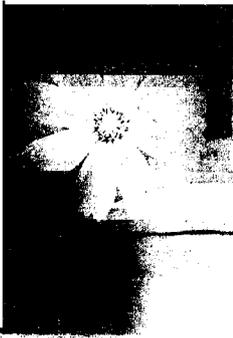


Рисунок 13 – Рисунок с Интернет-сайта



Рисунок 14 – Пиктограммы

Отличительные характеристики данных изображений – малая размерность, небольшая плотность, прозрачный фон.

К полиграфическим относятся следующие виды изображений: фотореалистические, типографская и настольная печать.

Для них характерно: цветовые модели, оригиналы должны быть большей размерности, наличие каналов, плавные цветовые переходы.



Рисунок 15 – Эстамп

Artist-Guide.ru  
03.07.2008



Рисунок 16 – Плакат

Большой группой графических изображений являются изображения, полученные со специализированных приборов и устройств. К данному виду можно отнести рентгеновские, томографические, радиолокационные, ультразвуковые, топографические карты, аэрокосмические снимки.

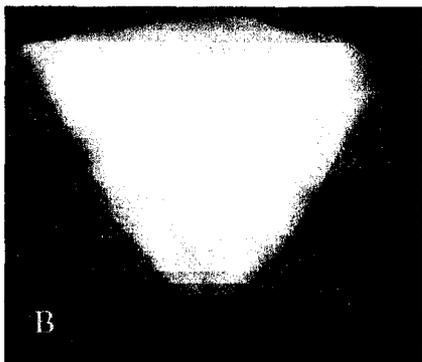


Рисунок 17 – Ультразвук

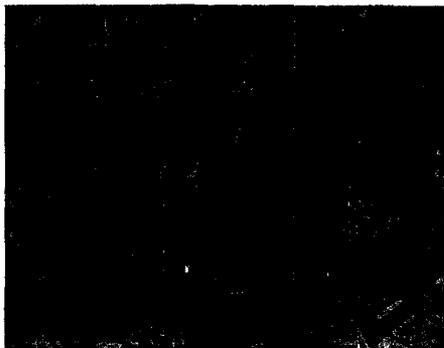


Рисунок 19 – Пример радиолокационного изображения

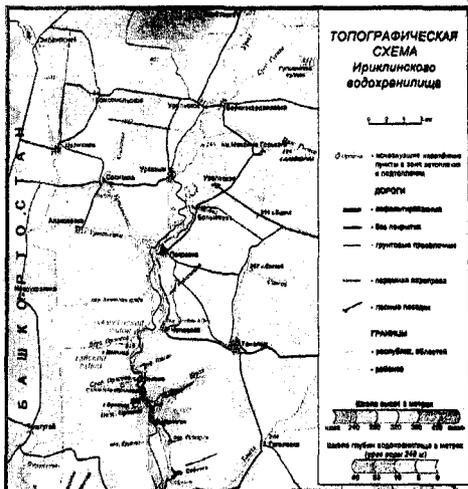


Рисунок 18 – Пример топографической схемы

Характеристики данных изображений: четкость контуров, контрастность, отсутствие избыточности, кроме того, палитры должны ограничиваться 256 цветами или градациями серого.

Для рентгеновских изображений характерно преобладание размытых участков. Аэрокосмические (аэрофотоснимки) имеют специфические проблемы – большой размер изображения и необходимость выборки лишь части изображения по требованию, кроме того, может потребоваться масштабирование.



Рисунок 20 – Рентген

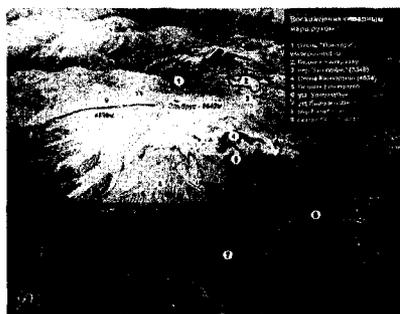


Рисунок 21 – Аэрокосмическое изображение



Рисунок 22 – Томография

И последний класс – изображения, используемые в повседневной жизни. Как правило, это личные фотографии и другие изображения для досуга и развлечений.

Особых требований к данным изображениям не предъявляется, лишь в некоторых случаях ограничиваются размерами.

Таким образом, в статье представлена возможная классификация графических изображений в зависимости от сферы использования с учетом их особенностей. Такая классификация позволяет выбрать первоначальные критерии для сравнения изображений, однако она является неполной. В дальнейшем планируется развить этот подход к классификации изображений с учетом других характеристик, имер, таких, как возможность и способы сжатия.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Земсков В.Н., Ким И.С. Сжатие изображений на основе автоматической классификации // Известия ВУЗов. Электроника, 2003. – №3. – С. 50-56.
2. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 384 с.
3. Тропченко А.Ю., Тропченко А.А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.
4. Климов А.С. Форматы графических файлов. – К.: НИПФ «ДиаСофт Лтд.», 1995. – 480 с.
5. Сван Том. Форматы файлов WINDOWS: Советы, методы, предостережения и секреты программиста, знающего WINDOWS изнутри / Том Сван; пер. с англ. Д.А. Зарецкого. – М.: Бином, 1995. – 287 с., ил. – (COMPUTER CLUB). – ISBN 5-7503-0014-5: Б. ц.

#### **Литвинов Анатолий Леонидович**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики  
Тел.: (4722)30-20-16, 30-13-61  
E-mail: litvinov@bsu.edu.ru

#### **Зайцева Татьяна Валентиновна**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики  
Тел.: (4722)30-20-16, 30-13-59  
E-mail: zaitseva@bsu.edu.ru

#### **Игрунова Светлана Васильевна**

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

#### **Путивцева Наталья Павловна**

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

#### **Пусная Ольга Петровна**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Ассистент кафедры прикладной информатики  
Тел.: (4722)30-13-61  
E-mail: pusnaya@bsu.edu.ru

В.И. РАКОВ, О.В. ЗАХАРОВА

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

*В данной работе проведен анализ особенностей и предложен подход к построению автоматизированных систем научных исследований компонентов быстродействующих промышленных контроллеров.*

*Ключевые слова:* промышленный контроллер; автоматизированная система научных исследований.

*In work creation of the automated system of scientific researches for the high-speed industrial computer is considered.*

*Keywords:* industrial computers; the automated system of scientific researches.

Современный промышленный контроллер (ПК) представляет собой композицию компонент программируемых логических контроллеров (ПЛК), компонент цифровых контурных регуляторов, компонент контроллеров с экспертной технологией (нечеткие регуляторы или регуляторы на основе нечеткой логики), компонент технических средств организации ярусной структуры. Первоначально под ПК понимались только ПЛК. Такое увеличение сложности ПК вызвано изменением представлений об объекте управления (ОУ), о процессе управления, о структурах самих элементарных контуров управления.

Процесс управления теперь понимается не только как текущее управление, то есть формирование управляющего воздействия в соответствии с заданным законом управления, а ещё как текущий контроль, текущий учет и текущее планирование. Происходит увеличение исполнительных механизмов, датчиков, элементов управления, уменьшается время реакции элементов ОУ, а усложнение закона управления и введение процесса моделирования в контур управления приводит к резкому усложнению алгоритма управления.

Всё это вместе взятое ведет к резкому увеличению объемов вычислительных операций и делает актуальным обеспечение ПК высокопроизводительными микропроцессорными компонентами для управления элементами технологической автоматики на основе логических микроЭВМ, для управления электроприводом на основе контурных микроЭВМ, для обеспечения диалогового взаимодействия и отображения, для обеспечения управления конфигурацией и связью географически распределенных элементов объекта управления, для организации согласованного функционирования и координации работы остальных микропроцессорных узлов, для управления обменом потоков данных и команд между процессорными платами.

Процессы организации обеспечения ПК высокопроизводительными средствами в реальных условиях не являются очевидными по своей содержательности и априорно понимаемыми, что делает сам процесс создания быстродействующих ПК трудно структурируемым. Другими словами, достаточно сомнительна ориентация на проведение работ по техническому проектированию [1, 2] или созданию систем автоматизации проектирования быстродействующих ПК без проведения соответствующих предварительных научных исследований.

Такие исследования, называемые в структуре НИОКР научно-исследовательскими работами (НИР), не просто ограничивают рамками нормативные документы по двум причинам. Во-первых, многое определяется степенью развития теории вычислительных машин в части выделения типовых задач и наличия соответствующих формальных методов их решения. Во многих случаях такой «формализм» решения относителен и в нём присутствует значительная доля неформальных заключений.

Во-вторых, в прикладных вопросах создания ПК многое обуславливается конкретными технологическими процессами, для которых создаются ПК и в которых остаётся не автоматизированным значительный пласт интеллектуальных усилий.

В совокупности это указывает на *потребность* совместного использования формальных и неформальных подходов при организации НИР, которая с конца прошлого века нашла своё выражение в так называемых автоматизированных системах научных исследований (АСНИ).

В связи с этим, вопросы разработки быстродействующих ПК, по-видимому, надо обуславливать и даже связывать с соответствующими структурами АСНИ. В работе сделана попытка выделения таких признаков АСНИ, которые были бы полезными или необходимыми при последующей промышленной разработке быстродействующих ПК.

### УСЛОВНАЯ МЕТОДИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АСНИ

Автоматизация научных исследований играет важную роль в повышении эффективности науки и позволяет снизить трудоемкость научных исследований, получить точные и полные модели исследуемых объектов и явлений, изучать объекты и явления, исследование которых традиционными методами затруднено или невозможно [3].

Выделяются два «подхода» в представлении АСНИ: условно детерминированный и статистический.

**«Детерминированный» подход.** В нём полагают, что автоматизированная система научных исследований – это программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования детерминированных моделей исследуемых объектов, явлений и процессов [4].

Здесь интересны, например, следующие популярные интегрированные пакеты АСНИ:

- система MathCAD фирмы MathSoft, позволяющая в интерактивном режиме создавать, редактировать и отображать на экране монитора широкий класс функций, решать уравнения, заданные в аналитической или графической форме. Система MathCAD имеет встроенные тригонометрические и гиперболические функции, позволяет оперировать как действительными, так и комплексными числами, использовать различные системы единиц.

Кроме того, встроенный синтаксический анализатор выполняет проверку синтаксической правильности вводимых формул [5];

- пакет STATISTICA – достаточно мощная система по математической статистике, включает очень широкий набор возможностей, в том числе, и таких

сложных, как кластерный анализ, непараметрическая статистика, нелинейная регрессия, корреляционный анализ [5];

- программная среда EPICS предназначена для разработки и запуска распределенных систем управления для научных и экспериментальных установок таких, как ускорители частиц или телескопы. Среда EPICS создана с целью разработки больших систем, которые часто включают в себя большое число объединенных в сеть компьютеров, обеспечения распределенного управления и передачи данных [6];

- свободная объектно-ориентированная система TANGO, предназначенная для управления ускорителями, экспериментальными установками а также различным оборудованием и программным обеспечением. В состав TANGO входят база данных, в которой хранятся все зарегистрированные в системе устройства, среда быстрой разработки приложений, а также большое число вспомогательных инструментов [7].

От других автоматизированных систем (типа САПР) АСНИ отличается характером информации, получаемой на выходе системы, а именно обработанными или обобщенными экспериментальными данными и полученными на основе этих данных математическими моделями исследуемых объектов, явлений или процессов.

Адекватность и точность таких моделей обеспечивается всем комплексом методических, программных и других средств системы. В АСНИ не исключается использование готовых математических моделей для изучения поведения объектов и процессов, а также для уточнения самих этих моделей.

Поэтому традиционно считается, что АСНИ являются системами для получения, корректировки или исследования моделей, используемых затем в других типах автоматизированных систем (АСУ, АСУП, АСУТП) для управления, прогнозирования или проектирования [3].

**Статистический подход.** Этот подход заключается в представлениях об АСНИ как реализации научного эксперимента и связан со статистическими положениями [8, 9, 10].

Структура и процесс управления научным экспериментом и системы автоматизации научных исследований наиболее показательны на языке планирования эксперимента, когда алгоритм управления создается на основании следующих элементов:

а) рабочей гипотезы  $H_0$  о «механизме» функционирования объекта исследований, содержательное выражение которой представляется ожидаемой моделью  $M_{0p}$  в соответствующих понятиях предметной области;

б) ожидаемой модели  $M_{0m}$ , адекватной  $M_{0p}$ , представленной формальными категориями (уравнениями, логическими формами);

в) программы эксперимента  $P_0$ ;

г) алгоритма вычислений  $L_0$  и машинного процесса формирования экспериментальных данных  $D_0$ ;

д) приемов интерпретации  $I_0$  полученных результатов в понятиях моделей  $M_{0p}$  и  $M_{0m}$ .

Структура процесса управления научным экспериментом представлена на рисунке 1.

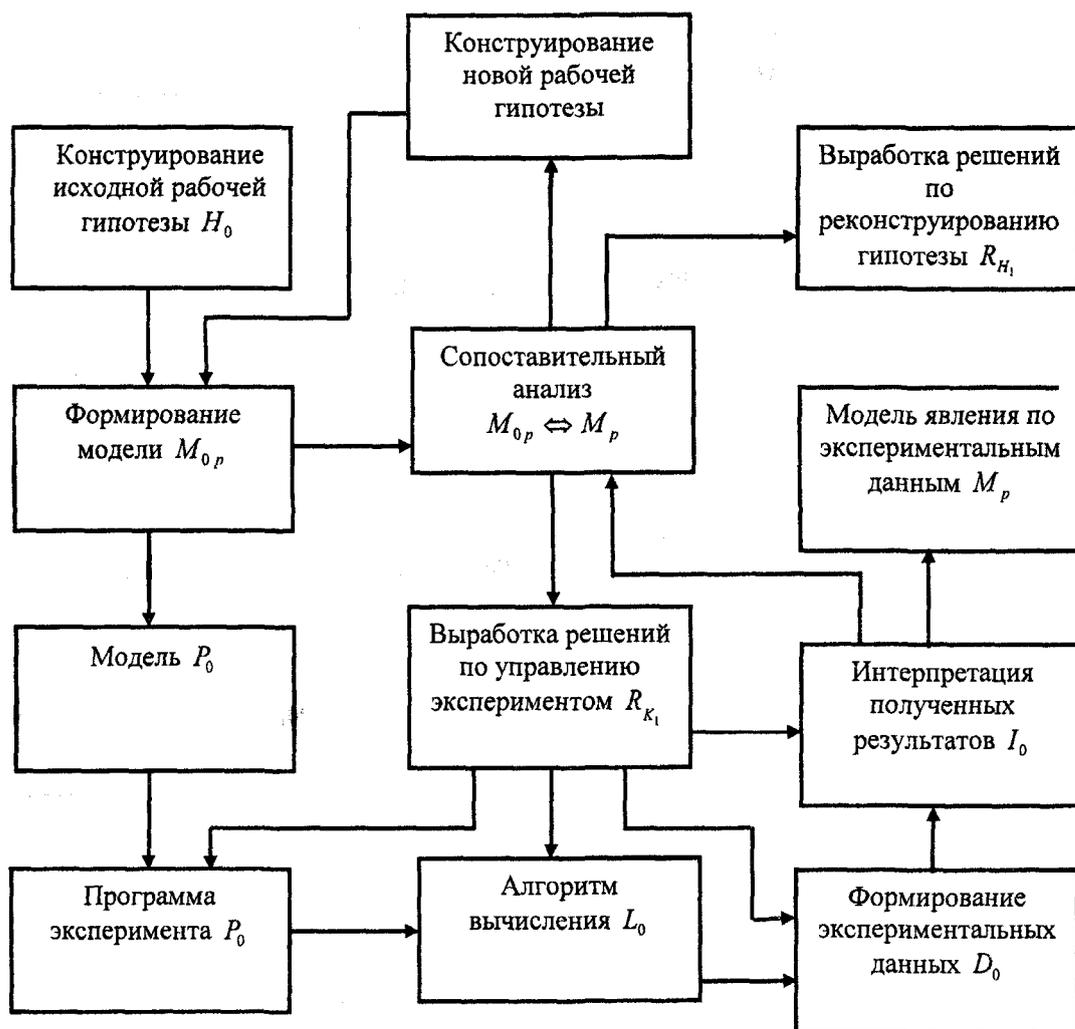


Рисунок 1 – Структура процесса управления научным экспериментом

Исходя из отмеченных общих методических представлениях об АСНИ, можно сформулировать предварительные функции, которыми следует наделить АСНИ быстросействующих ПК:

- 1) наиболее трудоемкими функциями человека при анализе и формировании вычислительных процессов;
- 2) инструментальными средствами проектирования ПК, обладающими функциональной полнотой для моделирования и структуры и скоростных показателей арифметико-логических устройств (АЛУ) процессоров;
- 3) функциями моделирования потоков данных в АЛУ и оценки накопленной погрешности при округлении результатов, позволяющих оценивать структуры АЛУ.

## НОРМАТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АСНИ

Общепризнанно, что границы АСНИ определить трудно, нередко в ее рамках решаются частные задачи, присущие другим разновидностям автоматизированных систем: АСУТП, САПР, ГИС. Но в любом случае, основной задачей АСНИ является получение новых знаний об исследуемом процессе, объекте или явлении.

Несколько обобщая, можно сказать, что в АСНИ реализуются процессы автоматизации, а собственно сама АСНИ и является в некоторой степени системой автоматизации проектирования. Но такого проектирования, которое связано исключительно с созданием моделей, с проектированием знаний, посредством которых будут созданы промышленные системы автоматизации.

В общем, процесс проектирования складывается из двух системных компонент: интеллектуальной и производственной [11]:

а) компонента, обусловленная в основном интеллектуальным обеспечением – уровень подготовки и ресурс знаний, научные и инженерные пристрастия и приверженности тем или иным научным и техническим школам, традиции проектирования;

б) компонента, обусловленная производственно-техническими и социально-экономическими условиями (опыт работы, технологический уровень производства, уровень профессиональной подготовки в конкретной сфере производства и конкретном этапе проектирования, нормативная документация, условия производства, включая инфраструктуру производства, конкретное оборудование, приборы и техническое оснащение).

Исходя из того, что результат проектирования – это в любом случае документация, по которой будет проведено изготовление спроектированного изделия, удовлетворяющего техническим требованиям, надо отметить, что обе системные компоненты естественно влияют на конечный результат проектирования.

Однако интеллектуальная компонента в высокой степени обособлена от производственной тем, что в ней определяются существенно важные, но всё-таки некие обобщенные характеристики *осуществимости* проектируемого изделия (условия и принципы функционирования, живучести, структуры изделия, структуры взаимодействия со средой, условия обеспечения целевого использования).

И своей «обобщенностью» интеллектуальная компонента является устойчивой по отношению к изменяющимся производственным обстоятельствам. В целом, интеллектуальная компонента определяет весь требуемый ряд математических моделей для последующей организации процессов проектирования.

По нашему мнению, именно здесь проходит раздел между АСНИ и САПР. Всё, что связано с *осуществимостью* создаваемого изделия, с проектированием знаний об этом процессе – это АСНИ, а всё, что связано с реализацией в конкретных производственных условиях – это САПР.

Традиционный порядок разработки нового изделия, определенный отраслевыми, государственными или внутривзаводскими нормативами, показывает достаточно высокую степень разнородности работ на всем протяжении процесса проектирования: от выработки технического задания (ТЗ) до проведения приемосдаточных испытаний.

Эта разнородность работ фактически порождена отмеченными системными компонентами. При этом к интеллектуальной компоненте вполне можно отнести этапы вплоть до проведения работ по техническому проекту. Тогда АСНИ будет охватывать процесс проектирования для интеллектуальной, а САПР – для производственной компонент процесса проектирования.

Процесс проектирования – это последовательность мероприятий по созданию изделия от идеи до начала изготовления. Процесс проектирования включает в себя: метод изготовления; материалы и комплектующие изделия; оборудование, реализующее метод изготовления; средства технического и технологического оснащения; приборы для оценки качества изготовления; инженерно-технический персонал для реализации; структуру управления.

Процесс проектирования – это не абстракция, это процесс практического, в том числе, и промышленного осуществления идеи. И в этом аспекте процесс проектирования – это и есть фактически технологический процесс.

В более конкретном представлении процесс проектирования – это все те действия, которые предпринимает разработчик, чтобы подготовить документацию для производства изделия: от идеи до последнего документа, который обеспечивает выпуск изделия. Значит, создать АСНИ – это переложить возможные усилия человека-проектировщика на технические агрегаты и системы по созданию документации от идеи до последнего документа.

Однако процесс проектирования очень разнообразен в действиях человека в зависимости от того, насколько проектировщик приближается к цели – созданию изделия. Это разнообразие зафиксировано в этапах, определенных ГОСТами, поскольку ГОСТы и есть отражение положительного опыта проектирования промышленных изделий.

В стандартах [например, 1, 12] выделяются несколько этапов *специфичной деятельности*: выработка технических требований и формулировка технического задания (ТЗ), формулирование и обоснование технического предложения (ТПр) об осуществимости, разработка эскизного проекта (ЭП), реализация технического проектирования (ТП) и создание макетных образцов, проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) и изготовление опытных образцов, осуществление опытно-технологических разработок (ОТР) и, наконец, создание рабочей конструкторской и технологической документации (РКТД), включая проектирование всего того, что требует технологическая подготовка производства.

В связи с отмеченным, можно утверждать, что АСНИ должна охватывать только этапы формирования требований к автоматизированной системе (АС), разработки концепции АС (ГОСТ 34.601-90), ТЗ (ГОСТ 34.601-90; ГОСТ 34.602-89), ТПр (ГОСТ 34.601-90; ГОСТ 2.118-73) и частично ЭП (ГОСТ 34.601-90; ГОСТ 2.119-73) (Табл. 1).

Кроме этого, можно заметить, что в АСНИ в известной мере уже заложена унификация инструментальных средств в самих общих представлениях о процессах проектирования. Абстрагируя в разумных границах от специфики реального производства и основываясь на общих положениях системного анализа [8, 9], можно говорить о том, что процесс проектирования в АСНИ должен отражать последовательность и содержательность этапов методики системного анализа.

Таблица 1 – Задачи проектирования

№	Наименования этапов проектирования по ГОСТ	Комплекс задач этапа проектирования автоматизированных систем (АС)
1	2	3
1	Формирование требований к АС (ГОСТ 34.601-90)	1) Обследование объекта и обоснование необходимости создания АС; 2) Формирование требований пользователя к АС: 2.1) Характеристика объекта и результатов его функционирования; 2.2) Описание существующей информационной системы; 2.3) Описание недостатков существующей информационной системы; 2.4) Обоснование необходимости совершенствования информационной системы объекта; 2.5) Цели, критерии и ограничения создания АС; 2.6) Функции и задачи создаваемой АС; 2.7) Выводы и предложения.
2	Разработка концепции АС (ГОСТ 34.601-90)	1) Изучение объекта; 2) Проведение научно-исследовательских работ; 3) Разработка вариантов концепции АС и выбор варианта концепции АС, удовлетворяющего требованиям пользователя: 3.1) Описание результатов изучения объекта автоматизации; 3.2) Описание и оценка преимуществ и недостатков разработанных альтернативных вариантов концепции создания АС; 3.3) Сопоставительный анализ требований пользователя к АС и вариантов концепции АС на предмет удовлетворения требованиям пользователя; 3.4) Обоснование выбора оптимального варианта концепции и описание предлагаемой АС; 3.5) Ожидаемые результаты и эффективность реализации выбранного варианта концепции АС; 3.6) Ориентировочный план реализации выбранного варианта концепции АС; 3.7) Необходимые затраты ресурсов на разработку, ввод в действие и обеспечение функционирования; 3.8) Требования, гарантирующие качество АС; 3.9) Условия приемки системы; 4) Оформление отчета о выполненной работе.
3	Техническое задание (ГОСТ 34.601-90; ГОСТ 34.602-89)	1) Назначение и цели создания (развития) системы; 2) Характеристики объекта автоматизации; 3) Требования к системе; 4) Перечень стадий и этапов работ по созданию системы; 5) Виды, состав, объем и методы испытаний системы и ее составных частей; 6) Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие.

Продолжение таблицы 1.

1	2	3
4	Техническое предложение (34.601-90) (2.118-73)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Формирование текстовых документов в соответствии с требованиями технического предложения;</li> <li>2) Создание чертежей общего вида технического предложения в соответствии с требованиями технического предложения;</li> <li>3) Формирование текстовых документов:               <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1) Ведомость технического предложения;</li> <li>3.2) Пояснительная записка;</li> </ol> </li> <li>4) Выявление вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (принципов действия, размещения функциональных составных частей и т.п.), их конструкторская проработка;</li> <li>5) Проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;</li> <li>6) Проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;</li> <li>7) Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов;</li> <li>8) Выбор оптимального варианта (вариантов) изделия, обоснование выбора;</li> <li>9) Требования к изделию (технических характеристик, показателей качества и др.) и к последующей стадии разработки изделия (необходимые работы, варианты возможных решений, которые следует рассмотреть на последующей стадии и др.);</li> <li>10) Подготовка предложений по разработке стандартов (пересмотр или внесение изменений в действующие стандарты), предусмотренных техническим заданием на данной стадии.</li> </ol>
5	Эскизный проект (ГОСТ 34.601-90; ГОСТ 2.119-73)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Создание чертежей общего вида эскизного проектирования в соответствии с требованиями технического предложения;</li> <li>2) Формирование текстовых документов:               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1) Ведомость эскизного проекта;</li> <li>2.2) Пояснительная записка;</li> </ol> </li> <li>3) Выполнение вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (характеристики вариантов составных частей и т.п.), их конструкторская проработка;</li> <li>4) Предварительное решение вопросов упаковки и транспортирования изделия;</li> <li>5) Изготовление и испытания макетов с целью проверки принципов работы изделия и (или) его составных частей;</li> <li>6) Разработка и обоснование технических решений, направленных на обеспечение показателей надежности, установленных техническим заданием и техническим предложением;</li> <li>7) Оценка изделия на технологичность и правильность выбора средств и методов контроля (испытаний, анализа, измерений);</li> <li>8) Оценка изделия по показателям стандартизации и унификации;</li> <li>9) Оценка изделия в отношении его соответствия требованиям эргономики, технической эстетики;</li> <li>10) Проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;</li> <li>11) Проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;</li> </ol>

		<p>12) Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов, вопросы метрологического обеспечения разрабатываемого изделия (возможности выбора методов и средств измерения);</p> <p>13) Выбор оптимального варианта (вариантов) изделия, обоснование выбора; принятие принципиальных решений; подтверждение (или уточнение) предъявляемых к изделию требований (технических характеристик, показателей качества и др.), установленных техническим заданием и техническим предложением, и определение технико-экономических характеристик и показателей, не установленных техническим заданием и техническим предложением;</p> <p>14) Выявление на основе принятых принципиальных решений новых изделий и материалов, которые должны быть разработаны другими предприятиями (организациями), составление технических требований к этим изделиям и материалам;</p> <p>15) Составление перечня работ, которые следует провести на последующей стадии разработки, в дополнение или уточнение работ, предусмотренных техническим заданием и техническим предложением;</p> <p>16) Проработка основных вопросов технологии изготовления (при необходимости);</p> <p>17) Подготовка предложений по разработке стандартов (пересмотр и внесение изменений в действующие стандарты), предусмотренных техническим заданием на данной стадии.</p>
--	--	---

### ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АСНИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПК

Исходя из вышеизложенных методических и нормативных представлений, общую содержательность требований к АСНИ быстродействующих ПК можно сформулировать в следующем виде:

1. Разработка унифицированной структуры АЛУ, поскольку, как показывает практика известных систем моделирования, без унификации невозможно эффективное построение структур процессора. Здесь очевидна необходимость решения, по крайней мере, двух задач:

- разработки унифицированной структуры представления временной функции алгебры логики (ФАЛ) в дизъюнктивном (когда количество единиц в таблице истинности меньше половины  $2^N/2$ ) и конъюнктивном (когда количество единиц в таблице истинности больше половины) видах;

- разработки метода вычислений для обеспечения проведения вычислительных операций за один такт задающего генератора и с возможностью выполнения одновременно всех элементарных операций.

2. Разработка программных *инструментальных* средств: задания режима фиксированной точкой; задания режима с плавающей точкой; задания знаков у операндов; задания разрядов разрядной сетки АЛУ; задания операций; задания разрядов выходной шины АЛУ; формирования структуры АЛУ; формирования структуры вычислительных блоков каждой элементарной операции; формирования автоматных таблиц; формирования аналитического описания логических функций (каждого разряда элементарной вычислительной операции; формирования комбинационных структур; пошаговой трассировки процесса отработки вычислительной операции; задания законов распределения потоков входных данных; вычисления погрешности для указанного количества тактов задающего генератора; планирования эксперимента.

Исходя из этих «контуров» содержания требований, можно наметить в программной системе и некоторые компоненты (рис. 2):

- головной сегмент организации диалогового режима исследования;
- модуль «Построение общей структуры АЛУ»;
- модуль «Построение автоматных таблиц вычислительных операций»;
- модуль «Моделирование блоков реализующих операции»;
- модуль «Построение совершенных нормальных форм»;
- модуль «Моделирование структуры на основе совершенных нормальных форм»;
- модуль «Моделирование работы АЛУ по микрооперациям»;
- модуль «Моделирование работы АЛУ с расчетом погрешности».

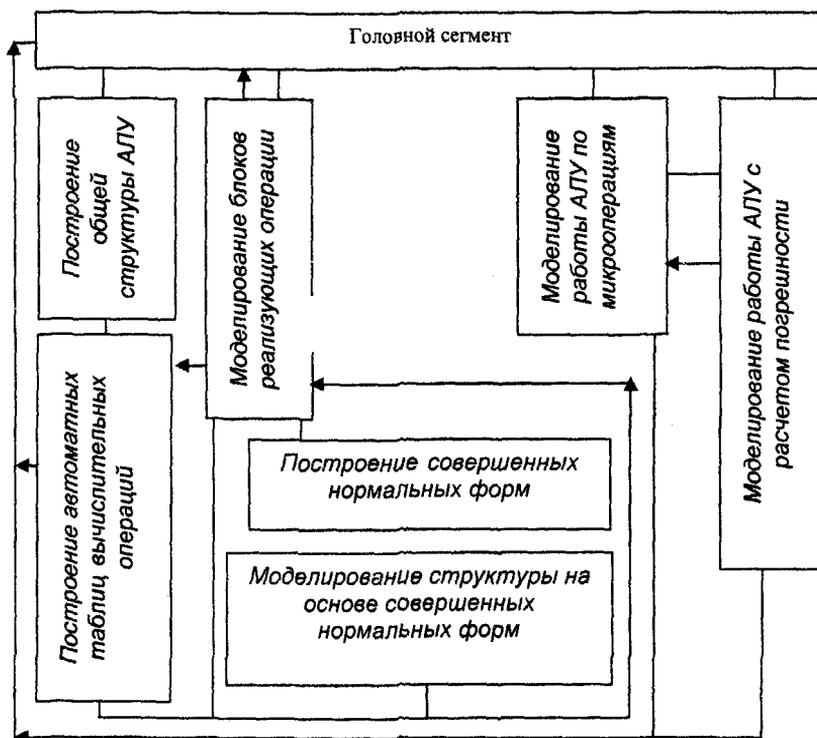


Рисунок 2 – Общее представление об организации АСНИ быстродействующих ПК

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для разработки автоматизированной системы исследования моделей промышленных контроллеров как реализации структур процессов управления научными экспериментами необходимо:

- 1) разработать требуемые логические формы как ожидаемые модели для представления операций;
- 2) создать программную структуру системы моделирования как реализацию соответствующих алгоритмов вычислений по структуре рисунка 2;
- 3) реализовать процесс моделирования как программу эксперимента для проверки на соответствие сформулированным требованиям.

При этом существование системы моделирования традиционно должно охватывать решение задач трех разделов:

- 1) создания программных инструментальных средств построения логических моделей цифровых устройств и средств экспериментирования с этими моделями;

2) создания программных инструментальных средств для трансформирования моделей под определенные условия применения или предметные приложения (моделирование перехода на другие функционально-полные системы или другие элементные базы);

3) создания программных инструментальных средств формирования структур цифровых устройств на конкретных элементных базах и последующего моделирования электронных схем.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 34.201-89 Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем // Информационная технология, комплекс стандартов на автоматизированные системы.
2. ГОСТ 2.120-73 Технический проект // Комплекс стандартов на автоматизированные системы.
3. АСНИ [Электронный ресурс]. – URL: [http://pmi.ulstu.ru/new\\_project/new/1.html](http://pmi.ulstu.ru/new_project/new/1.html).
4. АСНИ [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
5. Применение ЭВМ в научных исследованиях [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.zcub.ru/blog/org\\_comp\\_system/primenenie-evm-v-nauchnyh-issledovaniyah.php](http://www.zcub.ru/blog/org_comp_system/primenenie-evm-v-nauchnyh-issledovaniyah.php).
6. EPICS – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/EPICS>.
7. TANGO – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/TANGO>.
8. Жук К.Д. Система управления научным экспериментом / Энциклопедия кибернетики. – К.: Гл. ред. УСЭ, 1975. – Том 2. – С. 344-347.
9. Методические указания. Автоматизированные системы. Общие положения. РД 50-680-88 (Утв. постановлением ГОССТАНДАРТА СССР от 28.12.1988 № 4622 взамен ГОСТ 24.103-84, ГОСТ 23501.101-87 (в части принципов создания, разд. 2).
10. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента; пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 406 с.
11. Андифорова Е.С., Раков В.И. О необходимости создания унифицированных инструментальных средств для автоматизации проектирования технологической автоматик // Информационные технологии в науке, образовании и производстве ИТНОП – 2010: материалы IV-й Международной научно-технической конференции, г. Орел, 22-23 апреля 2010 г. – В 5-ти т. – Т. 3; под общ. ред. д-ра техн. наук проф. И.С. Константинова. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – С. 270-282.
12. ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы. Стадии создания / Комплекс стандартов на автоматизированные системы.

#### **Раков Владимир Иванович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»  
Тел.: (4862) 76-19-10 (кафедра); 8-906-660-44-94 (моб.)  
E-mail: [rakov2010vi@mail.ru](mailto:rakov2010vi@mail.ru)

#### **Захарова Ольга Владимировна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Учебно-научно-исследовательский институт информационных технологий  
Аспирантка кафедры «Информационные системы»  
Тел.: + 7(4862) 76-19-10  
E-mail: [cvaig@mail.ru](mailto:cvaig@mail.ru)

З.С. ХИЛОВ

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ ВОКРУГ ТОКОПРОВОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАТЧИКА ТОКА С ЭЛЕМЕНТАМИ ХОЛЛА

*Предлагается методика определения напряженности магнитного поля в пространстве вокруг шинпровода с током и быстрого расчета величины тока при использовании датчиков тока с элементами Холла.*

*Ключевые слова:* магнитное поле; проводник тока; датчик тока; элемент Холла.

*Is suggested the methodology of determining of the tension of magnetic field in space round busduct with current and the quick calculation of the current value in using of current sensor with the elements of Hall.*

*Keywords:* magnetic field; current conductor; current sensor; Hall elements.

### ВВЕДЕНИЕ

Основным измерительным преобразователем, применяемым для получения токового сигнала в силовых цепях, является индукционный трансформатор тока, имеющий ряд недостатков. Эти недостатки оказывают существенное влияние как на надежность работы систем управления, так и на безопасность условий труда обслуживающего персонала. В настоящее время находят применение более совершенные измерительные преобразователи, в которых применяется датчик тока с элементами Холла [1].

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определим количественно зависимость между величиной тока в проводнике и создаваемой напряженностью магнитного поля на некотором расстоянии от проводника.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рекомендации по применению датчиков Холла в качестве первичных преобразователей энергии содержатся в [1]. Однако при установке датчиков Холла возникает необходимость определения зависимости между величиной измеряемого тока и напряженностью магнитного поля, создаваемой на определенном расстоянии от проводника с током. Эта зависимость позволяет устанавливать необходимое расстояние от проводника с током до датчика с целью повышения электробезопасности и удобства монтажа. Величиной, характеризующей интенсивность магнитного потока, является индукция, следовательно, необходимо найти зависимость  $B = f(I)$ . Учитываем, что при достижении поставленной цели могут быть применены не только датчики тока с элементами Холла, но и другие первичные преобразователи [2].

Сравнивая индукционные трансформаторы тока и датчики тока с элементами Холла, следует отметить следующие особенности индукционных трансформаторов:

- необходимость создания разрыва в измеряемой цепи для подключения;
- трансформатор тока работает в режиме, близком к режиму короткого замыкания, поэтому режим холостого хода для него является аварийным [2]. Возникает опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала, пробоя изоляции на стороне низкого напряжения и выхода из строя трансформатора;

– трансформаторы тока используются в измерительных цепях и цепях управления и автоматики, поэтому необходимо, чтобы они соответствовали своим классам точности. В связи с этим для трансформаторов тока существует диапазон нагрузок, при которых величина измеряемого тока позволяет оставаться в заданном классе точности. Выход за пределы этого диапазона приводит к нарушению работы систем управления и релейной защиты [3];

– в процессе эксплуатации происходит старение изоляции, что приводит к необходимости постоянного контроля ее состояния. В противном случае высока вероятность выхода из строя трансформатора тока, подключенного к вторичной обмотке оборудования, поражения электрическим током обслуживающего персонала.

Однако датчики тока на элементах Холла также имеют свои особенности [2]:

– чувствительность к напряжению неэквипотенциальности (обусловленного неточным расположением элементов Холла относительно линии равного потенциала) – устраняется схемотехнически;

– температурная нестабильность удельной чувствительности – для современных преобразователей может не учитываться, так как в диапазоне температур  $-60...+60$  °С температурный коэффициент составляет  $0,02...0,03\%$  / град.

Для получения токового сигнала могут использоваться оптоэлектронные делители, у которых отсутствует гальваническая связь первичных и вторичных цепей. Но их существенным недостатком является нелинейность характеристик и зависимость параметров от температуры, в результате чего погрешность может достигать  $5...8\%$  [2]. Такие преобразователи могут применяться в слаботочных цепях.

Возможно применение квантовых измерительных преобразователей, позволяющие измерение тока в диапазоне  $2...100$  кА, с погрешностью, не превышающей  $0,05\%$ . К их преимуществам следует отнести помехоустойчивость в широком частотном диапазоне. Следует, однако, отметить такие их недостатки, как сложность конструкции, изготовления и сборки, расчета параметров. То есть такие преобразователи целесообразны при измерении токов от десятков до сотен килоампер.

Принимая во внимание все вышесказанное, очевидно, что в токовом диапазоне  $10...1000$  А, в котором на сегодняшний день преобладают индукционные трансформаторы тока, рационально использовать датчики тока с элементами Холла.

Элемент Холла [1] представляет собой полупроводниковое устройство (четыреполюсник), обладающее следующим свойством: если через одну пару полюсов пропустить постоянный ток  $I$ , а сам элемент поместить в магнитное поле с индукцией  $B$ , то на второй паре полюсов появится напряжение (э.д.с. Холла)  $U_{\text{вых}} = kIB$ . Линейность характеристики элемента Холла сохраняется при изменении индукции от 0 до  $0,7$  Тл, наибольшее напряжение на выходе элемента Холла составляет  $50...200$  мВ. Кроме того, трансформаторы тока обладают определенной индуктивностью, которая при больших скоростях изменения тока вносит заметную погрешность. Достоинства датчиков тока с использованием элементов Холла заключаются в возможности измерения тока без разрыва измеряемой цепи при отсутствии гальванической связи с ней, в возможности измерения больших токов, в том числе в установках с высоким напряжением. Датчик тока (рис. 1) представляет собой охватывающий шину 1 витой разрезной магнитопровод из холоднокатаной стали с двумя воздушными зазорами, в которых помещаются гетинаксовые прокладки. Изменяя толщину прокладок, можно изменить силу тока, при которой достигается максимальная индукция ( $0,7...1$  Тл), тем самым, перестроив датчик на

другую номинальную величину тока. В прокладках делают углубления, в которых размещаются элементы Холла 2. Показанный на рисунке 1 датчик предназначен для токов от 1,6 до 6,3 кА, при этом зазор должен изменяться от 2 до 6 мм. При необходимости измерения больших токов используют сердечник больших размеров или делят токопровод на несколько шин, а размещаемые на них датчики тока включают параллельно.

В верхней части датчика установлена печатная плата, на которой смонтированы элементы по схеме рисунка 1.

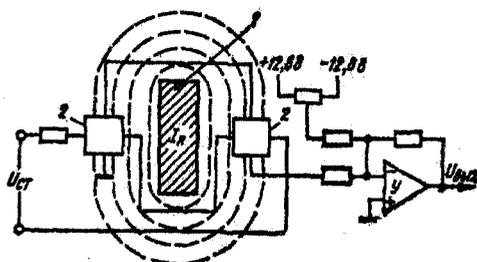


Рисунок 1 – Датчик тока с элементами Холла

Для защиты от магнитных полей плата помещена в стальной корпус. Отметим, что в том случае, когда датчик тока размещен в непосредственной близости от шкафа регулирования, эту плату можно устанавливать в шкафу. Для того чтобы уменьшить наводки, датчик тока имеет собственное питание усилителей (+12,6 В) от стабилизаторов в интегральном исполнении. Оба элемента Холла соединены последовательно, и их выходное напряжение подается на вход операционного усилителя в интегральном исполнении. С помощью потенциометра устанавливают нуль усилителя, чем компенсируется остаточное напряжение элемента Холла. Недостаток такого датчика – необходимость в специальном стабилизированном источнике тока, питающем вход элемента. При применении нескольких датчиков для питания их входов может быть применен общий источник.

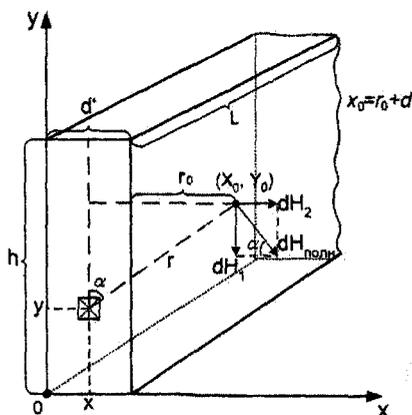


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения напряженности магнитного поля

Следует отметить, что для обеспечения высокой точности измерений должно быть выдержано определенное расстояние от датчика тока до обратной шины. Например, по силе тока 5 кА и допустимой погрешности 0,5% это расстояние должно быть не менее 400 мм.

Так как датчик Холла размещается на некотором расстоянии  $r_0$  от проводника с током (шинопровод прямоугольного сечения), то необходимо знать зависимость

напряженности магнитного поля на произвольном расстоянии от этого проводника. Будем рассматривать прямоугольную шину, поперечное сечение которой имеет размеры  $d$  и  $h$ , а третий размер  $L$ , что позволяет рассматривать такой проводник как совокупность бесконечных прямых токов. В системе координат, изображенной на рисунке 2, выделим элементарный прямой ток с сечением  $dxdy$  и определим, пользуясь законом полного тока, напряженность магнитного поля, создаваемого этим элементом в точке с координатами  $x_0, y_0$ . Величина элементарного тока  $di = \frac{idxdy}{hd}$ , следовательно

$$dH_{\text{полн}} = \frac{x_0 - x}{r} = \frac{idxdy}{2\pi rhd},$$

а составляющие  $dH_1$  и  $dH_2$  определяются формулами (1) и (2)

$$dH_1 = dH_{\text{полн}} \sin \alpha = dH_{\text{полн}} \frac{x_0 - x}{r} = \frac{i(x_0 - x)dxdy}{2\pi rhd r^2}; \quad (1)$$

$$dH_2 = dH_{\text{полн}} \cos \alpha = dH_{\text{полн}} \frac{y_0 - y}{r} = \frac{i(y_0 - y)dxdy}{2\pi rhd r^2}; \quad (2)$$

Напряженности  $H_1$  и  $H_2$ , создаваемые шинопроводом, получим интегрированием выражений (1) и (2), соответственно по области  $D$  – поперечному сечению проводника

$$\begin{aligned} H_1 &= \iint_D \frac{i(x_0 - x)dxdy}{2\pi r \cdot h \cdot d \cdot r^2} = \frac{i}{2\pi hd} \iint_D \frac{i(x_0 - x)dxdy}{r^2} = \frac{i}{2\pi hd} \int_0^h dy \int_0^d \frac{x_0 - x}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} dx = \\ &= -\frac{i}{4\pi hd} \int_0^h dy \cdot \ln \left[ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right]_0^d = -\frac{i}{4\pi hd} \int_0^h \left\{ \ln \left[ (d - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right] - \ln \left[ x_0^2 + (y - y_0)^2 \right] \right\} dy. \end{aligned}$$

Последний интеграл может быть вычислен по частям:

$$\ln|a^2 + t^2| dt = t \ln|a^2 + t^2| - 2t + 2a \cdot \text{arctg}(t). \quad (3)$$

В результате применения формулы (3) получим:

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{i}{4\pi hd} \cdot \left[ 2x_0 \left( \text{arctg} \frac{h - y_0}{x_0} + \text{arctg} \frac{y_0}{x_0} \right) - 2(d - x_0) \cdot \left( \text{arctg} \frac{h - y_0}{d - x_0} + \text{arctg} \frac{y_0}{d - x_0} \right) - \right. \\ &\left. - y_0 \cdot \ln \frac{(d - x_0)^2 + y_0^2}{x_0^2 + y_0^2} - (h - y_0) \cdot \ln \frac{(d - x_0)^2 + (h - y_0)^2}{x_0^2 + (h - y_0)^2} \right]. \end{aligned}$$

Аналогично:

$$\begin{aligned} H_2 &= \int_D \frac{i(y_0 - y)dxdy}{2\pi hdr^2} = -\frac{i}{2\pi hd} \int_0^d dx \int_0^h \frac{(y - y_0)dy}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} = \\ &= -\frac{i}{4\pi hd} \int_0^d \left[ \ln \left( (x - x_0^2) + (h - y_0)^2 \right) - \ln \left( (x - x_0^2) + y_0^2 \right) \right] dx = \end{aligned}$$

$$= \frac{i}{4\pi h d} \left[ 2y_0 \left( \operatorname{arctg} \frac{d-x_0}{y_0} + \operatorname{arctg} \frac{x_0}{y_0} \right) - 2(h-y_0) \cdot \left( \operatorname{arctg} \frac{d-x_0}{h-y_0} + \operatorname{arctg} \frac{x_0}{h-y_0} \right) - x_0 \ln \frac{x_0^2 + (h-y_0)^2}{x_0^2 + y_0^2} - (d-x_0) \ln \frac{(d-x_0)^2 + (h-y_0)^2}{(d-x_0)^2 + y_0^2} \right].$$

Переходя к индукции и вводя более удобный параметр  $r_0 = x_0 - d$ , окончательно получаем:

$$B_1 = \mu_0 \frac{i}{4\pi d h} \left[ 2(r_0 + d) \cdot \left( \operatorname{arctg} \frac{h-y_0}{r_0+d} + \operatorname{arctg} \frac{y_0}{r_0+d} \right) - 2r_0 \cdot \left( \operatorname{arctg} \frac{h-y_0}{r_0} + \operatorname{arctg} \frac{y_0}{r_0} \right) - y_0 \cdot \ln \frac{r_0^2 + y_0^2}{(r_0+d)^2 + y_0^2} - (h-y_0) \cdot \ln \frac{r_0^2 + (h-y_0)^2}{(r_0+d)^2 + (h-y_0)^2} \right]; \quad (4)$$

$$B_2 = \mu_0 \frac{i}{4\pi d h} \left[ 2y_0 \cdot \left( \operatorname{arctg} \frac{r_0+d}{y_0} - \operatorname{arctg} \frac{r_0}{y_0} \right) - 2(h-y_0) \cdot \left( \operatorname{arctg} \frac{r_0+d}{h-y_0} - \operatorname{arctg} \frac{r_0}{h-y_0} \right) - (r_0+d) \cdot \ln \frac{(r_0+d)^2 + (h-y_0)^2}{(r_0+d)^2 + y_0^2} + r_0 \ln \frac{r_0^2 + (h-y_0)^2}{r_0^2 + y_0^2} \right]. \quad (5)$$

Тогда величина полной индукции поля в точке с координатами  $(x_0, y_0)$ :

$$B_{\text{полн}} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}.$$

Очевидно, что если измерение производится в точке с ординатой  $y_0 = h/2$ , то

$$B_1 = \mu_0 \frac{i}{4\pi d h} \left[ 4(r_0 + d) \cdot \operatorname{arctg} \frac{h}{2(r_0 + d)} - 4r_0 \cdot \operatorname{arctg} \frac{h}{2r_0} - h \cdot \ln \frac{4r_0^2 + h^2}{4(r_0 + d)^2 + h^2} \right], \quad B_2 = 0$$

$$\text{и } B_{\text{полн}} = B_1.$$

Благодаря наличию данной зависимости становится возможным определение величины тока в проводнике на заданном расстоянии от датчика Холла. Может быть решена обратная задача – по известной величине тока и расстоянию от проводника может быть определена индукция.

В частности, по данным, предоставленным Ингулецким ГОКом, по выражениям (4), (5) был произведен расчет, результаты которого приведены ниже. Исходные данные:  $d = 5$  мм,  $h = 35$  мм,  $r_0 = 2$  мм,  $i = 1,4$  кА. В результате расчета индукция составила  $B = 116$  Гс или  $B = 0,0116$  Тл. При решении обратной задачи, приняв индукцию равной  $B = 135$  Гс, при тех же исходных данных величина тока получена равной  $i = 1,63$  кА. Для этих исходных данных качественная картина напряженности магнитного поля вокруг шины с током, приведенная на рисунке 3.

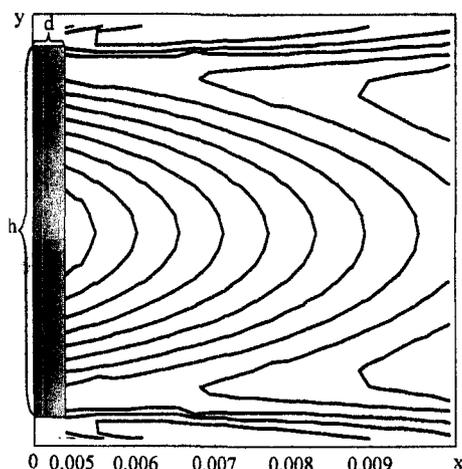


Рисунок 3 – Распределение напряженности магнитного поля вокруг шины с током

### ВЫВОДЫ

Из сравнительного анализа характеристик индукционных трансформаторов тока и датчиков Холла очевидно, что последние имеют ряд преимуществ в заданном токовом диапазоне. Приводимые заводами-изготовителями характеристики получены для определенного расстояния от проводника до датчика, которое не всегда приемлемо в условиях производства. Однако, благодаря зависимостям (4) и (5), получена возможность быстрого расчета величины тока в проводнике по показаниям датчика, расположенного на произвольном расстоянии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тиристорные электроприводы прокатных станов / В.М. Перельмутер, Ю.Н. Брауде, Д.Я. Перчик, В.М. Книгин. – М.: Металлургия, 1978. – 152 с.
2. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – К.: Выща школа, Головное изд-во, 1981. – 296 с.
3. Шестеренко В.С. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 626 с.

**Хилов Виктор Сергеевич**

Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии  
и информационно-измерительных технологий

Тел.: (056) 373-07-46

E-mail: khilov53@ukr.net

УДК 658.012.011.56

А.Г. ХАЙДАРОВ, В.А. ХОЛОДНОВ,  
Е.С. БОРОВИНСКАЯ, В.П. РЕШЕТИЛОВСКИЙ

## ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА

*При исследовании химических реакций необходимо получить оценки влияния изменения значения констант скоростей реакций на результаты их протекания. При рассмотрении достаточно сложных реакций получение этих оценок становится затруднительным. Приведенный ниже оригинальный интервальный метод позволяет проводить оценивание чувствительности к изменениям различных констант в различные моменты времени. Метод оценки чувствительности иллюстрируется на примере реакции окисления метана. Все результаты получены с использованием пакетов программ Wolfram Mathematica.*

**Ключевые слова:** интервальная математика; чувствительность, система уравнений химической кинетики: окисление метана.

*Exploring mechanism of chemical reactions, there is a need to assess the possible impact of changes in the values of the chemical reactions rate constant proceeding on the course and results of the reaction. When considering the rather complex reaction to obtain these estimates is difficult. As a result, there is the problem of developing criteria for "sensitivity" as applied to complex chemical reactions and universal method for their calculation. Below the original interval method allows the estimation of sensitivity to changes in different constants at different points in time. The method of estimating the sensitivity is illustrated by the oxidation of methane [2]. All results were obtained using a computer program Wolfram Mathematica.*

**Keywords:** interval mathematics; sensitivity; system of chemical kinetic equations; oxidation of methane.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Систему уравнений химической кинетики можно представить в следующем виде:

$$\frac{dc_j}{dt} = f_j(k_1, k_2, \dots, k_m; c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

с заданными начальными условиями  $c_{j,0} = c_j^0$ ,

где  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – концентрации исходных веществ в некоторых степенях;

$k_i$  – константы скоростей отдельных стадий реакции,  $i = 1(1)m$ .

Решением этой системы дифференциальных уравнений для заданных начальных условий является набор концентраций  $c_j$  от времени, которые зависят от параметров – констант скоростей  $k_i$ . Задача состоит в том, чтобы определить чувствительность концентраций к изменению констант скоростей реакции.

### РЕАКЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА

Рассмотрим чувствительность констант  $k_i$  для набора элементарных реакций газофазного окисления метана[2], представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Химические реакции и значения кинетических параметров для отдельных стадий окисления метана (для температуры T=1000 K).

i	Реакция	$k_i, \text{м}^3/(\text{кмоль}\cdot\text{с})$
1	$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO}_2$	$0,166 \cdot 10^{-2}$
2	$\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OO}$	$0,122 \cdot 10^7$
3	$\text{CH}_3\text{OO} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{OH}$	$0,425 \cdot 10^9 *$
4	$\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3$	$0,169 \cdot 10^8$
5	$\text{CH}_2\text{O} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HCO}$	$0,512 \cdot 10^9$
6	$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCO} + \text{HO}_2$	$0,123 \cdot 10^3$
7	$\text{HCO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{HO}_2$	$0,122 \cdot 10^7$
8	$\text{CH}_4 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{CH}_3$	$0,588 \cdot 10^5$
9	$\text{CH}_2\text{O} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCO}$	$0,169 \cdot 10^8$
10	$\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$	$0,359 \cdot 10^{10}$
11	$\text{CH}_4 + \text{H} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2$	$0,643 \cdot 10^{11}$
12	$\text{CH}_2\text{O} + \text{H} \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2$	$0,563 \cdot 10^8$

\*В таблице 1 одна из констант –  $[k_3]$  – имеет размерность  $1/\text{с}$ .

Систему кинетических уравнений для реакции окисления метана можно записать в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_1' = -c_1(k_1c_2 + k_4c_7 + k_8c_4 + k_{11}c_{14}) \\ c_2' = -c_2(k_1c_1 + k_2c_3 + k_6c_6 + k_7c_9) \\ c_3' = -k_2c_2c_3 + c_1(k_1c_2 + k_4c_7 + k_{11}c_{14} + k_8c_4) \\ c_4' = -c_4(k_8c_1 + k_9c_6) + c_2(k_1c_1 + k_6c_6 + k_7c_9) \\ c_5' = -k_3c_5 + k_2c_2c_3 \\ c_6' = -c_6(k_5c_7 + k_6c_2 + k_9c_4 + k_{12}c_{14}) + k_3c_5 \\ c_7' = -c_7(k_4c_1 + k_5c_6 + k_{10}c_{10}) + k_3c_5 \\ c_8' = c_7(k_4c_1 + k_5c_6) \\ c_9' = -k_7c_2c_9 + c_6(k_5c_7 + k_6c_2 + k_9c_4 + k_{12}c_{14}) \\ c_{10}' = -k_{10}c_7c_{10} + k_7c_2c_9 \\ c_{11}' = c_4(k_8c_1 + k_9c_6) \\ c_{12}' = c_{14}(k_{11}c_1 + k_{12}c_6) \\ c_{13}' = k_{10}c_7c_{10} \\ c_{14}' = -k_{11}c_1c_{14} - k_{12}c_6c_{14} + k_{10}c_7c_{10} \end{array} \right.$$

где  $c_j' = \frac{dc_j}{dt}$  ( $j = 1, 2, \dots, 14$ ).

Решение этих уравнений производится при известных начальных условиях:

$$c_1(0) = 0,29; c_2(0) = 0,71; c_p = 0 \quad (p = 3, 4, \dots, 14).$$

### ИНТЕРВАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Для оценки чувствительности концентрации веществ к изменению констант скоростей реакций предлагается использовать инструмент интервальных вычислений при решении представленной выше системы дифференциальных уравнений.

Решение системы дифференциальных уравнений производится для констант скоростей реакции, которые представляют собой интервальные оценки с разбросом относительно среднего значения в 7% (таблица 2):

Таблица 2 – Интервальные значения констант скоростей реакции

Номер константы	Верхняя и нижняя граница интервала
1	$\{1,05 \cdot 10^{-3}, 1,21 \cdot 10^{-3}\}$
2	$\{1,13 \cdot 10^0, 1,31 \cdot 10^0\}$
3	$\{3,92 \cdot 10^8, 4,51 \cdot 10^8\}$
4	$\{1,57 \cdot 10^7, 1,80 \cdot 10^7\}$
5	$\{4,75 \cdot 10^8, 5,46 \cdot 10^8\}$
6	$\{1,13 \cdot 10^4, 1,30 \cdot 10^4\}$
7	$\{1,13 \cdot 10^6, 1,31 \cdot 10^6\}$
8	$\{5,42 \cdot 10^4, 6,24 \cdot 10^4\}$
9	$\{1,57 \cdot 10^7, 1,80 \cdot 10^7\}$
10	$\{3,34 \cdot 10^7, 3,84 \cdot 10^7\}$
11	$\{6,04 \cdot 10^5, 6,94 \cdot 10^5\}$
12	$\{5,24 \cdot 10^7, 6,03 \cdot 10^7\}$

В результате решения системы дифференциальных уравнений получаются функции, которые характеризуются не одним значением концентрации в каждый момент времени, а интервалом. Этот интервал определяет в соответствии с предложенным нами алгоритмом нижнюю и верхнюю границу значений концентрации.

Ширина полученных интервалов концентраций может быть использована для оценки степени влияния констант скоростей реакции на соответствующую концентрацию. Чем шире рассчитанный интервал, тем большее влияние оказывает константа на эту концентрацию. Чем уже интервал, тем меньшее влияние оказывает данная константа.

К сожалению, в этом случае затруднительно определить положительное или отрицательное изменение значения оказывает данная константа на концентрацию вещества. Определяется только степень влияния. В этом состоит недостаток этого метода.

В качестве критерия оценки влияния константы скорости реакции  $k_i$  (критерия чувствительности) на концентрацию  $c_j$  предлагается вычислить интеграл:

$$s_{i,j} = \int_0^1 |c_{i,j}(t) - \underline{c}_{i,j}(t)| dt,$$

где  $\overline{c}_{i,j}(t)$ ,  $\underline{c}_{i,j}(t)$  - верхняя и нижняя границы оценки концентрации  $c_j$ , рассчитанной при изменении  $k_i$ .

Результаты вычисления приведены в таблице 3 в процентном отношении. Численные значения, приведенные в таблице 3, являются мерой чувствительности каждой концентрации по отношению к конкретной константе. Чем выше процентное значение, тем большее изменение концентрации происходит при изменении значения константы.

Можно заметить, что значения чувствительности для  $[\text{CH}_3]$ ,  $[\text{HO}_2]$ ,  $[\text{CH}_3\text{OO}]$ ,  $[\text{CH}_2\text{O}]$ ,  $[\text{OH}]$ ,  $[\text{HCO}]$  и  $[\text{H}]$  имеют значения близкие к нулевым. Также наблюдается, что значения таблицы существенно меняются для  $k_4$ ,  $k_9$  и  $k_{10}$ .

Таблица 3 – Степень влияния констант  $k_1$ – $k_{12}$  на значение концентраций  $C_1$ – $C_{14}$  в процентном отношении

$k_i$ %	Вещество	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$	$k_{10}$	$k_{11}$	$k_{12}$
$c_1$	$\text{CH}_4$	13,7	13,3	13,6	8,9	12,7	13,4	12,3	13,9	10,9	0,5	13,9	13,8
$c_2$	$\text{O}_2$	56,6	57,1	56,5	36,4	52,5	57,9	55,6	56,4	59,1	2,2	56,6	56,9
$c_3$	$\text{CH}_3$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$c_4$	$\text{HO}_2$	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	8,1	0,0	0,1	0,0
$c_5$	$\text{CH}_3\text{OO}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$c_6$	$\text{CH}_2\text{O}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$c_7$	$\text{OH}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$c_8$	$\text{H}_2\text{O}$	4,9	4,6	4,9	16,4	2,9	2,4	2,5	2,7	6,2	26,4	1,7	2,1
$c_9$	$\text{HCO}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$c_{10}$	$\text{CO}$	5,0	4,6	5,0	16,5	2,8	2,4	4,2	2,7	5,9	26,4	1,6	2,1
$c_{11}$	$\text{H}_2\text{O}_2$	13,3	13,2	13,4	8,5	12,3	12,3	13,8	14,1	5,3	0,5	12,4	14,7
$c_{12}$	$\text{H}_2$	3,2	3,5	3,3	6,7	8,3	5,4	5,4	4,9	2,2	21,9	7,1	4,6
$c_{13}$	$\text{CO}_2$	3,3	3,6	3,4	6,7	8,5	5,8	5,6	5,2	2,2	22,0	6,4	5,6
$c_{14}$	$\text{H}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1

## ВЫВОДЫ

Таким образом, предлагаемый нами интервальный метод оценки чувствительности может быть использован для различных процессов химической технологии для оценки результатов протекания химической реакции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добронев Б.С. Интервальная математика. – Красноярск: Издательство КГУ, 2004. – 384 с.
2. Полак Л.С. Применение вычислительной математики в химической и физической кинетике. – М.: Наука, 1969. – 282 с.

3. Moore R.E., Kearfott R.B., Cloud M.J. Introduction to interval analysis. – Philadelphia: SIAM, 2009. – 190 с.

**Хайдаров Андрей Геннадьевич**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Аспирант кафедры «Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»  
Тел.: (812)494-92-54  
E-mail: AndreyHaydarov@gmail.com

**Холоднов Владислав Алексеевич**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»  
Тел.: (812)494-92-54  
E-mail: Holodnow@yandex.ru

**Боровинская Екатерина Сергеевна**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
г. Санкт-Петербург  
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»

**Решетиловский Владимир Петрович**

Институт технической химии, Германия ТУ Дрезден  
Доктор химических наук, профессор, директор института технической химии

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

УДК 004 023

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, В.И. ЛОМАЗОВА, В.А. ЛОМАЗОВ

### СЕЛЕКЦИЯ АДДИТИВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*Рассмотрено модельное представление сложных систем с учетом взаимодействия входящих в их состав подсистем. Предложена методика моделирования, предусматривающая построение класса математических моделей, различающихся степенью учета взаимного влияния подсистем, и последующую генетическую селекцию наиболее удобных для дальнейшего использования представителей класса.*

**Ключевые слова:** сложная система; математическая модель; генетический алгоритм; селекция.

*Model representation of complex systems with the account of subsystem interaction is considered. Modeling methodic is suggested. It involves construction and study of a class of mathematical models, distinguished by the degree of subsystem relations, and genetic selection of models, most convenient for further exploitation.*

**Keywords:** complex system; mathematical model; genetic algorithm; selection.

Одним из основных признаков сложных систем является наличие в их составе относительно независимых подсистем, обладающих своими целями, а также своими наборами элементов и связей [1,2]. При этом взаимодействие подсистем во многом определяет функционирование всей системы. Типичным примером сложной системы является научно-образовательный объект – высшее учебное заведение, состоящее из нескольких отдельных институтов, научных лабораторий и научно-производственных подразделений и т.д. Закон функционирования (функциональная модель)  $Z$  системы  $S$  представляет собой набор соотношений, описывающих изменение состояния системы (набор  $I$  значений свойств  $z_{ij}$  всех  $J$  элементов  $e_j$  системы;  $j=1,2,\dots,J$ ;  $i=1,2,\dots,I$ ) с течением времени  $t$ :

$$Z = Z(t). \quad (1)$$

Однако при функциональном описании сложной системы естественно выделить законы функционирования отдельных подсистем  $S_r$ :  $Z_r(t)$ ,  $r=1,2,\dots,R$  в виде системы связанных между собой соотношений

$$Z_r(t) = F_r(Z_1, Z_2, \dots, Z_R, t), \quad r=1,2,\dots,R. \quad (2)$$

Связь между отдельными соотношениями системы (2) проявляется в наличии характеристик процессов функционирования всех подсистем  $S$  в качестве аргументов в функционале  $F_r$ .

Ограничимся рассмотрением функциональных моделей, в которых воздействие на процесс функционирования отдельной подсистемы со стороны других подсистем представляется аддитивным способом, соответствующим сепарабельности функционала  $F_r$ , т.е.:

$$Z_r(t) = F_{rr}(Z_r, t) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^R a_{rk} F_{rk}(Z_k, t), \quad r, k=1,2,\dots,R \quad (3)$$

В соотношениях (3) коэффициенты  $a_{rk}$  учитывают степень воздействия подсистемы  $S_k$  на подсистему  $S_r$ . В рассматриваемом в настоящей работе простейшем случае эти коэффициенты полагаются бинарными и принимающими значения из множества  $\{0$  (неучет влияния  $S_k$  на  $S_r$ ),  $1$  (учет влияния  $S_k$  на  $S_r$ ) $\}$ . Таким образом, в зависимости от набора значений коэффициентов  $a_{rk}$ , система соотношений (3) описывает одну из функциональных моделей системы  $S$ , нужным в рамках конкретного исследования образом учитывающую взаимосвязь между подсистемами. При этом естественно самой простой для использования считать модель  $M^0$ , для которой

$$a_{rk}=0; \quad r,k=1,2,\dots,R; r \neq k \quad (\text{подсистемы не связаны между собой}),$$

а самой сложной – модель  $M^1$ , для которой

$$a_{rk}=1; \quad r,k=1,2,\dots,R; r \neq k \quad (\text{все подсистемы взаимно влияют друг на друга}).$$

Полагая, что учет влияния подсистем всегда является фактором усложнения модели, естественно ввести на множестве моделей отношение сложности, считая:

$$M^* \prec M^{**}, \quad \text{если} \quad a_{rk}^* \leq a_{rk}^{**} \quad (r,k=1,2,\dots,R; r \neq k).$$

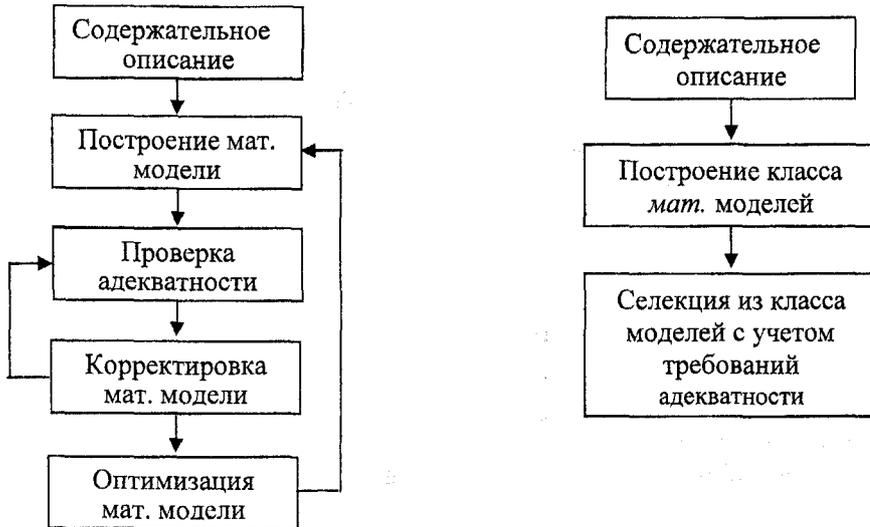
Нетрудно видеть, что заданное таким образом отношение сложности моделей является отношением частичного порядка. Класс моделей можно рассматривать в качестве метрического пространства, задав расстояние (метрику) на множестве моделей, например, взяв за основу расстояние Хэмминга (Hamming distance)[3]:

$$D(M^*, M^{**}) = \frac{1}{R(R-1)} \sum_{r=1}^R \sum_{\substack{k=1 \\ r \neq k}}^R \text{abs}(a_{rk}^* - a_{rk}^{**}).$$

Рассмотрение класса моделей вида (3) дает возможность модификации традиционной методики математического моделирования. Традиционный подход [4] предполагает использование схемы математического моделирования (рис.1(а)), в рамках которой окончательный выбор оптимальной модели осуществляется на последнем этапе – этапе оптимизации. При этом, поскольку критерии выбора никак не учитываются на предыдущих этапах математического моделирования, этот этап, как правило, сводится к последовательному перебору построенных математических моделей с остановом либо при исчерпании количества попыток, либо при неулучшении решений после определенного числа итераций. Таким образом, недостатком традиционного подхода является нерациональное многократное применение весьма трудоемкой процедуры «построения-проверки адекватности-корректировки» математических моделей, что делает его целесообразным только в тех случаях, когда оптимизация модельного описания не существенна и можно обойтись небольшим числом итераций рассматриваемой процедуры. В противном случае желательно было бы учесть возможные сложности последующего дальнейшего применения математических моделей уже на этапе их построения (проверки адекватности).

В качестве одного из возможных вариантов такого учета предлагается разработка на этапе формализации операций (построения математической модели) не одной, а целого класса моделей (как при моделировании сложных систем). Это позволяет на следующем этапе производить выбор самой простой из возможных (с

учетом обеспечения необходимого уровня адекватности) моделей из имеющихся альтернатив. Предлагаемая методика математического моделирования (рис.1(б)) эффективна в случаях, когда имеется возможность построения достаточно широкого круга математических моделей исследуемого объекта и многократное последующее применение выбранной модели.



a)

б)

Рисунок 1 – Традиционная (а) и предлагаемая в работе (б) методики математического моделирования

Одним из ключевых вопросов математического моделирования как для традиционной, так и для предлагаемой методики является адекватность модели. Как правило, проверка адекватности проводится на основе количественного и качественного сравнения характеристик процессов функционирования системы, полученных на основе исследуемой модели, с данными натурных экспериментов и (или) с результатами, полученными при использовании других моделей. В рамках предлагаемой методики предполагается, что наиболее полная (и сложная для использования) из рассматриваемых моделей, соответствующая набору коэффициентов  $a_{rk} = 1; r, k=1, 2, \dots, R; r \neq k$ , модель  $M^1$  является адекватной. Предполагается также, что проверка адекватности произвольной модели  $M^*$  из рассматриваемого класса может быть сведена к проверке выполнения заданной точности аппроксимации решений, полученных на основе  $M^1$ , решениями, полученными на основе  $M^*$ . Для проверки точности аппроксимации реализуется следующая процедура:

1) генерируется набор тестовых задач  $T_1, T_2, \dots, T_V$ , решениями которых в рамках модели  $M^*$  будут функции  $Z_r^{1*}, Z_r^{2*}, \dots, Z_r^{V*}, r=1, 2, \dots, R$ ;

2) полученные решения подставляются в соотношения (3), соответствующие модели  $M^1$ , и вычисляются невязки (разности левых и правых частей соотношений) по формулам:

$$\delta_{r,k}^{v*}(t) = \text{abs}(Z_r^{v*}(t) - F_{rk}(Z_r^{v*}, t) - \sum_{k=1}^R F_{rk}(Z_r^{v*}, t)), \quad r, k=1, 2, \dots, R; v=1, 2, \dots, V$$

3) полученные невязки  $\delta^{v*}_r(t)$  приводятся к безразмерному виду и нормируются, после чего невязки  $\delta^{v*}_1(t), \delta^{v*}_2(t), \dots, \delta^{v*}_R(t)$  умножаются на весовые коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_R$  (найденные в результате обработки экспертных оценок), удовлетворяющие условиям:  $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_R = 1$ ;  $\alpha_r \geq 0, r=1, 2, \dots, R$  и отражающие степень важности точности описания процессов функционирования подсистем  $S_1, S_2, \dots, S_R$ , а затем для модели  $M^*$  определяется средняя (по набору тестовых задач) невязка  $\delta^*$  по формуле:

$$\delta^*(t) = \frac{1}{V} \sum_{v=1}^V \alpha_r \delta^{v*}_r(t).$$

4) проверяется выполнение для полученной средней невязки  $\delta^*(t)$  ограничения, обеспечивающего заданную допустимую точность аппроксимации  $\delta^\varepsilon - \text{const}$ :

$$\delta^*(t) \leq \delta^\varepsilon.$$

Сложность использования моделей можно оценить по количеству учитываемых взаимосвязей между подсистемами. Однако учет разных связей не одинаков по сложности и зависит от особенностей системы, вида функциональных зависимостей, типа решаемой задачи и используемого метода ее решения, а также требуемой точности решения. Поэтому в качестве критерия сравнительной сложности модели предлагается использовать величину

$$K = \sum_{r=1}^R \sum_{\substack{k=1 \\ r \neq k}}^R \beta_{rk} a_{rk},$$

где весовые коэффициенты удовлетворяют условиям:

$$\sum_{r=1}^R \sum_{\substack{k=1 \\ r \neq k}}^R \beta_{rk} = 1; \quad \beta_{rk} \geq 0 \quad (r, k=1, 2, \dots, R; r \neq k)$$

и определяются экспертами. Определение весовых коэффициентов может производиться, например, на основе экспертных оценок с использованием методов командного ранжирования или парных сравнений.

Выбор (одной или нескольких) наиболее удобных для использования моделей сложной системы целесообразно производить, основываясь на процедуре генетической селекции, поскольку она позволяет эффективно находить удовлетворительные решения многоэкстремальных оптимизационных задач большой размерности и обладает возможностью использовать параллельные вычисления, что отвечает перспективным тенденциям развития компьютерных технологий. Для селекции моделей предлагается следующая (основанная на стандартном генетическом алгоритме [5]) процедура:

- 1) кодирование моделей в виде бинарных хромосом, определяемых коэффициентами  $a_{rk}$  ( $r, k=1, 2, \dots, R; r \neq k$ ) и построение нормализованной функции приспособленности на основе критерия сложности  $K$ ;
- 2) построение начальной популяции моделей случайным выбором из класса моделей, описываемых соотношениями (3) турнирный (или рулеточный) отбор родительских пар;

- 3) применение генетических операторов скрещивания и мутации для получения новой популяции моделей;
- 4) проверка стандартных условий останова эволюционного процесса;
- 5) определение в последней популяции нужного числа наименее сложных моделей, удовлетворяющих условию заданной точности аппроксимации.

Как и любой эвристический метод случайного поиска, предлагаемая процедура генетической селекции моделей не гарантирует нахождение оптимального решения, но представляется более эффективным, чем гарантирующий точное решение метод полного перебора.

Предлагаемый подход может быть использован в случае построения математических моделей сложных взаимосвязанных процессов, изучаемых в рамках различных наук (социально-экономические процессы, химико-биологические реакции, электро-магнито-термо-деформации твердых тел и т.д.), что также имеет практическое значение.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. государственный контракт № 02.740.11.5128 от 09 марта 2010 г.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бусленко Н.П. К теории сложных систем. – «Известия АН СССР. Техническая кибернетика», 1963. – № 5.
2. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник; под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш.шк., 2004. – 616 с.
3. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов: учебник для ВУЗов. – 3-е изд. – Ф.А. Новиков.– СПб.: Питер, 2008. – 384 с.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры (2-е изд.). – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
5. Гладков Л.А. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, В.П. Сороколетов. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.

**Жиляков Евгений Георгиевич**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Доктор технических наук, зав. кафедрой телекоммуникационных систем и технологий  
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

**Ломазова Валентина Ивановна**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Преподаватель кафедры социальных технологий  
E-mail: vlomazova@yandex.ru

**Ломазов Вадим Александрович**

Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, г. Белгород  
Доктор физ.-мат. наук, зав. кафедрой информатики и информационных технологий  
E-mail: vlomazov@yandex.ru

Д.Ю. НЕЧАЕВ

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ МНОГОМЕРНОГО КОММУНИКАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*В статье рассматриваются вопросы формализации понятия информации на основе синтетического, атрибутивно-функционального подхода применительно к корпоративным информационным системам, исследуется взаимоотношение видов и форм проявления информации в них. Принцип оптимальности обработки информации в таких системах рассматривается с позиций информационной ценности. Применение методов кибернетического анализа для корпоративных информационных систем позволяет рассмотреть процессы управления с точки зрения как иерархии целей, так и процессов обработки информации как средства достижения этих целей.*

**Ключевые слова:** системный анализ; информационная теория; комплексная информационная система; управление; качество функционирования.

*In article questions of formalization of concept of the information on the basis of the synthetic, attributive-functional approach with reference to corporate information systems are considered, the mutual relation of kinds and forms of display of the information in them are investigated. The principle of an optimality of processing of the information in such systems is considered from positions of information value. Application of methods of the cybernetic analysis for corporate information systems, allows to consider managerial processes from the point of view, both hierarchies of the purposes, and processes of processing of the information, as means of achievement of these purposes.*

**Keywords:** systems analysis; information theory; complex information system; management; functioning quality.

Объединение нескольких локальных систем в единую многофункциональную систему с общим центром управления представляется возможным на основе специфической информационно-управленческой интеграции, включающей в себя создание информационно-управляющих систем и средств, обеспечивающих информационное взаимодействие: интегрированных банков данных и информационно-справочных компьютерных систем; автоматизированных систем управления взаимодействием отдельных подсистем комплексной интегрированной системы; автоматизированных систем обработки интегрированной информации; автоматизированных систем управления и взаимодействия с надсистемами, системами контрагентов и др.

Характерным недостатком предлагаемых решений является отсутствие единого подхода к разработке таких систем, организации их информационного взаимодействия, координации информационных потоков между уровнями управления подсистем, методов оценки функционирования узлов обработки информации, что отрицательно сказывается на эффективности процессов комплексной автоматизации деятельности. Рациональная организация информационных процессов, т.е. технологических процессов обработки информации (ТПОИ), в интегрированных автоматизированных системах приобретает все большее значение, прежде всего, как условие успешного целенаправленного функционирования современных предприятий, организаций всех форм собственности и направлений деятельности. Доля трудозатрат на обеспечение информацией в комплексных системах начинает

превышать долю трудозатрат на непосредственное обеспечение основной деятельности.

Приведенные факты свидетельствуют об актуальности проведения исследований в данном направлении на всех этапах жизненного цикла информационной системы с целью повышения эффективности ее применения и позволяют выбрать в качестве объекта исследования комплексную (интегрированную, корпоративную) автоматизированную систему, а в качестве предмета исследования – информационные процессы в ней.

Основные понятия, которые используются при построении информационной теории: система, информация, качество, а также их производные (целенаправленная система, информационный ресурс, информационный процесс, информационная структура, информационная база, качество системы, качество информации и др.). Единого, формального определения системы, удовлетворяющего предъявляемым к нему требованиям, в настоящее время нет. Есть множество определений системы, сформулированных Л. фон Бергаланфи (впервые в 1969 г.), В.М. Глушковым, Н.П. Бусленко, А.И. Уемовым, Ю.А. Шрейдером, М. Месаровичем, Р. Акоффом, У. Эшби и др.

В рамках информационной теории предлагается следующее обобщающее определение системы. Система – это целостное (единое) образование множества элементов, находящихся в сложных отношениях и связях между собой, возникающее в результате операции выделения некоторой части внешнего мира по пространственным и (или) функциональным признакам и обладающее эмерджентными свойствами, не сводящимися к свойствам входящих в это образование элементов.

Понятие «система» частично субъективно, так как исследователь выделяет из внешнего мира те элементы и явления, которые отвечают цели исследования и легче поддаются анализу или синтезу. Объективное содержание понятия «система» связано с тем, что реальные системы обладают пространственной или функциональной замкнутостью (изолированностью от среды функционирования). Элемент и подсистема, подсистема и система, система и надсистема образуют диалектические противоположности как часть и целое. Развитие систем – это циклическое зарождение, обострение и разрешение противоречий в результате их борьбы [1].

Структура системы – это способ организации системы (целого) из отдельных элементов (подсистем) с их взаимодействиями, которые определяются распределением функций и целей, выполняемых системой, обеспечивающий устойчивость и тождественность системы при различных внешних и внутренних изменениях.

Сложная система – это система, состоящая из большого числа взаимодействующих друг с другом разнообразных (неоднородных) элементов. Отсюда сложность системы зависит от насыщенности ее информацией, т.е. зависит не столько от количества элементов, сколько от их разнообразия. Причем, чем в большей степени различны элементы, тем меньше число способов, которыми может быть реализовано то или иное сочетание. Различать элементы системы позволяет содержащаяся в системе информация. Различимость – свойство, необходимое для определения количества информации в системе.

Все проблемы, возникающие при анализе и синтезе систем, сводятся к двум [2]: описанию структуры системы на основе функциональных характеристик

(морфологический или структурный анализ); определению функций системы, заданных в соответствии с пространственным или структурным принципом (функциональный анализ).

Для формализации определения понятия «информация» предлагается синтетический, атрибутивно-функциональный подход, т.е. подход, частично объединяющий идеи известных философско-методологического и кибернетического подходов [3]. Согласно данному подходу предлагается рассматривать два рода информации (объективную и субъективную) в комплексной (корпоративной) информационной системе (КИС), представляющие собой:

- внутреннюю структурную (преобразующую) информацию объектов КИС, заключенную в структурах АС, её элементов управления, алгоритмов и программ обработки информации и являющуюся физической величиной;

- внешнюю относительную содержательную (специальную, главным образом, осведомляющую, контрольную, сигнальную и управляющую, а также научно-техническую, технологическую, планово-экономическую и др.), извлекаемую из информационных массивов (сообщений, команд и пр.) относительно индивидуальной модели предметной области (тезауруса) получателя (человека, КСА, подсистемы, КИС).

Первая связана с качеством информационных процессов (ТПОИ) в КИС, с внутренними технологическими эффектами, затратами на обработку информации. Вторая связана, главным образом, с внешним целевым (материальным) эффектом (выигрышем или штрафом).

Структурная информация  $Q_v$  – отраженная в знаковой форме организованность (сложность, разнообразие) материальных объектов-систем, являющаяся универсальной физической величиной, используемой для описания процессов функционирования объектов.

Содержательная информация  $Q_z$  – совокупность сведений (знаний) о конкретном материальном объекте-системе или процессе (семантический аспект), содержащаяся в информационных массивах (массивах данных, массивах программ, сообщениях, фактах), воспринимаемых получателем (человеком-оператором, и др.) и используемая им для выработки (с учетом его индивидуального или общесистемного тезауруса – накопленных знаний, целей и задач) и принятия управляющего решения (прагматический аспект).

Наличие (получение)  $Q_z$  в системе (элементе принятия решений) позволяет получателю уменьшить имеющуюся неопределенность (разнообразие) истинной ситуации и на основе этого сделать выбор одного или нескольких вариантов из множества возможных равноправных альтернатив. Соответствующие информационные массивы (ИМ) поэтому являются объектом определенных операций (передачи, распределения, преобразования, хранения, обработки, контроля, непосредственного использования и др.). Имеет субъективный характер.

Важной разновидностью содержательной информации  $Q_z$  является связанная информация  $Q'_z$ , характеризующая процессы взаимодействия (взаимосвязи) функциональных элементов (подсистем) КИС.

Связанная информация  $Q'_z$  – совокупность сведений (знаний) о конкретном

процессе взаимодействия в материальных объектах-системах, содержащаяся в статистических структурах заданного множества информационных массивов (сообщений), воспринимаемых получателем (человеком-оператором, КСА и др.) и используемая им (с учетом его индивидуального или общесистемного тезауруса – накопленных знаний) для определения состояния источника информации.

Применительно к информационному узлу КИС (рис. 1):

$$Q_0 = Q_z(m, T) \cup Q'_z(p_m, T_c \subset T), \quad (1)$$

$$Q_n = Q_v(\Theta) \cup Q'_z(T), \quad (2)$$

$$Q_{nm} = \varphi(Q'_0, Q'_n), \quad (3)$$

где  $Q_0, Q_n, Q_{nm}, Q'_0, Q'_z, Q'_y$ , – информация осведомляющая (контрольная, сигнальная и др.), преобразующая, принятия решения, управляющая, содержательная (семантическая и прагматическая), связанная (структурно-статистическая), структурная;

$m$  – информационный массив (ИМ);

$p_m$  – априорная вероятность получения ИМ;

$T, T_c$  – общесистемный тезаурус и тезаурус подсистемы информационного взаимодействия (обмена) соответственно;

$\Theta$  – кортеж параметров системы (модель).

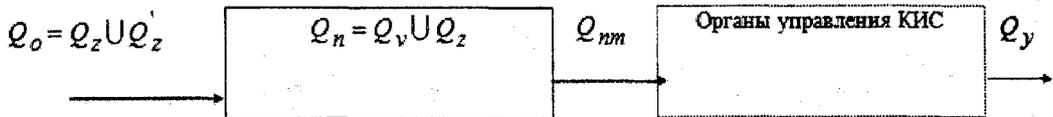


Рисунок 1 – Взаимоотношение видов и форм проявления информации в КИС

Определение качественно различных форм проявления информации, циркулирующей в КИС, возможно на основе анализа декомпозиции процесса (системы) управления безопасностью объектов. В инвариантной модели автоматизированной системы управления, полученной Б.И. Глазовым на основе применения при декомпозиции фундаментальных принципов управления (принципа дуальности А.А. Фельдбаума, принципа оптимальности Р. Беллмана, принципа разделения Р. Калмана, принципа централизации), можно выделить такие качественно различные формы проявления информации, как:

1. Осведомляющая  $Q_0 = Q_0(S) + Q_0(E) + Q_0(Q_y) + Q_0(X, Y)$ , к которой относится вся информация об объективных характеристиках  $S$  состава, структуры и свойств управляемого процесса, а также управляющих ( $Q_y, X$ ) и дестабилизирующих ( $E$ ) факторов внешней среды, выступающая как в пассивной, так и в активной формах;

2. Преобразующая  $Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^{i=6} Q_{\Pi i}$ , которая заключена в структурах КИС, ее элементов (пунктов, узлов) управления, алгоритмов и программ обработки информации, объединенных в базах данных и знаний автоматизированной информационной системы (АИС), обеспечивает технологический процесс обработки информации (ТПОИ) в функциональных подсистемах ( $P_1 \dots P_6$ ) (подсистемах

измерения, наблюдения, идентификации, выработки управляющих решений, централизованной координации, информационного обмена соответственно);

3. Преобразованная  $Q_{PP} = \sum_{i=1}^{i=6} Q_{PPi}$ , включающая:

- информацию  $Q_{PP1}$  измерения (восприятия), характеризующую отражение в подсистеме  $P_1$ ;

- информацию  $Q_{PP2}$  наблюдения (распознавания), характеризующую отражение ситуаций, определяемых осведомляющей информацией, на конечном множестве эталонных образцов, заданных элементами подсистемы  $P_2$ ;

- информацию  $Q_{PP3}$  идентификации (предсказания), характеризующую отражение на конечном множестве элементов подсистемы  $P_3$  состояние объекта безопасности  $P_0$ ;

- информацию  $Q_{PP4}$  выработки (принятия) решения, характеризующую отражение образов и целей (текущих и предсказываемых) на конечном множестве решений, заданных элементами подсистемы  $P_4$ ;

- информацию  $Q_{PP5}$  централизованной координации и организационного управления, характеризующую отражение внешних целей и состояний подсистем  $P_0...P_6$ , на конечном множестве эталонных образцов, заданных элементами подсистемы  $P_5$ ;

- информацию  $Q_{PP6}$  связи, характеризующую отражение взаимодействия подсистем на конечном множестве элементов подсистемы  $P_6$ ;

4) управляющая  $Q_y$ , к которой относится вся информация, реализуемая в исполнительных органах, являясь руководством (причиной) для их действия в отношении целенаправленного изменения состава, структуры и свойств управляемого процесса КИС.

В подсистеме  $P_5$  воспринимается и распознаётся внешняя управляющая информация  $Q'_y$ , задающая главную цель управления КИС, а также предсказывается изменение главной цели и принимается решение о том, какую цель взять в качестве задающей для контура управления объектом  $P_0$  в целом и для каждой подсистемы  $P_1...P_6$  контура в частности. Преобразованная информация  $Q_{PP5}$  содержит информацию  $Q_{0i} \in Q_{PP5}$  о целях подсистем  $P_1...P_6$ , являющуюся для них осведомляющей в активной форме. Последнее, как правило, приводит к накоплению полезной информации на выходах подсистем КИС и установлению ассоциативных и других связей, что соответствует эффекту самообучения [4]. В контуре формируется преобразованная информация  $Q_{PP5}$ , которая реализуется исполнительным органом управления  $P_0$  (рис. 2).

Понятие «качество» можно обобщить следующим образом. Качество объектов исследования (систем, информации и др.) – совокупность свойств, характеризующих степень соответствия объектов целям (ценностям) и технологии применения. Введем частные определения для качества КИС и циркулирующей в КИС информации. Качество КИС – совокупность информационных, технических, эксплуатационных,

экономических, эргономических, эстетических и др. свойств, характеризующих степень достижения целей, поставленных при ее создании. Для обозначения качества функционирования КИС в условиях ее применения по назначению используется понятие «эффективность». Эффективность КИС – свойство КИС, характеризующее степень достижения главной цели (целей), поставленной при ее создании и определяющей ее назначение в условиях целевого применения. Различают внешнюю или целевую эффективность КИС (получаемую в управляемом объекте или процессе) и внутреннюю или технологическую эффективность (выполнения задач управления данной КИС по отношению к другой).

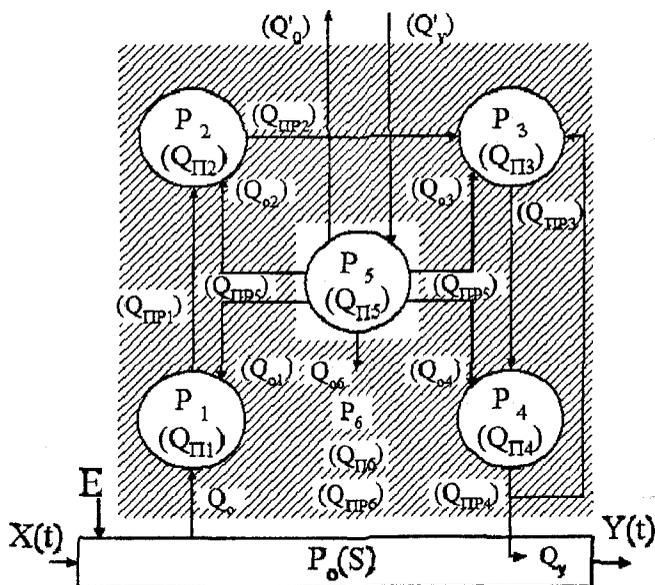


Рисунок 2 – Инвариантный контур автоматизированного управления КИС

Для оценки целевого материального эффекта в сложной системе требуется оптимизация по многим критериям и в результате вместо получения экстремальных значений показателей эффективности часто приходится рассматривать рациональные (компромиссные, сатисфакционные) решения. Последние могут характеризоваться некоторой системой требований, описывающих такие содержательные понятия, как приемлемость, равноправие, равнозначность, справедливость и др. Очевидно, что возможность удовлетворить такой системе требований зависит от информационных ограничений, действующих в КИС.

Качество информации в КИС – совокупность внутренних (содержательности) и внешних (защищенности) свойств информации, характеризующих степень ее соответствия потребностям (целям, ценностям) пользователей (КСА, персонала и др.). Внутреннее качество (присущее собственно информации и сохраняющееся при ее переносе в другую ИС подсистему) и внешнее (присущее информации, находящейся или используемой только в определенной ИС, подсистеме) определяются, главным образом, следующими иерархиям свойств [5]: содержательность – значимость, (идентичность, полнота), кумулятивность (гомоморфизм, избирательность); защищенность – достоверность (помехоустойчивость, помехозащищенность), сохранность (целостность, готовность), конфиденциальность (доступность,

скрытность, имитостойкость).

Известны два подхода к определению ценности информации (соответствия информации потребностям пользователей), предлагающие: первый - связывать ее с поставленной задачей (М. Бонгард, Д. Конторов, Н. Моисеев, А. Харкевич и др.) и второй – измерять через ее количество (М. Гавурин, Б. Грищанин, Р. Стратонович и др.).

Однако при этом не учитывается множество качественных характеристик информации. Поэтому дальнейшее развитие подхода к определению ценности информации возможно, в частности, на основе: учета качества информации, включая как внутренние свойства информации (содержательность), так и внешние (защищенность); учета информационного ресурса систем и способа его использования для обработки информации.

Тогда можно принять следующее определение ценности информации. Под ценностью информации понимается ее значимость, определяемая способом динамического отображения множества ее качественных свойств и количественных характеристик на множество возможных управляющих решений, ведущих к достижению целей управления.

На основе этого определения можно сформулировать принцип оптимальности обработки информации в КИС как принцип информационной ценности: информационный ресурс КИС следует использовать оптимальным способом и только для обработки наиболее ценной (качественной) информации, на основе которой действительно возможна выработка оптимальных (при данном ограничении на количество информации) управляющих решений, ведущих к достижению целей управления.

Под способом использования информационного ресурса КИС понимается специальная информационная технология как совокупность информационных процедур формирования (рецепции), интерпретации (преобразования, поиска, реорганизации) и коммуникации (передачи, хранения) информации. В соответствии с принципом информационной ценности для повышения эффективности КИС требуется разработать математическую модель для количественной оценки информационного ресурса КИС и степени рациональности его использования в функционирующей системе.

Таким образом, теоретической основой реализации процедур управления в целенаправленных интегрированных больших иерархических системах в части выработки управляющих решений является информационная теория иерархических систем, базирующаяся на принципе информированности. Применение методов кибернетического анализа в комплексных (корпоративных) информационных системах позволит рассмотреть процессы управления в них с точки зрения как иерархии целей, так и процессов обработки информации как средства достижения этих целей.

Применение методов общей информационной теории на всех этапах обработки информации в комплексных информационных системах, рациональная организация информационных процессов на основе координации позволит:

- минимизировать капитальные затраты на оснащение объекта;
- сократить время обработки более полной и объективной информации о состоянии объекта и самой системы;
- повысить защищенность самой информационной системы от

несанкционированных действий и доступа;

- упростить процесс разграничения прав и приоритетов в доступе к хранению и использованию полученной информации;

- обеспечить возможность гибко менять с помощью необходимого комплекса аппаратно-программных средств конфигурацию подсистем.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
2. Хассон С. Микропрограммное управление. – М.: Мир, 1973. – 240 с.
3. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
4. Глазов Б.И. Методологические основы информационно-кибернетической системотехники. – М.: РВСН, 1992. – 171 с.

**Нечаев Дмитрий Юрьевич**

ГОУ ВПО «Российский государственный торгово-экономический университет», г. Москва

Кандидат технических наук, доцент, декан факультета информационных технологий

Тел.: 8(926)565-63-24

E-mail: dimuray@mail.ru

УДК 378.1;53 (082)

М.А. ТАРАСОВА, Т.С. РОГОЖИНА, Ю.В. МОСИН

## ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ И СТУДЕНТОВ

*В работе показано применение информационно-коммуникационных технологий как инновационных технологий обучения. На базе этих технологий разработан программно-методический комплекс для оценки усвоения знаний по физике. Методическая часть комплекса сформирована в виде отдельных модулей, в состав каждого модуля входят: тематические лекции, решения типовых (стандартных) задач, тесты. Программная часть представляет собой программу «Учебный Мастер» – это система программ для организации и проведения компьютерного тестирования в любых образовательных учреждениях (ВУЗы, колледжи, школы) по любым учебным дисциплинам, сбора и анализа результатов, выставления оценки.*

*Ключевые слова:* информационно-коммуникационные технологии; методика; программа; тест; качество знаний.

*In work application is shown is information - communication technologies as innovative technologies of training. On the basis of these technologies it is developed about-grammno - a methodical complex for an estimation of mastering of knowledge on the physicist. The methodical part of a complex is generated in the form of separate modules, structure of each module vho-djat: thematic lectures, decisions of typical (standard) problems, tests. Programs Th the part represents the program «Educational Master» is a system of programs for the organisation and carrying out of computer testing in any educational institutions (high schools, colleges, schools) on any subject matters, gathering and the analysis of results, estimation exhibiting.*

*Keywords:* information-communication technologies; technique; program; the test; quality of knowledge.

Сегодня российская система образования находится в состоянии активного поиска путей и форм своего дальнейшего развития. Процессы глобализации экономики, обеспечение стратегической конкурентоспособности России оказывают прямое воздействие на реформы как общего, так и высшего образования. Подписание Болонской конвенции, а также предстоящее вступление России в ВТО, позволят Российскому образованию выйти на уровень требований единого европейского образовательного пространства. Это означает, прежде всего, переход на компетентностные модели образования, что потребует внедрения модульных технологий, оцениваемых системой зачетных единиц.

Одним из главных вопросов проводимой сегодня реформы высшего образования является системное обеспечение качества профессиональной подготовки специалиста в условиях ВУЗа. Особая роль при этом отводится техническим ВУзам, способствующим развитию инновационных наукоемких производств и, как следствие, национальной экономики России.

На пути повышения качества подготовки специалиста необходимо сохранить лучшие традиции отечественной высшей школы в условиях разных особенностей организации учебного процесса и образовательных технологий в каждом конкретном университете. Это в первую очередь касается фундаментальности образования.

Фундаментальность – важнейший принцип качественного современного высшего образования, требующий преемственности в изучении всех учебных дисциплин. Обеспечивает фундаментальность образования физика как основа всех

научно-естественных и технических дисциплин [1]. Курс физики – базовый курс подготовки специалистов в техническом ВУЗе. Поэтому особое внимание большинство технических университетов уделяют качеству физического образования [2].

Наряду с этим, современное высшее образование предъявляет и новые требования к уровню и качеству подготовки специалиста, что в свою очередь указывает на необходимость разработки новых принципов проектирования образовательных программ, организации учебного процесса на основе компетентностного подхода и внедрения новых *инновационных технологий обучения*.

В настоящее время одним из путей решения этой задачи становится широкое распространение гибких информационно-образовательных сред, использующих современные *информационные и коммуникационные технологии (ИКТ)* для результативного продвижения инноваций. Одним из вариантов использования ИКТ в образовании является контроль и оценка качества усвоения знаний учащимися. При этом в качестве современного инструментария широко используются *педагогические тесты*.

Тестовый контроль усвоения знаний учащихся приобрел широкую популярность в связи с возможностями наиболее объективной оценки знаний, более полного охвата программы, значительного сокращения времени, затрачиваемого на проведения аттестации. Эти преимущества тестовых технологий по сравнению с традиционными являются основополагающими. Их ценность значительно возрастает в случае заочного и дистанционного образования.

Тестирование целесообразно использовать не только для контроля и оценки качества усвоения знаний, но и для обучения. Обучение, сопровождаемое тестированием, является весьма эффективным инструментом для обеспечения содержания и качества подготовки учащихся, особенно при изучении фундаментальных дисциплин естественно-научного цикла, например, физики, а также для повышения эффективности самостоятельной работы студентов, для интенсификации и индивидуализации обучения.

ИКТ, обеспечивающие как контроль, так и обучение с использованием тестирования, являются весьма перспективными.

В Орловском государственном техническом университете на кафедре физики разрабатывается *программно-методический комплекс* для оценки качества усвоения знаний студентов по физике. Комплекс является многофункциональным, т.е. работает как в режиме контроля, так и в режиме обучения.

*Методическая часть* комплекса сформирована в виде отдельных модулей, которые в целом отражают весь курс физики технического ВУЗа. При этом учебный материал разделен на семь модулей: 1) «Механика и специальная теория относительности»; 2) «Молекулярная физика и термодинамика»; 3) «Электричество и магнетизм»; 4) «Волновая оптика»; 5) «Квантовая физика»; 6) «Элементы физики твердого тела»; 7) «Элементы ядерной физики».

В состав каждого модуля входят следующие методические разработки:

- теоретический материал – тематические лекции;
- решения типовых (стандартных) задач;
- тесты.

Так, например, модуль «Молекулярная физика и термодинамика» содержит: теоретический материал, состоящий из семи тематических лекций [3], 35 решенных типовых задач и комплекта тестовых заданий, включающего 210 тестовых вопросов.

Необходимо остановиться на разработке тестовых заданий. Нами по данному вопросу накоплен значительный опыт. Разработаны комплекты тестовых заданий, используемые для текущего контроля на практических занятиях и при допуске к лабораторному практикуму, например, [4,5]. Это позволило установить основные критерии составления тестовых заданий, то есть *методика разработки теста* [6]. При этом в качестве дидактической основы выступают требования Государственного образовательного стандарта по физике. Иерархическая конструкция теста представлена в таблице 1.

Разработка тестовых заданий по этой методике направлена на осуществление мониторинга следующих необходимых интеллектуальных умений обучающегося:

- анализ соотношений в знаково-символьной форме;
- анализ графических образов учебной информации;
- взаимобратный перевод учебной информации из графических образов в знаково-символьную форму;
- анализ размерности основных физических величин в Международной системе единиц (СИ);
- применение фундаментальных законов при решении практических задач.

Таблица 1 – Иерархическая конструкция теста

Номер задания	Наименование задания	Соответствие требованиям ГОС
1	Распознавание	Иметь представление
2	Ученическое применение	Иметь представление
3	Механическое воспроизведение	Знать
4	Алгоритмическое применение	Уметь использовать
5	Фрагментарное понимание	Знать, уметь использовать
6	Эвристическое применение	Владеть навыками
7	Целостное понимание	Владеть навыками

Методика позволяет для каждого раздела учебной программы отразить: опытные факты, законы, связь между физическими величинами, качественные и количественные задачи, идеализированные модели, теоретические выводы и их практическое применение. Она требует, чтобы при разработке тестовых заданий авторы стремились усилить выразительность заданий за счет использования графического представления информации, применения формулировок, вскрывающих причинно-следственные связи вместо словесных формулировок.

Методикой предусматривается проектирование матрицы результатов тестирования, посредством которой, во-первых, выявляется степень успешности деятельности студентов по изученным темам курса, во-вторых, делается оценка качества теста на надежность, валидность и объективность.

*Программная часть* программно-методического комплекса для оценки качества усвоения знаний студентов по физике, создаваемого в Орловском государственном техническом университете, представляет собой программу

«Учебный Мастер» (рис.1). «Учебный Мастер» – это система программ для организации и проведения компьютерного тестирования в любых образовательных учреждениях (ВУЗы, колледжи, школы) по любым учебным дисциплинам, сбора и анализа результатов, выставления оценки.



Рисунок 1 – Стартовое окно программы «Учебный Мастер»

Функциональные возможности программы следующие.

1. Программа полностью автономна и самодостаточна. Она позволяет.

– создавать, редактировать и печатать тестовые задания, сопровождать их графической информацией, математическими формулами, диаграммами, таблицами и контекстной справкой, осуществлять полнофункциональное оформление текста тестовых заданий (шрифты, эффекты, цвета, выравнивание, верхние и нижние индексы и т.п.) (рис.2);

– вести полноценный учет тестируемых путем создания и редактирования списков учащихся (журналов групп), при этом в учетной записи каждого учащегося предусмотрены следующие поля: имя, фамилия, отчество, факультет, группа, номер зачетной книжки (рис. 3);

– автоматически выставлять оценки и вести журнал результатов.

2. Организовать одновременное тестирование на нескольких компьютерах в локальной сети (рис.4).

3. Программа состоит из серверного и клиентского модулей. Это позволяет, во-первых, осуществлять централизованное хранение данных на сервере, а именно, баз с тестовыми заданиями, данными об учащихся (журналы групп), результатами тестирования (журналы результатов) и условиями тестирования (журнал настроек). Во-вторых, полностью исключает возможность постороннего, несанкционированного доступа к ним.

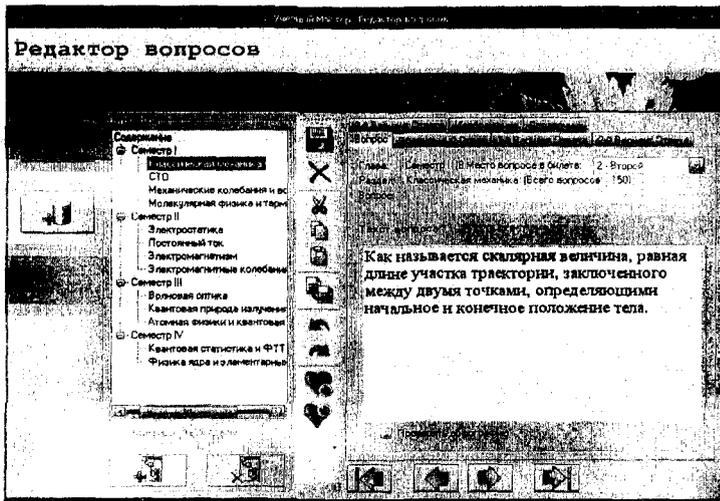


Рисунок 2 – «Учебный Мастер» в режиме редактирования вопросов

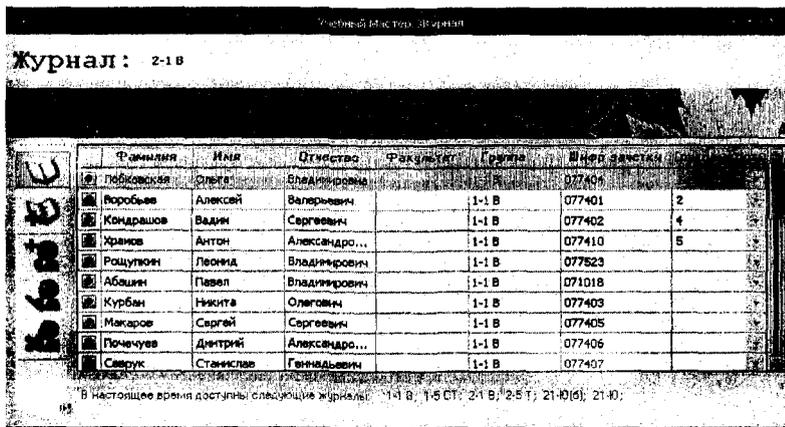


Рисунок 3 – «Учебный Мастер» в режиме редактирования журнала

4. Клиентский модуль позволяет путем обращения к серверу осуществлять выборку данных для тестирования. При этом перед началом тестирования учащийся должен войти в систему под своей учетной записью, паролем к которой является номер его зачетной книжки, выбрать из списков требуемый предмет и темы для тестирования (рис.5).

5. В программе предусматривается поддержка нескольких независимых друг от друга режимов тестирования: обучающий и контролирующий. В обучающем режиме тестируемому выводятся сообщения об ошибках, устранить которые он может, воспользовавшись теоретическим материалом, контекстно связанным с заданием. В контролирующем режиме воспользоваться теоретическим материалом учащемуся нельзя.

6. В процессе тестирования вопросы и ответы перемешиваются по случайному закону. Благодаря этому на соседних компьютерах практически невозможно появление одинаковых заданий, что исключает возможность списывания.

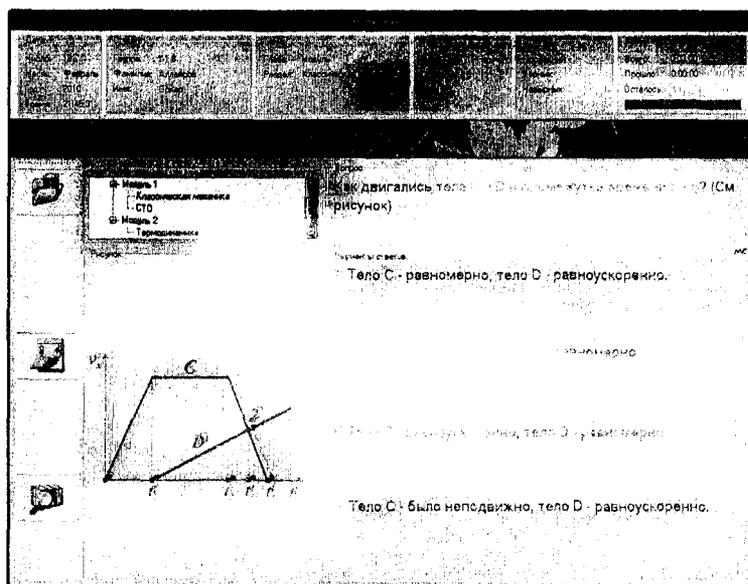


Рисунок 4 – «Учебный Мастер» в режиме тестирования

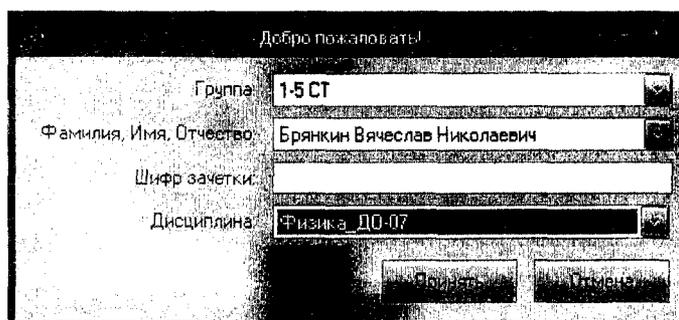


Рисунок 5 – Вход в систему

7. Программа позволяет осуществлять тестирование с ограничением по времени.

8. Для учащихся предусмотрен только режим тестирования, а для преподавателя доступны все возможности программы, заблокированные паролем.

Применение программно-методического комплекса «Учебный Мастер» в Орловском государственном техническом университете позволило комплексно осуществить три взаимосвязанные педагогические функции: диагностическую, обучающую и воспитательную. Диагностическая функция выражается в выявлении уровня знаний, умений, навыков учащихся. Обучающая функция состоит в мотивировании учащегося к активизации работы по усвоению учебного материала. Воспитательная функция проявляется в периодичности и неизбежности тестового контроля, что дисциплинирует, организует и направляет деятельность учащихся, помогает выявить и устранить пробелы в знаниях, формирует стремление развить свои способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светозаров В.В., Светозаров Ю.В. Концепция практического обучения физике как метод повышения качества фундаментального образования // Современный физический практикум. – М.: Издат. дом Московского Физического общества, 1998. – С. 82.
2. Федоров И. Инженерное образование: состояние, проблемы, перспективы. – Высшее образование в России, 2008. – №1. – С. 4.
3. Тарасова М.А., Мосин Ю.В., Рогожина Т.С., Екимова Л.С. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие. – Орел.: ООО «СтройИндустрияИнвест», 2008. – 119 с.
4. Тарасова М.А., Шадрин И.Ф., Екимова Л. С. / Тесты по физике: учебно-методическое пособие. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 135 с.
5. Тарасова М.А. Механика, молекулярная физика и термодинамика: сборник тестов для лабораторных работ по физике. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 80 с.
6. Тарасова М.А., Рогожина Т.С. Методические принципы разработки тестовых заданий по физике в техническом ВУЗе // Современные технологии в Российской системе образования. – Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2004. – С. 126.

**Тарасова Маргарита Александровна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика»  
E-mail: martar1@yandex.ru

**Рогожина Татьяна Сергеевна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»

**Мосин Юрий Викторович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»  
E-mail: yurmos@ostu.ru

Г.Г. РОЖКОВ

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

*В статье освещены вопросы создания концептуальной модели данных автоматизированной системы управления процессом обучения, основанной на применении параметров интерактивного взаимодействия. Приведена и описана концептуальная схема спроектированной базы данных. Предложена СУБД для реализации данной схемы.*

*Ключевые слова:* концептуальная модель; автоматизированная система управления; интерактивное взаимодействие; дистанционные образовательные технологии.

*In article questions of creation of conceptual model of the data of the automated control system by process of the training, based on application of parameters of interactive interaction are taken up. The conceptual scheme of the designed database is resulted and described. It is offered DBMS for realization of the offered scheme.*

*Keywords:* the conceptual model; database, the dbms; the automated management system; training, interactive interaction; remote learning

Потребность широкого внедрения дистанционных образовательных технологий и их совершенствования на современном этапе объясняется тем, что традиционные формы обучения не в полной мере справляются с быстрым обновлением знаний и возрастающими запросами общества на образовательные услуги. Использование дистанционных образовательных технологий (ДОТ) на базе компьютерных, видео, мультимедиа и коммуникационных технологий позволяет эффективно решать указанную задачу.

Модернизация образования затронула и программу дополнительного образования, в частности, систему подготовки и переподготовки государственных гражданских служащих, которые в соответствии с законодательством обязаны повышать квалификацию не реже одного раза в три года. Ежегодная потребность в переподготовке и повышении квалификации госслужащих составляет десятки тысяч человек. Столь массовое обучение в такие короткие сроки не может быть реализовано исключительно традиционными лекционно-аудиторными методами.

В настоящее время крайне актуальна задача развития и эффективного использования автоматизированных систем управления процессом дистанционного обучения. Главным критерием функционирования данных информационных систем является адекватность информационного отображения в ней входящих в нее элементов, их свойств и взаимоотношений. Основопологающим этапом проектирования этого отображения является разработка концептуальной модели данных – общей информационной модели предметной области, охватывающей вопросы классификации, структуризации и семантической целостности (достоверности и взаимной согласованности) информации.

Существует несколько подходов к изображению концептуальной модели. При проектировании использовалась модель «сущность – связь».



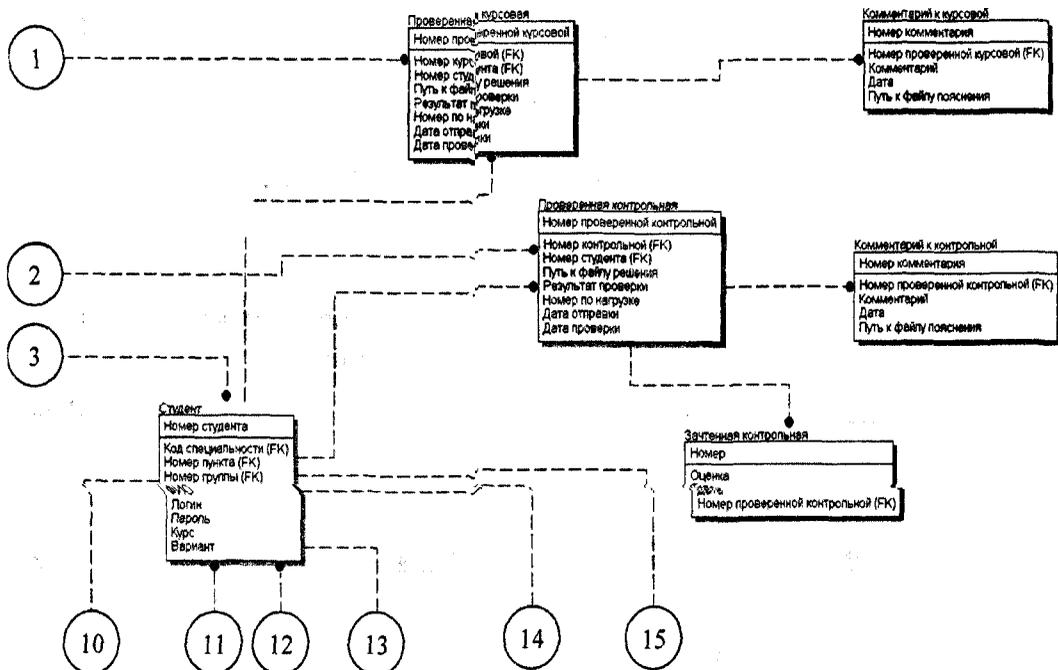


Рисунок 2 – Концептуальная схема автоматизированной системы управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия

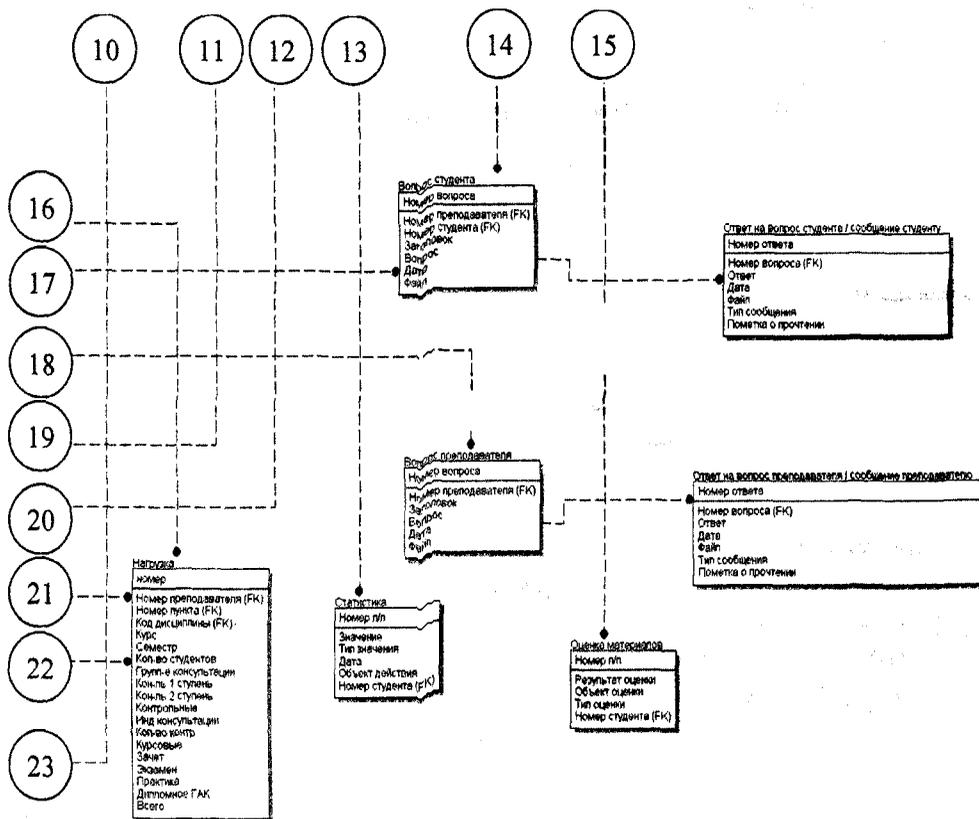


Рисунок 3 – Концептуальная схема автоматизированной системы управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия

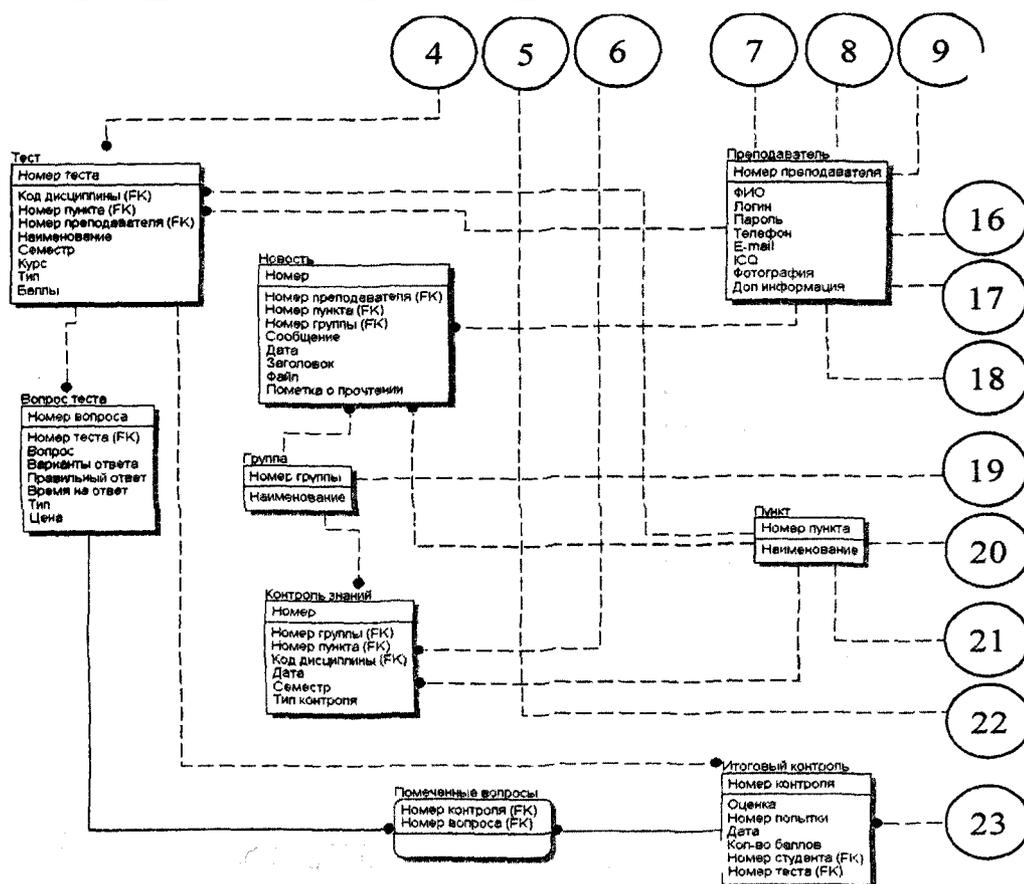


Рисунок 4 – Концептуальная схема автоматизированной системы управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия

Стоит отметить, что построенная концептуальная модель является независимой от системы управления базами данных (СУБД). В связи с этим максимально упрощается этап разработки, связанный с выбором СУБД и отображением концептуальной схемы средствами описания данных выбранной системы. Предложенную реляционную модель данных реализуют большинство современных СУБД. Для реализации информационной базы автоматизированной системы управления процессом обучения в данном случае предлагается использовать СУБД MySQL, поддерживающую реляционную модель данных.

Кроме того, так как база данных (БД) имеет нормализованную структуру, то при добавлении новых данных не требуется глобальных изменений, то есть остается неизменным набор ключевых таблиц, что также способствует интеграции данной модели БД с другими автоматизированными системами.

Все описанные факты говорят в пользу использования данной модели при проектировании автоматизированной системы управления процессом обучения и решения проблем, связанных со сложившейся потребностью в эффективных системах дистанционного обучения.

Рожков Геннадий Геннадьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орл

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: + 7 (4862) 41-67-33

E-mail: 1986rgg@inbox.ru

В.А. СТАРЫХ

## ОТКРЫТАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЁННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ

*В статье рассматривается территориально-распределённая модель управления системой распределенного доступа, электронной публикации и хранения информационных ресурсов в форме мегабiblioteca со встроенной системой поиска федеративного уровня. Информационный ресурс хранится в локальном репозитории как глобально и уникально именуемый набор структурированных данных, содержащих сведения о ресурсе, его свойствах, атрибутах и связях. Репозитории взаимодействуют между собой и с компонентами вышележащего тематического уровня, содержащего один компонент – реестр сред, выполняющего функции систематизации репозиторий в соответствии с тематическим классификатором. Высокий уровень абстракции позволяет концептуально объединить информацию из разных систем с учётом разнообразия используемых ими моделей более низкого уровня, описывая их в единой терминологии атрибутированных ресурсов и связей между ними.*

**Ключевые слова:** информационный ресурс; модель; управление; реестр; репозиторий; хранилище; XML-документ; метаданные; спецификации.

*In article the territorially-distributed model of management by the system of distributed access, the electronic publication and storage of information resources in the form of megalibrary with the built in system of search of federal level is considered. The information resource is stored in a local repository as it is global and is unique a called set of the structured data containing data on a resource, its properties, attributes and communications. Repositories co-operate among themselves and with components of the overlying thematic level containing one component – the register of the environments, carrying out functions of ordering of repositories according to the thematic qualifier. High level of abstraction allows to unite conceptually the information from different systems, with the account of a variety of models of lower level used by them, describing them in uniform terminology.*

**Keywords:** an information resource; model; management; the register; a repository; storehouse; the XML-document; metadata; specifications.

В настоящее время существует множество образовательных, научных и других специализированных учреждений (библиотеки, информационные центры), имеющих потребность в оптимальном управлении собственными образовательными, научными и другими электронными информационными ресурсами (ЭИР), а также во взаимодействии с другими владельцами информационных ресурсов.

Тем не менее, типовые бизнес-процессы управления электронными информационными ресурсами не доведены до уровня формального описания в стандартной нотации и опубликования для открытого обсуждения. Существует реальная потребность в формировании технологической инфраструктуры управления ЭИР сферы образования и науки путем создания условий для создания и апробации ее ключевых технологий, представляемых в открытых технических спецификациях и реализуемых в типовых инструментальных средствах.

Традиционно проблема управления информационными ресурсами решается на базе подхода, основанного на централизации сервисов хранения и обработки ЭИР. Наряду с достоинствами данного подхода, заключающимися в простоте реализации и обслуживания системы, организации единой точки доступа ко всем ресурсам, существует ряд серьезных недостатков, сдерживающих развитие систем с такой

архитектурой. Основные из них – это необходимость в дорогостоящем аппаратно-программном обеспечении для организации обработки огромных объемов данных и поступающих запросов пользователей, жесткие управленческие схемы администрирования, отсутствие мотивации владельца передавать свои ЭИР в централизованные хранилища и др. Актуальное значение при разработке подобных систем приобретает идея децентрализации управления ЭИР.

При реализации предлагаемого подхода владелец электронного информационного ресурса избавлен от необходимости перемещения информации в какое-либо централизованное хранилище. Информационный ресурс размещается там, где он впервые был опубликован автором, при условии, что ему предлагается web-инструментарий с простым дружественным пользовательским интерфейсом, позволяющий создавать стандартные метаописания ЭИР[1], ориентированные на общепринятые специфицированные модели. Идея децентрализации заключается в том, что распределенная система будет заинтересована как в простой поставке новых информационных ресурсов, так и в долгосрочном сотрудничестве с профессиональными сообществами, локально осуществляющими самостоятельное управление собственным подмножеством ЭИР. Кроме того, при распределенном подходе автоматически решается проблема обеспечения авторских прав на контент, поскольку ЭИР находится в системе владельца.

Распределенный подход к обработке информации, находящейся в различных местах в локальных хранилищах или наследуемых СУБД, является основой предложенной программной архитектуры. При таком подходе осуществляется непосредственная обработка и консолидированный федеративный поиск ресурсов в распределенном хранилище, состоящем из доступных через Интернет, территориально-распределённых ресурсных локальных репозиторий, взаимодействующих между собой на основе открытых стандартов. Необходимо принять во внимание, что при данном подходе не предлагается полный отказ от реализации идеи централизованного управления ЭИР, так как для обеспечения взаимодействия компонентов территориально-распределенной системы (локальных репозиторий ЭИР) необходимо наличие управляющего звена, обеспечивающего структуризацию множества репозиторий, распределенный поиск, сбор статистики.

Модель территориально-распределенной системы управления информационными ресурсами, представленная на рисунке 1, состоит из двух уровней:

1. Содержательный уровень.
2. Тематический уровень.

Содержательный уровень содержит множество локальных репозиторий, выполняющих функции управления метаописаниями ЭИР. Репозитории на данном уровне взаимодействуют между собой и с компонентами тематического уровня.

Тематический уровень содержит один компонент – реестр сред, выполняющий функции систематизации репозиторий в соответствии с тематическим классификатором. Основная цель реестра сред состоит в обеспечении компонентов содержательного уровня (репозиторий) сведениями о репозиториях, принадлежащих выбранному тематическому направлению для организации распределенного поиска. Такой подход призван обеспечить наиболее полную релевантность запросов пользователей в выбранной области.

Тематическое направление определяется элементами классификатора. На основе данного направления происходит формирование областей для навигационных механизмов информационно-образовательных сред (ИОС) [2]. Среда служит

областью взаимодействия всех заинтересованных участников в рамках формируемого таким образом сообщества.

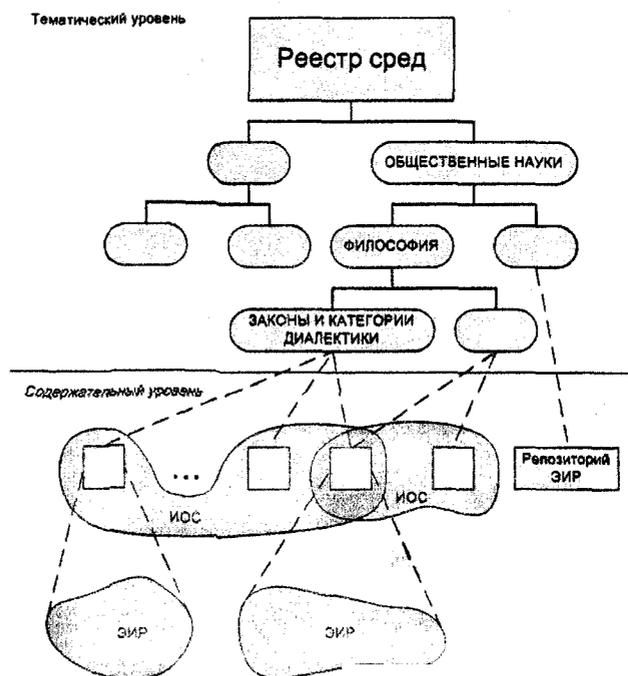


Рисунок 1 – Структура системы управления информационными ресурсами

ИОС призвана обеспечить:

- качество информационных ресурсов за счет взаимодействия всех участников процессов создания, распространения и применения ресурса;
- доступность информационных ресурсов за счет предоставления возможностей оперативного поиска, выбора, получения ресурса, соответствующего конкретным потребностям и условиям применения;
- использование информационных ресурсов для осуществления предметно-ориентированной деятельности.

### ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПОИСКА ЭИР

Одной из основных функций системы управления информационными ресурсами сферы образования является обеспечение эффективного поиска ЭИР. В условиях распределенной архитектуры самым простым вариантом является поиск среди всех репозиториев (плоская модель поиска). Такой подход может быть эффективным при сравнительно небольшом количестве репозиториев. В противном случае возникает ситуация, при которой поиск производится в репозиториях, не соответствующих запросу пользователя. В результате релевантность найденной информации резко снижается. В дополнение к этому возникают проблемы производительности при «широковещательном» поисковом запросе.

Решение проблемы может заключаться в ограничении множества репозиториев, в которых производится поиск информации. Наиболее логичным вариантом выделения областей поиска является тематическая фильтрация, которая предполагает, что запрос пользователя снабжается метками принадлежности к той

или иной предметной области. Реестр сред как компонент, обладающий полной информацией о привязке репозитория к тематическому классификатору, осуществляет выделение тематических областей и предоставляет эту информацию компоненту, выполняющему непосредственный запрос на поиск ЭИР. При этом сохраняется возможность гибкого поиска по репозиториям путем задания принадлежности к любому уровню классификатора реестра сред, что позволяет искать сразу в нескольких тематических областях.

### РЕЕСТР СРЕД

Реестр сред, приведённый на рисунке 2, представляет собой web-приложение, обеспечивающее единую точку доступа к интересующему пользователя информационному образовательному сообществу, в соответствии с выбранной тематикой.

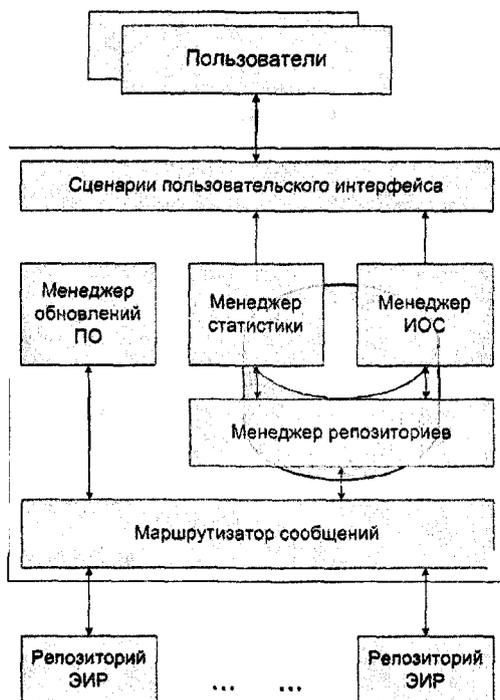


Рисунок 2 – Структура реестра сред

Реестр сред выполняет следующие функции:

1. Поддержка иерархического тематического классификатора.
2. Ведение реестра репозитория с привязкой их к узлам тематического классификатора (формирование областей для навигационных механизмов информационных образовательных сред).
3. Поддержка механизма статистики. Сбор, хранение и представление информации по количеству репозитория в рамках тематики, а также зарегистрированных в них ЭИР, посещаемости и т.д.
4. Взаимодействие с репозиториями на основе механизма сообщений.
5. Поддержка контроля версий ПО зарегистрированных репозитория.
6. Предоставление интерфейса пользователя с возможностью поиска информации по распределенному хранилищу ЭИР.

В состав реестра сред входят следующие компоненты:

1. База данных реестра. Содержит следующие информационные объекты:
  - Тематический классификатор, представляющий собой иерархический справочник.
  - Список репозиториев с привязкой к тематическому классификатору.
  - Статистическая витрина.
2. Менеджер ИОС. Управляет списком информационных образовательных сообществ в соответствии с тематическим классификатором. В его функции входят добавление, удаление репозиториев в состав ИОС.
3. Менеджер репозиториев. Управляет общим списком репозиториев, зарегистрированных в системе. В его функции входят добавление, удаление, изменение регистрационных сведений репозитория, а также актуализация общесистемных классификаторов в нем.
4. Менеджер статистики. Управляет сбором и обработкой статистических сведений по различным показателям. Информация собирается со всех зарегистрированных репозиториев.
5. Менеджер обновлений ПО. Осуществляет поддержку версий ПО репозиториев. В его функции входит хранение и предоставление информации по текущей версии ПО репозитория.
6. Маршрутизатор сообщений. Перенаправляет запросы репозиториев к соответствующим менеджерам и подсистемам.
7. Сценарии пользовательского интерфейса. Предоставляют пользователю web-интерфейс для взаимодействия с реестром сред.

### РЕПОЗИТОРИЙ ЭИР

Репозиторий ЭИР представляет собой web-приложение, предоставляющее пользователю возможность создания метаописания ЭИР и его публикации, поиска в локальном и распределенном хранилище метаописаний. Компонентная структура репозитория ЭИР представлена на рисунке 3.

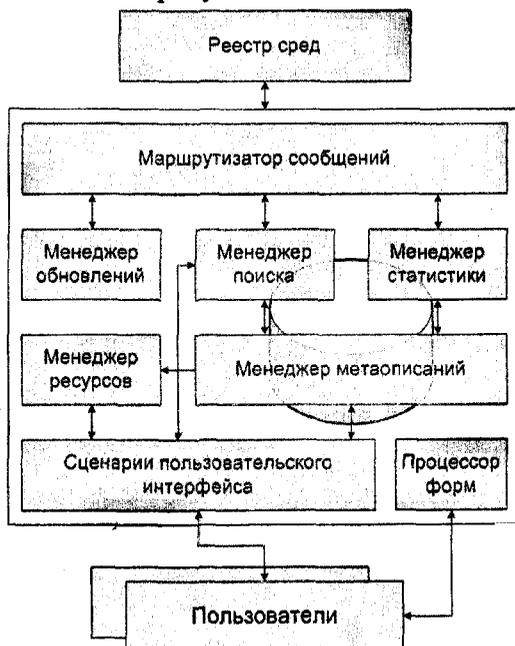


Рисунок 3 – Структура репозитория ЭИР

Репозиторий ЭИР выполняет следующие функции

1. Регистрация создателя метаданных ЭИР.
2. Поддержание групп создателей метаописаний ЭИР, принадлежащих к структурным единицам организации.
3. Поддержание профиля пользователя, отражающего уровень детализации метаописаний ЭИР.
4. Создание, редактирование, удаление метаописаний ЭИР.
5. Публикация ЭИР в рамках репозитория с возможностью открытого доступа к нему.
6. Навигация по хранилищу метаописаний ЭИР с возможностью задания группировки по различным атрибутам метаданных.
7. Многокритериальный поиск по распределенному хранилищу ЭИР.
8. Регистрация репозитория в реестре сред.

В состав репозитория ЭИР входят следующие компоненты:

1. База данных метаописаний ЭИР. Представляет собой хранилище XML-документов – метаописаний ЭИР. Содержит следующие информационные объекты:

- Тематический классификатор (копия тематического классификатора реестра сред).

- Каталог метаописаний ЭИР.

- Системный каталог.

2. Менеджер обновлений. Обеспечивает периодическую проверку появления новых версий ПО репозитория и тематического классификатора в реестре.

3. Менеджер поиска. При организации поиска по распределенному хранилищу в его функции входят: получение из реестра сред списка репозиторий, соответствующих тематике запроса пользователя; рассылку поисковых запросов по полученному множеству репозиторий; группировка результатов поиска по временному признаку. В режиме локального использования обеспечивает: поиск по локальному хранилищу метаданных ЭИР в соответствии с запросом пользователя, группировку метаданных по заданным критериям.

4. Менеджер статистики. Обеспечивает периодический сбор следующих статистических сведений: количество поисковых запросов к репозиторию за период времени, количественный состав документов в хранилище репозитория с учетом набора фиксированных критериев.

5. Менеджер ресурсов. Обеспечивает публикацию ЭИР пользователя в рамках домена репозитория с возможностью описания структуры модульного ресурса.

6. Менеджер метаописаний ЭИР. Обеспечивает управление метаописаниями ЭИР. Реализует операции чтения, сохранения и удаления документов в хранилище метаописаний репозитория.

7. Сценарии пользовательского интерфейса. Предоставляют пользователю web-интерфейс для взаимодействия с репозиторием.

8. Процессор форм. Предоставляет web-интерфейс с возможностью заполнения реквизитов формы метаописания ЭИР в соответствии с профилем пользователя. Реализует операции создания и изменения документа метаописания.

9. Маршрутизатор сообщений. Перенаправляет запросы компонентов репозитория к реестру сред и другим репозиториям.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ

Компоненты данной информационной системы взаимодействуют друг с другом посредством реализации механизма обмена сообщениями. Данный механизм включает в себя взаимодействие репозитория с реестром сред, а также с другими репозиториями. Сообщения представляют собой XML-документы определенного формата.

В системе определены следующие сообщения:

- Запрос на регистрацию репозитория в реестре сред.
- Запрос на удаление регистрационной информации о репозитории из реестра сред.
- Запрос на получение списка репозитория заданной тематики.
- Поисковый запрос к репозиториям на получение ссылок на метаописания ЭИР, которые соответствуют заданным критериям пользователя.
- Запрос на получение информации об актуальной версии ПО репозитория.
- Запрос на обновление тематического классификатора с целью его синхронизации с тематическим классификатором реестра сред.
- Запрос на обновление статистики репозитория к реестру сред.

## РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЕСТРА СРЕД

В настоящей версии программной реализации реестра сред поддерживаются такие наиболее часто используемые классификаторы, как ГРНТИ и УДК. Тем не менее, реестр сред не ограничен применением двух вышеперечисленных классификаторов. Возможно использование любого иерархического классификатора. Однако использование ГРНТИ представляется наиболее целесообразным, так как ГРНТИ, в отличие от УДК, содержит три уровня вложенности, что позволяет организовать несложный пользовательский интерфейс для построения запроса на поиск ЭИР.

Структура информационной модели базы данных реестра сред представлена на рисунках 4а и 4б.

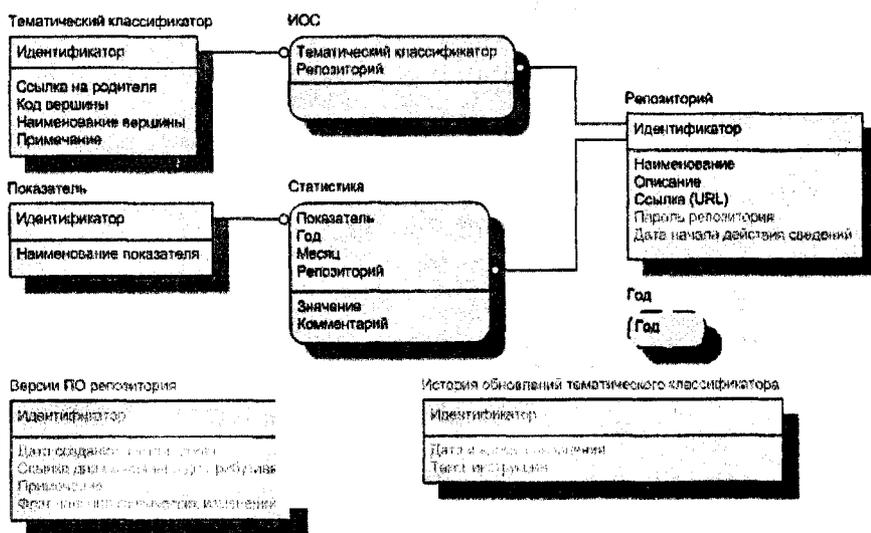


Рисунок 4а – Логическая модель базы данных реестра сред

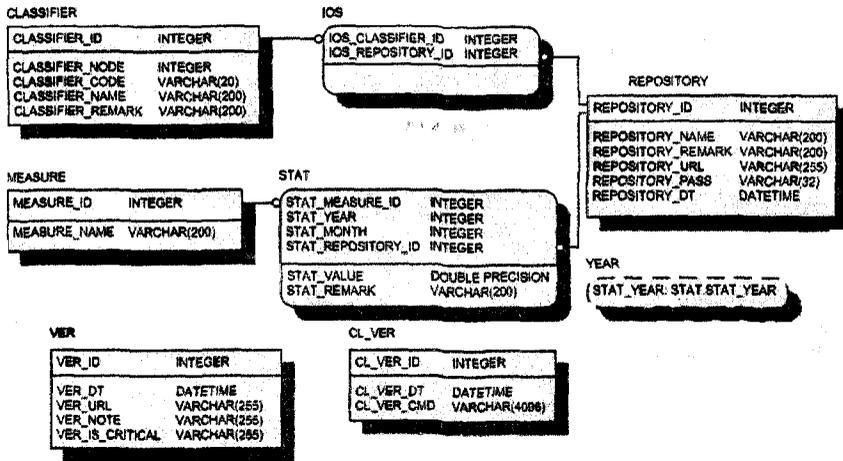


Рисунок 46 – Физическая модель базы данных реестра сред

### РЕАЛИЗАЦИЯ РЕПОЗИТОРИЯ ЭИР В СОСТАВЕ УЧАСТНИКОВ ВИРТУАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА

Так как метаописание ЭИР представляется в виде XML-документа, возникает проблема выбора механизма для хранения и обеспечения эффективного доступа к коллекциям документов. В настоящее время имеется ряд коммерческих и свободно распространяемых проектов и реализаций XML-хранилищ, ориентированных на спецификацию XML DB:API. Целью этой спецификации является разработка общего для всех стандарта API для доступа к XML базам данных. Этот API нейтрален по отношению к любому множеству баз данных и языковым средствам. Выбор СУБД с полной поддержкой данной спецификации таким образом гарантирует, что разработанные средства могут быть впоследствии легко перенесены на любые технологические платформы.

В соответствии со спецификацией XML DB:API XML-хранилище представляет собой набор коллекций документов, образующих иерархическую структуру. На рисунке 5 представлена структура коллекции репозитория.

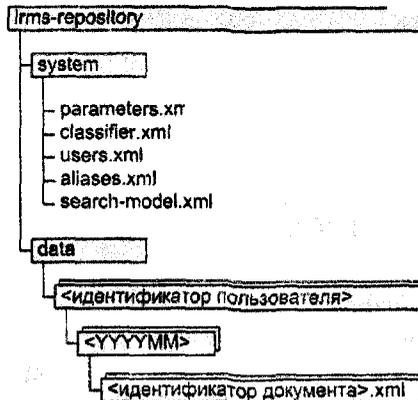


Рисунок 5 – Схема базы документов репозитория

Прототип информационной системы, разработанной на основе данного подхода, базируется на использовании свободно распространяемого ПО и может

функционировать на любой программно-аппаратной платформе. Система легко настраивается и конфигурируется, сразу предоставляет как сервисы для публикации информационного ресурса (книги, статьи, учебники, монографии, учебно-методическое обеспечение и т.д.), так и средства для создания библиографических XML-карточек, основанных на спецификации базовой информационной модели RUS-LOM [3].

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Башмаков А.И., Старых В.А. Принципы построения и описания профилей стандартов и спецификаций информационно-образовательных сред. Метаданные для информационно-образовательных ресурсов сферы образования. – Серия: Нормативно-техническое обеспечение информационных технологий в образовании. – Выпуск 1. – Научное издание. – М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «ИНФОРМИКА», «Европейский центр по качеству», 2009. – 376 с., ил.
2. Башмаков А.И., Старых В.А. Принципы и технологические основы создания открытых информационно-образовательных сред / ФГУ ГНИИ ИТТ «ИНФОРМИКА». – М.: «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2010. – 719 с. – ISBN 978-5-9963-0285-7.
3. Спецификация информационной модели [Электронный ресурс]. – URL: [http://spec.edu.ru/sights/spec.nsf/\(All\)/A397FD2AF61045BCC32572B40040A706](http://spec.edu.ru/sights/spec.nsf/(All)/A397FD2AF61045BCC32572B40040A706)

**Старых Владимир Александрович**

ФГУ ГНИИ ИТТ «ИНФОРМИКА», г. Москва

Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора

Тел.: (499) 155-87-28

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

УДК 004.738.5:316.624

Э.А. ФИНОГЕЕВА, Ю.Б. САВВА

## ДЕВИАНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ САМОРЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

*Охарактеризованы возможности Интернет-среды как сферы самореализации личности, приведена классификация форм девиантного поведения молодёжи в Интернете, рассмотрены факторы и условия его распространения в новом информационном пространстве.*

*Ключевые слова:* девиантное поведение; аддиктивное поведение в Интернете; киберпреступность.

*Opportunities the Internet-environment as spheres of self-realization of the person are characterized, classification of forms deviation behaviour of youth on the Internet is resulted factors and conditions of its distribution in new information space are considered*

*Keywords:* deviation behaviour; Internet Addiction; cybercrime.

### ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) обусловило переход к становлению информационного общества. В соответствии с принятой «Стратегией развития информационного общества в России» [1] к 2015 году наша страна должна войти в число мировых лидеров в области постиндустриального развития. Успешная реализация этой стратегии зависит от подготовки значительного числа высококвалифицированных специалистов различного профиля, обладающих должной компетентностью и в сфере информационных технологий.

Современные достижения электронных технологий приобретают все большую значимость в системе ценностей современной молодёжи. Особый интерес проявляет молодёжь к компьютерной сети Интернет, которая в значительной степени удовлетворяет ее весьма различные запросы.

Существенно расширяя возможности для молодёжи в её профессиональном, интеллектуальном и личностном развитии, современные ИКТ одновременно порождают и множество проблем в развитии и самореализации молодых людей, в том числе, новые формы отклоняющегося (девиантного, аддиктивного и делинквентного) поведения, характерные преимущественно для молодых пользователей сети Интернет.

### ИНТЕРНЕТ КАК ОСОБАЯ СРЕДА ОБРАЗОВАНИЯ, ОБЩЕНИЯ И САМОРЕАЛИЗАЦИИ МОЛОДЕЖИ

Возникнув в конце 60-х годов в США, сегодня Интернет прочно занял лидирующее положение среди средств массовой информации, давно стал многокультурной, многоязычной и многополюсной средой, превратился в грандиозное по масштабам сообщество людей, в особый мир со своими обитателями, законами, этикетом.

Интернет и средства мультимедиа воздействуют на многие сферы жизнедеятельности человека: на образование, профессиональную, творческую, досуговую деятельность, личную жизнь и др.

Среди практически безграничных возможностей этих электронных средств массовой коммуникации их огромный информационный потенциал. Глобальная сеть давно превратилась в источник информации широчайшего спектра. Вместе с тем, электронные средства коммуникации становятся все более массовыми и практически не контролируемые источниками влияния на человека. И приобретаемые через них молодежью знания могут быть весьма несистематизированными, довольно противоречивыми, часто усваиваемыми на довольно поверхностном уровне и просто малосодержательными.

Среди других привлекательных сторон Интернета:

– возможность апробации своих возможностей, самоактуализация в новых условиях информационной среды;

– новые способы и средства познания окружающего мира, в том числе, и искусственно созданной среды – виртуальной реальности (специфика и особенности восприятия, наблюдения, воображения, фантазии, ощущений, эмоций, синестезии чувств, разнообразия впечатлений, потребностей, других проявлений психической жизни человека и ее эволюции);

– новые виды активности, особенно интеллектуальной;

– новые аспекты миропонимания (перестройка сознания на созданную виртуальную реальность, ощущение его непривычных состояний: здорового азарта, свободы, раскрепощенности, творческого полета или же, наоборот, депрессии, творческого спада);

– широкий диапазон проявления творчества («изменение» действительности, моделирование, создание нового);

– создание, распространение литературных, музыкальных, художественных произведений, просмотр видео- и анимационных фильмов, клипов, концертов, новых изобразительных форм и нового киноязыка;

– возможность обсуждения совместных проектов, участия в проведении научных видеоконференций, семинаров, дискуссий, международных экспериментов и исследований (иногда труднореализуемых, а часто и опасных в реальной жизни);

– участие в интерактивных играх, многие из которых сделаны вполне профессионально и с большой фантазией;

– новые формы проведения досуга;

– интересные путешествия, посещение музеев мира, выставок, библиотек;

– новые виды общения, знакомств, объединения людей;

– персональная издательская среда, возможность иметь свои «интернетовские странички»;

– удобная и относительно дешевая реклама, услуги электронной торговли.

Эти возможности, в свою очередь, оказывают глубокое воздействие на традиционные формы обучения, всю сферу образования, где система Интернет и технология мультимедиа получают все более широкое применение.

Интернет – это уникальная информационно-образовательная среда.

Это – крупные учебные и научные центры, в том числе, международные виртуальные университеты, имеющие богатые фонды учебных программ, предлагающие интересные учебные курсы, располагающие целым арсеналом качественных электронных лекций, видеоуроков, других учебных материалов.

Это – уникальная возможность интеллектуального и межличностного общения с коллегами практически во всем мире, обмена мнениями, опытом, информацией,

ведения совместных научных исследований и опубликования их результатов, проведения региональных и международных олимпиад, конкурсов, конференций.

Это – блестящая возможность для самообразования и повышения квалификации, реализации принципиально новых форм и методов обучения, предлагающих свободный график, гибкий выбор дисциплин специализации, осмысленный выбор своего преподавателя и учебного заведения.

Необходимо отметить, что Интернет – не только важнейший элемент системы формального и неформального образования, но и необычная среда общения людей, осуществляемого как в процессе обучения, так и в других видах их деятельности (игровой, досуговой, развлекательной и др.). И этой своей стороной чрезвычайно привлекательна для молодежи, ведь потребность в общении у нее – важнейшая.

Анализируя особенности общения в данной сети, следует отметить, что круг общения посредством Интернета потенциально можно расширить до бесконечности (и количественно, и территориально), наладить контакты не только с реальными партнерами, но и виртуальными, взаимодействие с которыми в искусственной среде позволяет проявить молодым людям весьма необычные качества.

Особо следует отметить и такую форму досугового общения молодежи, как «Интернет-кафе», представляющую собой вариант клуба по интересам. Здесь люди с легкостью способны находить единомышленников в киберпространстве, какими бы экзотическими, странными ни были их интересы, и создавать на основе этого группы, «виртуальные сообщества», которым нет аналогов в реальной действительности.

Среди наиболее популярных в настоящее время форм общения молодежи в Интернете можно отметить такие, как общение в социальных сетях, на разнообразных форумах, а также посредством систем быстрого обмена сообщениями, в том числе, в аудио- и видеоформатах. Кроме того, в последнее время становится модным создавать собственные блоги или сайты, где каждый может совершенно свободно публиковать любые материалы и высказывать свою точку зрения, оставлять комментарии по поводу важнейших мировых или культурных событий (в том числе, к сожалению, скандального или провокационного характера).

Однако, какими бы ни были возможности новой среды образования и общения, сплошная «интернетизация» имеет и свои минусы, касающиеся как физического и психического здоровья человека, так и различных форм социально-отклоняющегося (девиантного) поведения в сети Интернет.

### **ДЕВИАЦИИ КАК НЕГАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ САМОУТВЕРЖДЕНИЯ МОЛОДЕЖИ В НОВОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Девиантное (отклоняющееся) поведение – это поведение индивида или группы, которое не соответствует общепринятым нормам, в результате чего эти нормы ими нарушаются [2]. Девиантное поведение в Интернете представляет собой осознанное либо неосознанное использование ИКТ для совершения различных воздействий в целях причинения экономического, морального или физического вреда организациям или частным лицам (не исключая самого себя).

К наиболее распространённым проявлениям девиантного поведения в Интернете относятся: игромания, Интернет-зависимость и киберпреступность. При этом, несмотря на то, что девиантное поведение проявляется в разных формах, все они взаимосвязаны.

Игромания, гемблинг (gambling) или лудомания проявляется как патологическая склонность к различным компьютерным, в том числе, азартным играм.

Интернет-зависимость (аддикция, нетаголизм) определяется в [3] как «навязчивое (компульсивное) желание выйти в Интернет, находясь off-line, и неспособность выйти из Интернета, будучи on-line».

Специалисты выделяют различные типы и формы такой зависимости: пристрастие к виртуальным знакомствам, зависимость от социальных применений Интернета, в том числе, от общения в социальных сетях, навязчивые web-серфинг и гэмблинг, киберсексуальную зависимость и др.

Людей, подверженных игромании и Интернет-зависимости, принято [4] делить на две группы:

– члены первой группы чувствуют себя в приподнятом настроении во время игры. Они любят играть группами в сети, получают позитивное подкрепление со стороны группы, когда становятся победителями и именно это является для них главным. Компьютер для них – средство получить социальное признание;

– члены второй группы используют компьютер для бегства в воображаемый мир от чего-либо в своей жизни, их привязанность к машине – симптом глубоких проблем (например, связанных с наличием физических недостатков, низким самоуважением, некоммуникабельностью, отсутствием нормального общения и др.), возникающий как на фоне личностных особенностей, так и детерминированных социальных факторов.

Для членов обеих групп характерны следующие особенности поведения:

– большое количество времени тратится на деятельность, связанную с нахождением в Интернете (поиск компьютерных программ, аудио- и видеофайлов, общение в чате и на различных форумах);

– целесообразная учебная, профессиональная и социальная деятельность, а также отдых прекращаются или редуцируются в связи с использованием Интернета;

– нахождение в Интернете продолжается, несмотря на знание об имеющихся периодических или постоянных, учебных, профессиональных, социальных, физических или психологических проблемах, которые вызываются длительной работой за компьютером (недосыпание, семейные проблемы, опоздания на занятия, назначенные встречи, пренебрежение профессиональными обязанностями).

Все это неизбежно приводит к ослаблению связи виртуально-зависимых с окружающим физическим миром по мере погружения в «интернетовский социум», к постепенному формированию стойкой психологической зависимости от компьютера, очень схожей с наркотической зависимостью. Такая зависимость нередко приводит к информационным перегрузкам, социальной и эмоциональной изоляции, к индивидуализму и отчуждению, психическим расстройствам. Особая опасность заключается в том, что компьютерная зависимость, по мнению специалистов, проявляется быстрее, чем любая другая традиционная зависимость (курение, наркомания, алкоголь) и в среднем для субъектов требуется не более полугода-года для становления компьютерным аддиктом.

У Интернет-зависимых людей проявляются скрытые формы других аддикций: сексуальная аддикция переходит в «киберсекс»; коммуникативные зависимости, такие, как псевдология, крусодерство (Менделевич В.Д., 2003), проявляются в «киберотношениях»; пристрастие к азартным играм находят свой выход в своеобразном Интернет-гэмблинге. На этом основании отдельные исследователи [5]

полагают, что феномен Интернет-аддикции представляет собой сборную групп разных поведенческих зависимостей (работогольную, общения, сексуальную, любовную, игровую и т.д.), где компьютер является лишь средством их реализации, а не объектом.

К основным формам киберпреступности (делинквентности, криминальности) относятся:

– хакерство и нарушение режима секретности, выражающиеся в неправомерном доступе в компьютерную сеть Интернет под чужими учетными именами и паролями; несанкционированном доступе к компьютерной информации для ее копирования, модификации, уничтожения или блокирования; хищении денежных средств и материальных ценностей путем неправомерного доступа к компьютерной информации; преодолении программно-технических средств защиты программ для ЭВМ с целью их копирования и использования контрафактных экземпляров; распространении вредоносных программ для ЭВМ;

– диффамация, т.е. анонимное распространение по компьютерным сетям ложной информации;

– кибертерроризм – нападения на компьютерные сети, выведение из строя правительственных коммуникаций, атаки сайтов официальных учреждений, связанных с государственной безопасностью; использование Интернета для военного, религиозного обучения и пропаганды, а также рекрутирования новых членов террористических организаций и обеспечения связи между террористическими группами;

– компьютерная педофилия. Масштабы этого бизнеса во всем мире измеряются миллиардами долларов. По данным Интерпола [6], мастера детского порно за съемки детей от 2 месяцев до 12 лет ежегодно выручают до \$3 млрд. Причем 60% продукции такого рода на мировой рынок попадает из России.

Таким образом, в международной сети есть свои «агрессоры», «преступники», «террористы», «экстремисты», «вандалы», «психопатологи», избирающие Интернет средством реализации своих деструктивных наклонностей и преступных замыслов, которые они не могут выразить в реальной жизни. Таких в сети довольно много, т.к. они редко несут ответственность за свои действия, которые осуществляются анонимно, а любой материал, удовлетворяющий их патологические наклонности, довольно доступен, и возможностей для реализации деструктивного поведения в сети предостаточно.

## **ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕВИАЦИЙ В НОВОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Среди факторов самого широкого плана, способствующих девиантному поведению молодёжи, в том числе, в Интернете, можно назвать:

– социально-экономические факторы, включающие ограничение социально приемлемых способов получения достойного заработка; безработицу (особенно в молодежной среде); инфляцию и социальную напряженность;

– морально-этические факторы, проявляющиеся в недостаточном морально-нравственном уровне современного общества, в том числе, молодежи, разрушении ценностей, в первую очередь, духовных;

– социально-педагогические факторы, выражающиеся в дефектах семейного и социального воспитания;

– неорганизованность досуга молодежи и др.

Одной из важных причин девиантного поведения молодёжи в Интернете является недостаточная востребованность обществом специальных знаний в сфере компьютерных технологий и, соответственно, невозможность некоторым из молодых людей самореализоваться каким-либо иным способом, кроме как совершая поступки, направленные против интересов большей части сетевого социума. При этом сами молодые люди в качестве мотивов отклоняющегося поведения выделяют следующие факторы, которые подвигли их на нарушения норм: стремление к признанию, самореализация через познавательные действия, создание оригинальной вирусной программы, эффектный хакерский поступок, действующий на Интернет-сообщество.

Среди факторов объективного и субъективного порядка, обуславливающие возникновение и развитие виртуальной аддикции, проявление других форм отклоняющегося поведения, нельзя не назвать: уровень распространения виртуальных аддиктов в обществе; моду; индивидуальный способ реагирования на воздействие различных веществ и факторов среды; предпочитаемый способ времяпрепровождения в компании; личностные особенности; отражение в психике психологических травм, полученных в различные периоды жизни.

В качестве обстоятельств, позволяющих отклоняться от индивидуальных нравственных норм в условиях киберпространства, можно отметить:

– ощущение «невидимости» и анонимности и, вследствие этого, ограничение обратной связи, с помощью которой можно оценить результаты действий;

– возможность молодежи организовать свою социальную жизнь вне зоны контроля со стороны родителей;

– широкое распространение видеофайлов и компьютерных программ, Интернет-ресурсов, фактически пропагандирующих психоактивные вещества, наркопотребление, другие виды девиантного и делинквентного, криминального поведения, порнографию, педофилию и другие нарушения.

Таким образом, девиантное поведение молодёжи в Интернете является отражением существующей действительности и предстает как адекватная реакция на ненормальные для неё условия, в которых оказались молодые люди, и в то же время как язык общения с социумом, когда другие социально приемлемые способы общения исчерпали себя или недоступны.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С ростом компьютеризации, расширением применения новых информационных технологий, несомненно, будут увеличиваться масштабы чрезмерного (патологического) использования Интернета, число Интернет-аддиктов, разновидности девиантного поведения в Сети, а, следовательно, возрастать острота и актуальность этой непростой моральной, психологической и социальной проблемы.

К сожалению, в настоящее время отсутствуют законодательно установленные нормы поведения пользователей в Интернете, что способствует проявлению девиантного поведения в нём молодёжи. А отсутствие границ для общения в Интернете способствует интернационализации действий одиночек, организованных и неформальных групп нарушителей этих норм. Поэтому главная задача общества заключается не столько в пресечении различных видов компьютерных аддикций и борьбе с наступившими их неблагоприятными последствиями, сколько в предупреждении и профилактике отклоняющегося (девиантного, зависимого, делинквентного) поведения молодёжи в Интернете, виктимологической превенции, а

значит, и в повышении адаптивных способностей, самооценки, стрессоустойчивости молодых людей, улучшении навыков конструктивного реального общения, предоставлении альтернатив виртуальным аддикциям. В известной мере этому должна способствовать и реализация документов «Федеральная целевая программа развития образования на 2006-2010 годы» [7], «Федеральная целевая программа «Электронная РОССИЯ (2002-2010 годы)» [8], одним из целевых ориентиров которых является развитие здоровой онлайн-культуры в молодежной среде для сохранения психического и социального здоровья молодежи, обеспечения ее социальной безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития информационного общества в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/90.html>
2. Асмолов А.Г. Психологическая модель Интернет-зависимости личности // Мир психологии. – 2004. – № 1. – С. 179-192.
3. Войскунский А.Е. Психологические исследования феномена Интернет-аддикции [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.psychology.ru/internet/ecology/04.htm>
4. Жичкина А. Социально-психологические аспекты общения в Интернете [Электронный ресурс]. – URL: <http://flogiston.ru/users/nastya/refinf#1>
5. Егоров А. Нехимические (поведенческие) аддикции (обзор) [Электронный ресурс]. – URL: <http://nodrugs.ru/library/narco-addict-books/68>
6. Бондаренко С.В. Виртуальные сетевые сообщества девиантного поведения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.hr-portal.ru/article/virtualnye-setevye-soobshchestva-deviantnogo-povedeniya>
7. Федеральная целевая программа развития образования на 2006-2010 годы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fcpro.ru/>
8. Федеральная целевая программа «Электронная Россия (2002-2010 годы)» [Электронный ресурс]. – URL: <http://minkomsvjaz.ru/ministry/documents/828/833/>

#### **Финогеева Эльвира Александровна**

Орловский государственный институт искусств и культуры, г. Орёл

Кандидат философских наук, доцент, зав. кафедрой социальной работы и психолого-педагогических наук

Тел.: (4862)41-60-48

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

#### **Савва Юрий Болеславович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: (4862)76-19-10

E-mail: [su\\_fio@mail.ru](mailto:su_fio@mail.ru)

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

УДК 658.5.012.1:004.9

Ж.Е. ЗИМНУХОВА, В.А. НЕМТИНОВ

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ<sup>2</sup>**

*На основе теории иерархических систем, информационно-логических и процедурных моделей принятия решения задач разработана технология поддержки принятия решений для автоматизированной системы технологической подготовки производства изделий из металлов, учитывающая специфику реализации технологических процессов на машиностроительном производстве. Описываются: структура информационной системы, ее основные функции и массивы данных, а также результаты опытной эксплуатации.*

*Ключевые слова:* жизненный цикл; технологический процесс; структура информационной системы; технология поддержки принятия решений; лицо, принимающее решение.

*On the basis of the theory of hierarchical systems, information-logical and procedural models of decision problems developed the technology of decision support for an automated system of technological preparation of manufacture of metal products takes into account the specifics of the implementation technological processes in machine building manufacture. Described: the structure of an information system, its basic functions and data sets, as well as the results of trial operation.*

*Keywords:* life cycle; technological process; structure of information system; technology of decision support; person taking the decision.

В настоящее время автоматизированные информационные системы (АИС) поддержки принятия решений, используемые для повышения эффективности труда конструктора и технолога на этапе технологической подготовки машиностроительного производства при конструировании и разработке технологического процесса (ТП) производства изделий из металла, имеют ряд недостатков, а именно:

1) одновременно не учитывается:

• представление комплекса задач технологической подготовки машиностроительного производства (автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения; автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для механообработки; автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки) в виде единого

<sup>2</sup>Работа выполнена в рамках государственного контракта № 02.740.11.0624 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

комплекса с использованием теории сложных систем и наличие единой информационной базы;

- комплексное оценивание (с экономических, экологических и технологических позиций, а также с учетом профессионального риска) конструкторских и технологических решений;

2) не обеспечивается:

- повышение интеллектуализации обработки информации в исследуемой области;

- значительное снижение сроков и затрат на технологическую подготовку производства (ТПП);

- резкое уменьшение количества ошибок проектировщиков и их устранение на ранних этапах создания изделий, обеспечение их технологичности;

- создание системы электронного документирования, значительное сокращение времени согласования принимаемых решений;

- повышение качества средств технологического оснащения.

Важно, что при разработке математического обеспечения для решения отдельных задач проектирования ТП производственных технических систем традиционные методы их оценки не учитывают особенности функционирования конкретных производств, а также социально-экономические последствия загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, влияние этих факторов не менее значительно, чем экономическая целесообразность, и неотделимо от этого влияния. Оценка воздействия вышеуказанных факторов должна учитываться на этапе технологической подготовки производства [1]. Это позволит усовершенствовать процесс принятия решений и выработать альтернативные варианты ТП производственных технических систем.

В основе технологии поддержки принятия решений для автоматизированной системы ТПП производства изделий из металлов лежат следующие принципы: при принятии конструкторско-технологических решений при разработке процессов производства машиностроительных изделий приоритет должен отдаваться технико-экономическими показателями, но с учетом экологической безопасности разрабатываемого процесса; конструкторско-технологические решения должны проходить комплексную оценку (экологическую, технологическую, экономическую) и поддерживаться АИС поддержки принятия решений.

При решении сложного комплекса задач технологической подготовки производства были использованы и адаптированы подходы теории иерархических систем (на всех этапах принятия конструкторско-технологических решений) и анализа альтернативных вариантов решений (при проектировании ТП).

С постановками и описанием информационно-логических и процедурных моделей принятия решения задач: автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения и автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки можно ознакомиться в [2].

Таким образом, совокупность принципов, подходов, информационных и процедурных моделей различных процессов ТПП и составляют технологию поддержки принятия решений для автоматизированной системы технологической подготовки экологически безопасного производства изделий из металлов,

учитывающую специфику реализации технологических процессов на машиностроительном производстве.

Далее рассмотрим вопрос разработки структуры программных модулей и сценария работы АИС при автоматизированном решении задач проектирования процессов производства изделий из металлов.

### **ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ**

Разрабатываемая система, представляющая собой совокупность технических, информационных и методических средств, должна обеспечивать: интерактивный режим организации вычислительного процесса; автоматизацию решения задач; контроль достоверности и полноты информации на этапах ее ввода, хранения и вывода; организацию вывода цифровой, текстовой и графической информации.

При разработке программных модулей системы за основу взят типовой набор технических средств ПЭВМ Pentium III.

При разработке программного обеспечения, необходимого для решения задач технологической подготовки машиностроительного производства, учтены особенности, характерные для данного класса задач. К ним относятся: использование средств диалога в связи со сложностью всех правил проектирования ТП и конструирования машиностроительных изделий, отсутствием количественных оценок, точно отражающих качество полученных решений, а также повышением качества управления ходом вычислительного процесса; наличие в математическом обеспечении различных алгоритмов, предназначенных для решения одной задачи, которые характеризуются различной эффективностью в зависимости от параметров задачи, и т.п.

В основу построения программного обеспечения системы были положены принципы структурного программирования: модульности и децентрализации управления. Согласно им, отдельные части программного обеспечения были выделены в виде блоков. Это позволяет повысить надежность всей системы в целом, упрощает ее дальнейшее совершенствование. Каждый блок реализует решение одной из задач.

При выполнении проекта с помощью АИС лицо, принимающее решение (ЛПР), может принимать в нем активное участие. Основные функции ЛПР при принятии проектных решений представлены на рисунке 1.

Программное обеспечение АИС включает в себя ряд подсистем, основными из которых являются:

- подсистема ввода исходных данных;
- подсистема поддержки принятия ответственных решений;
- подсистема проведения расчетов задач: автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения и автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки. Её основной функцией является реализация информационных и процедурных моделей принятия решений для проектирования экологически безопасных процессов производства изделий из металлов;
- подсистема принятия проектных решений;

- подсистема выпуска документации, выполняющая функцию генератора выходной документации в соответствии с утвержденными на нее требованиями. Вывод информации возможен на принтер, плоттер и экран дисплея;
- подсистема ведения архива, предназначенная для хранения и тиражирования результатов всех ранее выполненных расчетов;
- система управления базами данных Clipper, обеспечивающая загрузку и обработку БД, эффективный поиск и корректировку данных;
- система автоматизированного проектирования ACAD, предназначенная для построения эскизов конструируемых деталей, подлежащих изготовлению и термической обработке;
- банк атрибутивных и графических данных, содержащий всю справочную информацию, необходимую для повседневной работы конструктора и технолога; эскизы деталей, для которых получены маршрутно-технологические карты, а также результаты расчетов ТП, данных различных ведомостей: спецоснастки, расхода вспомогательных материалов и др.;
- подсистема редакции банка данных.

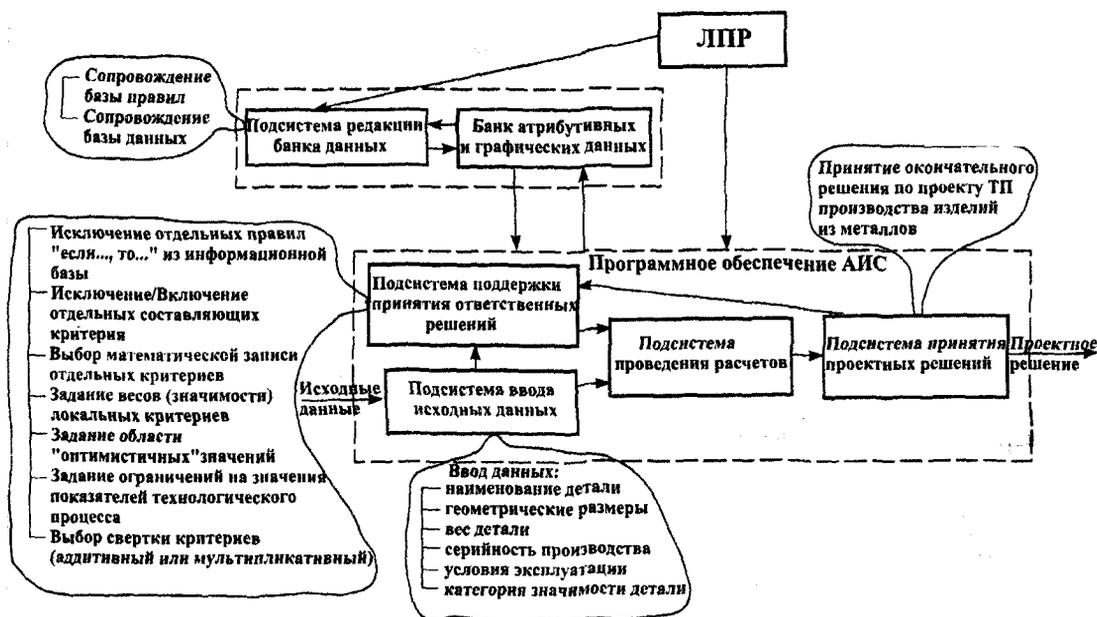


Рисунок 1 – Функции ЛПР при принятии проектных решений

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Все многообразие данных, необходимых для решения задач проектирования процессов производства изделий из металлов, объединено в банк атрибутивных и графических данных. Основу банка составляет информация различных каталогов. Для того, чтобы графические каталоги имели широкий спектр применимости, были свободны от произвольности, характерной для слабоформализованной технологической информации, а также сочетались с новыми методами

проектирования и производства изделий, они должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать быструю выборку информации в удобной форме и удовлетворять запросы широкого круга специалистов;
- не содержать противоречий как внутри одного каталога, так и между различными каталогами;
- согласовываться с положениями и процедурами конструкторского и технологического проектирования и обладать максимальной полнотой в соответствующей области;
- обеспечивать расширения и изменения содержания при неизменных принципах организации информации.

В информационной базе системы содержатся каталоги всех составляющих ТП: наименование операций; оборудование; приспособления; вспомогательные материалы; тексты переходов; режущие, измерительные и вспомогательные инструменты; заготовки; комплектующие для сборочных ТП. Любая информация в базе может быть изменена, добавлена или удалена.

Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения условно разбита на шесть групп: 1. Классификация деталей машиностроения; 2. Способ получения заготовки; 3. Стойкость материала; 4. Условия эксплуатации; 5. Марочник стали; 6. Данные о конструируемой детали.

Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки условно разбита на пять групп: 1. Технологический процесс; 2. Оборудование; 3. Приспособления и вспомогательные материалы; 4. Вредные выбросы; 5. Данные о конструируемой детали.

На рисунке 2 приведен фрагмент структуры базы данных (данные о конструируемой детали).

Данные о конструируемой детали

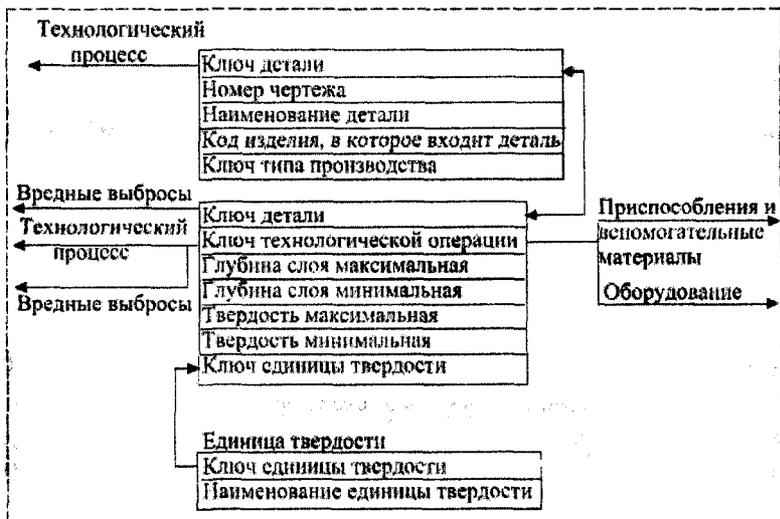


Рисунок 2 – Фрагмент структуры базы данных (данные о конструируемой детали)



(МР2-315, МПО1М-10, МПО2М-15Щ, МПО2-18) и др. на ЗАО «Завод Тамбовполимермаш», г. Тамбов.

Таким образом, опытная эксплуатация программного обеспечения системы, реализующей предложенную технологию, показала ее высокую эффективность.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Оценка эффективности инвестиционной политики на машиностроительном производстве / Немтинов В.А., Зимнухова Ж.Е., Немтинова Ю.В. // Проблемы машиностроения и автоматизации, 2003. – № 4. – С. 23–28.
2. Немтинов В.А., Зимнухова Ж.Е. О подходе к построению автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений для проектирования процессов производства изделий из металлов // Информационные технологии, 2008. – № 9. – С.29–34.

**Зимнухова Жанна Евгеньевна**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Тел.: (4752) 51-97-61

E-mail: zimnuhova@mail.ru

**Немтинов Владимир Алексеевич**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»

Тел.: (4752) 63-02-17

E-mail: nemtinov@mail.gaps.tstu.ru

И.С. КОНСТАНТИНОВ, О.Д. ИВАЩУК

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭКОМОНИТОРИНГА В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

*Рассмотрены принципы построения и функции системы экомониторинга в составе автоматизированной системы управления экологической безопасностью. Определены основные направления интеллектуализации работы системы экомониторинга, соответствующие требованию адаптивности АСУ к текущим изменениям внутренних и внешних параметров.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг; автоматизированная система управления экологической безопасностью; интеллектуализация.

*There are the making principles and the functions of the ecological monitoring system in content of the automated system of an ecological safety control. The basic directions of an intellectualization of the ecological monitoring system according to the adaptation demand of the automated control system to a current changes of the inner and outer parameters are observed.*

**Keywords:** ecological monitoring; automated control system for environmental safety; intellectualization.

Решение проблемы обеспечения требуемого состояния экологической безопасности на территориях, находящихся в зоне влияния объектов промышленности и транспортной системы, при сложившихся социально-экономических и климатических условиях, особенностях параметров инфраструктуры, неотъемлемо связано с научно обоснованным управлением взаимодействием рассматриваемых техногенных объектов с компонентами природной среды.

Оперативность и результативность планирования, проведения любых природоохранных мероприятий, а также контроля их результатов в существенной мере зависят от степени и качества информированности всех заинтересованных сторон (органов власти, научных работников, специалистов-экспертов, общественности). Наиболее эффективный способ предоставления надежной, адекватной экологической информации (ретроспективной, текущей и прогнозной) о состоянии окружающей среды, о тенденциях его изменения, о факторах негативного воздействия техногенных источников – это организация и проведение экологического мониторинга.

Значение англоязычного термина *monitoring* – контроль. Однако сегодня – в условиях требований устойчивого и безопасного развития экономики и территорий, при высоких возможностях техники и технологий – экологический мониторинг становится целым комплексом, включающим:

- инструментальные наблюдения;
- контроль состояния природной среды и параметров техногенных объектов, определяющих негативное воздействие на ее компоненты;
- анализ и установление причинно-следственных связей;
- оценка и пространственно-временное прогнозирование развития экологической ситуации, которые могут стать основанием для проведения

дополнительных экспериментальных исследований.

И в России, и за рубежом решение проблемы осуществления высокоэффективного экологического мониторинга идет по таким направлениям, как разработка и внедрение новейшей аппаратуры и метрологического обеспечения; развитие дистанционных методов контроля и наблюдения (в том числе, аэрокосмических); разработка методов и моделей с использованием современных методов математического моделирования и компьютерных технологий.

Система экологического мониторинга является важнейшей составляющей современной АСУ экологической безопасностью [1,2], следовательно, качество ее работы в значительной мере определяет результативность формируемых в АСУ управляющих воздействий. При этом данная АСУ наделена свойствами и функциями, которые обеспечивают управление экологической безопасностью, адаптивное к динамике параметров и инфраструктуры промышленных объектов, прилегающих территорий и внешней среды. Требованию адаптивности должна удовлетворять работа всех компонентов АСУ, в том числе, подсистемы экологического мониторинга.

В связи с вышесказанным крайне актуальной является проблема интеллектуализации системы экомониторинга в составе адаптивной АСУ экологической безопасностью.

Выделим следующие основные принципы построения системы экомониторинга рассматриваемого класса:

- принцип соответствия целей системы экомониторинга целям АСУ экологической безопасности, а также целям других подсистем АСУ;
- принцип универсальности модели системы экомониторинга (для организации ее функционирования и практического использования на любом уровне: региональном, муниципальном, районном, а также на локальных территориях конкретных объектов промышленности);
- принцип научной обоснованности, реализуемой в рамках экомониторинга программы исследований;
- принцип полноты и адекватности экологической информации, получаемой при функционировании системы;
- принцип оперативности получения экологической информации;
- принцип адаптивности и мобильности (для обеспечения оперативной реакции системы экомониторинга и АСУ экологической безопасностью в целом на текущие изменения как внутри системы, так и во внешней среде);
- принцип реалистичности проводимых оценок (прогнозов).

Таким образом, система экомониторинга в составе адаптивной АСУ экологической безопасностью должна обладать не только свойствами традиционных систем экомониторинга, связанных со сбором и предварительной обработкой экоинформации, но и принципиально новыми свойствами, позволяющими интеллектуализировать работу самой системы экомониторинга, а также АСУ в целом. Ожидаемыми результатами такой интеллектуализации являются:

- повышение объективности и результативности формируемых в АСУ решений в сфере обеспечения требуемого состояния экологической безопасности, промышленности и транспортной системы на рассматриваемой территории;
- существенное сокращение времени на выработку и реализацию управляющих воздействий.

Предлагается наделить систему экомониторинга в составе адаптивной АСУ

экологической безопасностью, удовлетворяющую вышеизложенным принципам, следующими основными функциями:

- автоматизированный сбор информации о показателях качества компонентов природной среды, на которые оказывает негативное влияние объекты промышленности на рассматриваемой территории;
- автоматизированный сбор информации о параметрах, характеризующих состояние стационарных и передвижных объектов промышленности и определяющих состояние экологической безопасности;
- автоматизированный сбор информации о параметрах внешнего воздействия, формирующих результирующую экологическую обстановку (как на территории промышленных объектов, так и на прилегающих территориях);
- автоматизированный сбор информации о параметрах внешнего воздействия на все подсистемы АСУ экологической безопасности;
- оценка (в том числе, интегральная оценка) текущего состояния экологической безопасности, сформированного в данный момент на рассматриваемой территории;
- предварительный прогноз развития экологической ситуации;
- обработка данных и передача их по каналам информационной связи в другие подсистемы АСУ.

Реализация данных функций позволит не только получить наиболее полную информацию о параметрах окружающей среды и промышленных объектов (как источников негативного техногенного воздействия). Формирование адекватной реалистичной оценки (в том числе, интегральной оценки) текущего состояния экологической безопасности и прогнозирование его развития – это основа создания альтернативных сценариев управляющих воздействий, выбора наиболее рациональных из них.

При построении и организации функционирования системы экомониторинга необходимо решить несколько параллельных задач: определить рациональную приборную комплектацию измерительной сети; ее наиболее рациональную пространственную структуру; обеспечить систему экомониторинга адекватными моделями оценки текущего состояния экологической безопасности на рассматриваемой территории и прогноза по его развитию. Для обеспечения интеллектуализации системы экомониторинга решение этих задач должно опираться на специально разработанный комплекс методов, методик, моделей и алгоритмов.

Измерительная сеть системы экомониторинга, реализующая функции автоматизированного сбора информации, должна включать:

- комплекс автоматизированных приборов для регистрации показателей качества компонентов природной среды (например, газоанализаторов, шумомеров; анализаторов загрязнения сточных вод и почв и т.п.);
- систему отбора и подготовки проб компонентов природной среды;
- систему регистрации параметров рассматриваемых на данной территории объектов промышленности и транспортной системы;
- метеостанцию;
- портативные приборы и датчики метеопараметров, автомобиль-носитель для работы передвижной лаборатории;
- аппаратуру автоматизированного сбора и передачи данных;
- системы энергопитания, охранной и пожарной сигнализации и т.п.

Для эффективного решения задачи поиска и выбора рационального приборного обеспечения в соответствии с динамикой параметров объекта управления АСУ и

внешней среды предлагается при создании и переоборудовании материально-технической базы использовать специально сформированный электронный банк правил. При его построении используется множество критериев *K*. Они определяются в соответствии с социально-экономическими особенностями (производственная специфика рассматриваемых промышленных объектов, особенности других отраслей народного хозяйства, действующих на данной территории, ее инфраструктуры, социальной сферы и др.) и природно-климатическими условиями рассматриваемой территории. К основным составляющим *K* относятся:

- виды и число характеристик, подлежащих контролю;
- необходимые диапазоны измерения величины;
- способность приборов работать в автоматическом режиме;
- технические требования (класс точности, наличие унифицированного выходного сигнала, интерфейсов для локального и удаленного доступа, возможности преобразования данных из формата приборов в форматы стандартных приложений и т.п.);
- наличие встроенного программного обеспечения;
- возможности автоматического формирования протоколов;
- необходимость использования расходимых материалов;
- срок службы и частота выхода из строя отдельных узлов прибора;
- цена;
- другое.

Для формирования банка правил предлагаются следующие подходы:

- построение системы логических правил вида «если»... «то»;
- осуществление кластеризации значений указанных критериев.

Далее строятся модели для проведения экспертных оценок, на основе которых и будет формироваться приборная база измерительной сети.

Для определения рациональной пространственной структуры измерительной сети также необходимо располагать специализированными моделями, позволяющими выявить территории экологически неблагоприятных зон (где показатели качества окружающей среды не соответствуют санитарно-гигиеническим нормам), которые сформированы под воздействием различных объектов промышленности и внешних параметров и не пропадают в течение определенного рассматриваемого периода времени при любых погодных условиях. Именно на подобных территориях рационально располагать станции контроля. При этом следует выделить участки, репрезентативные по уровню мощности оказываемого негативного техногенного влияния.

Оценка текущего состояния экологической безопасности на конкретной территории, находящейся в зоне влияния промышленности и транспортной системы непосредственно связана с определением изменений качественного состояния компонентов природной среды, происходящих при воздействии техногенных объектов с учетом параметров внешнего воздействия (влияющих на распространение и накопление загрязнений различного вида на рассматриваемой территории).

Процесс проведения оценки в системе экомониторинга – осуществление качественного и количественного сравнения фактической (сформированной на данный момент) экологической ситуации с моделями нормальной экологической ситуации для рассматриваемой территории. Таким образом, должен быть сформирован специализированный банк таких моделей (например, в качестве специально сформированных электронных карт) и обеспечена возможность его

динамического пополнения и переформирования.

Состояние компонентов природной среды на определенной территории количественно отражается совокупностью значений (на требуемый момент времени) показателей их качества, которые выбираются согласно особенностям территории и расположенных на ней конкретных объектов промышленности. При этом значения выбранных для проведения оценки показателей могут быть определены двумя способами. Во-первых, на основе измерений, осуществляемых измерительной сетью, во-вторых, с помощью теоретических расчетов по известным значениям параметров функционирующих на рассматриваемой территории объектов промышленности и параметров внешних воздействий. Во втором случае не проводятся натурные замеры.

Следует отметить, что реализация полного объема измерений часто является дорогостоящей. Кроме того, могут возникнуть ситуации, когда некоторые из них в силу ряда причин, провести просто невозможно. В этом случае наиболее удобным и эффективным является применение теоретических методов исследования: расчетных методик и специализированных математических моделей (с соответствующим программным обеспечением). Необходимая ретроспективная информация для построения математических моделей формируется при функционировании системы экомониторинга за предыдущий период необходимой продолжительности.

Результат оценки должен в автоматизированном режиме в удобном и наглядном для интерпретации виде передаваться в подсистему принятия решений АСУ (для последующей выработки конкретных управляющих воздействий). Следует отметить, что подобное предоставление экоинформации (особенно для органов управления, а также СМИ и широких масс населения) непосредственно связано с визуализацией данных. При этом наиболее оптимальным является использование геоинформационных технологий (ГИС-технологий) вследствие того, что результаты экомониторинга всегда имеют географическую привязку. Электронные карты для рассматриваемой территории, которые отображают определенную экологическую ситуацию (при конкретных параметрах внешнего воздействия, в том числе, фонового загрязнения), соответствующую соблюдению санитарно-гигиенических норм – это модели благоприятной экологической ситуации. Выделение на подобных картах областей, в которых наблюдаются отклонения показателей качества компонентов природной среды от экологических нормативов – это регистрация отклонений от требуемой нормы, зон экологически неблагоприятной ситуации на данный момент времени.

Для осуществления адекватной оценки состояния экологической безопасности и прогноза развития экологической ситуации в системе экомониторинга последняя должна иметь в своем распоряжении динамично формируемые модели (математические модели и электронные карты).

Описанные подходы реализации принципов построения и функций системы экомониторинга в составе адаптивной АСУ, их интеллектуализация обеспечат эффективную работу систем и, в конечном счете, – требуемый уровень экологической безопасности на рассматриваемой территории, на которой функционируют различные объекты промышленности и транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов И.С. Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса / И.С. Константинов,

- О.А. Ивашук // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. – № 8. – С. 44-49.
2. Ивашук О.А., Чудный Ю.П. Построение системы экомониторинга при организации автоматизированного управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса. // Информационные системы и технологии. – 2009. – № 2/52(563). – С. 61-68.

**Константинов Игорь Сергеевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные системы»  
Тел.: (4862) 40-96-14  
E-mail: konstantinov@ostu.ru

**Ивашук Орест Дмитриевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Аспирант кафедры «Информационные системы»  
E-mail: ivascuk@orel.ru

А.В. СЕТКИН, О.А. ИВАЩУК

**ПОДСИСТЕМА ИНТЕРНЕТ-ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВХОДЯЩИХ ЗАЯВОК В АСУП**

*Обосновывается актуальность разработки подсистемы интернет-представительства АСУП для обработки входящих заявок от внешних пользователей. Представляются результаты внедрения системы на примере научно-практической конференции.*

**Ключевые слова:** Интернет; Интранет; веб; АСУП; обработка заявок.

*Topicality of development enterprise Internet-representation subsystem for processing incoming issued is justified. Benefits of implementation such subsystem for scientific conference is presented.*

**Keywords:** internet; intranet; web; ERP; issues processing.

В конце XX века человечество пережило информационную революцию, связанную с развитием телекоммуникационных и информационных технологий, что привело к появлению глобальной сети Интернет. Наибольшее развитие получила глобальная сфера под названием WWW (World Wide Web, всемирная паутина, веб), которая стала объединением огромного количества документов, связанных друг с другом. Возникли новые представления о создании, передаче и потреблении информации. Интенсивно увеличивается обмен информацией в научных, производственных, коммерческих и других сферах жизнедеятельности человека [5].

Возможности Интернет-технологий для обмена информацией начали использоваться в информационных системах предприятий для создания их Интернет-представительств [4], позволяющих повысить эффективность и качество управления предприятием за счет увязки информационных потоков в единое пространство. Актуальность подобных исследований обуславливается ростом объемов управленческой информации в производстве, увеличением количества связей между элементами системы управления и их распределением (преимущественно географическим).

Объектом научного исследования авторов является автоматизированная система управления предприятием, а предметом – подсистема обработки заявок в Интернет-представительстве предприятия. Целью работы является повышение эффективности и качества работы АСУП при взаимодействии предприятия с партнерами, контрагентами и заказчиками; снижение затрат времени на обработку заявок.

Возникновению Интернет-представительств предшествовал долгий процесс развития автоматизации и управления производством. Разработчики первых АСУП отмечали, что «верхний уровень» систем не заканчивается конкретным предприятием, а связуется с отраслевым управлением. Несмотря на это, системы проектировались как локальные, т.е. не имели компонентов для обмена данными с удаленными системами или пользователями [2].

В ходе эксплуатации были выявлены и такие недостатки существующих систем, как слабая аппаратная и программная совместимость, трудности интеграции с другими системами. В начале 1980-х годов формируются принципы построения открытых информационных систем нового типа:

- переносимость – возможность смены аппаратной платформы без изменения программного обеспечения;
- расширяемость – возможность добавления новых функций без внесения изменений в остальные функциональные части;
- масштабируемость – возможность увеличения производительности системы путем наращивания аппаратных мощностей без изменения программного обеспечения;
- интероперабельность – способность к взаимодействию с другими открытыми системами;
- доступность – возможность пользователей использовать различные технические средства для получения доступа к системе.

С возникновением вычислительных сетей и распределенных СУБД появились системы, ориентированные на решение задач больших корпораций с территориально разнесенными субъектами и объектами управления. Появление персональных ЭВМ и развитие средств компьютерной графики позволило создавать «дружественные» пользовательские интерфейсы, что сделало информационные системы доступными большему числу сотрудников предприятий [1].

С публичным появлением всемирной паутины в 1991 году появляется новый способ решения задачи доступности АСУП – использование интернета как универсального транспорта и средства представления информации пользователю. Благодаря его основополагающему принципу обеспечения доступности предоставляемой информации на любой аппаратной или программной платформе пользователи могут взаимодействовать с системой с рабочих мест, из дома, с мобильных телефонов и т.д. (если имеется доступ к глобальной сети). Стандартная программа – браузер – позволяет пользователю работать с любым веб-приложением. Это достигается за счет использования стандартизированных протоколов и интерфейсов.

Для повышения качества работы современных АСУП очень важны следующие тенденции в развитии веб-технологий [4]:

- увеличение интенсивности использования Интернета при решении задач прогнозирования, планирования и управления;
- перемещение большого количества бизнес-процессов в виртуальную среду, что связано с развитием глобальной сети.

В 1995 году появляется понятие «Интранет» (внутренняя сеть) как вид корпоративной информационной системы, использующей те же стандартизированные программные, аппаратные и технологические решения, что и Интернет. Во внутреннюю сеть предприятия включаются как уровни АСУП, так и верхние уровни АСУ ТП (рис.1). С появлением встраиваемых веб-серверов и программируемых логических контроллеров с поддержкой веб-интерфейсов Интранет в значительной степени становится «Интравебом». Интранет может подключаться к Интернету посредством специальных шлюзов, обеспечивающих защиту данных в сети предприятия от угроз извне.

В АСУП использование веб-технологий получает широкое признание, большинство производителей программного и аппаратного обеспечения начинает их поддержку. Интранет предприятий получает выход в Интернет, который широко используется для предоставления разнообразных отчетов о работе предприятий (включая уровень технологических процессов). Особо востребованными веб-интерфейсы становятся в распределенных АСУП, объединяющих региональные

филиалы предприятий. Разработчики АСУ выдвигают идеи о технической возможности и необходимости реализации управления АСУП и АСУ ТП через Интернет.

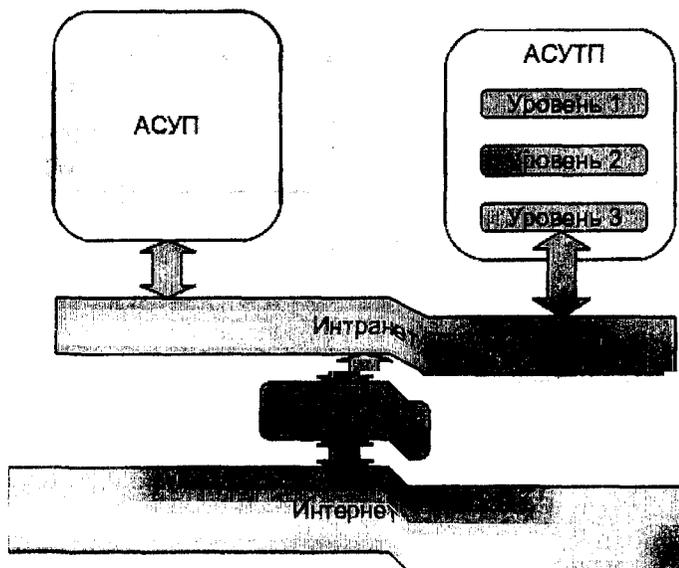


Рисунок 1 — Интернет-предприятия

Построение таких систем становится возможным с использованием многоуровневой модульной архитектуры с применением стандартов открытых систем. Многочисленные веб-интерфейсы различных компонентов АСУП объединяются в единую подсистему АСУП, получившую название Интернет-представительства.

Можно выделить следующие функции, реализация которых требуется в программных продуктах для предприятий на базе веб-технологий [3]:

- удаленное управление;
- создание и публикация отчетов;
- управление входящими заявками (заказами);
- планирование производства;
- управление материально-техническими запасами.

Для достижения поставленной авторами цели научного исследования были поставлены и решены следующие задачи:

- проведение анализа решений в области Интернет-представительств АСУП, ориентированных на обработку заявок внешних пользователей;
- исследование и создание модели подсистемы обработки заявок Интернет-представительства АСУП;
- разработка и исследование методик, а также структурных решений и управляющих алгоритмов, обеспечивающих прием, анализ, обработку и передачу заявок.

Результаты решения данных задач были использованы для разработки Интернет-представительства научно-практической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП) – 2010»<sup>3</sup>.

3 <http://itnop.ostu.ru>

За период приема заявок на участие в конференции ИТНОП 2010 с 1 февраля по 22 марта было принято 150 заявок от участников более чем из 40 городов России. 120 заявок были получены и обработаны за 10 последних дней приема заявок. В таблице 1 представлена сравнительная информация относительно конференции ИТНОП, проведенной в 2008 г <sup>4</sup>

Таблица 1 — Сравнение характеристик приема заявок на конференции ИТНОП-2008 и ИТНОП-2010 гг.

	ИТНОП-2008	ИТНОП-2010
Количество заявок	70	150
Количество участников	222	188
Среднее время обработки, час	96-144	52
Среднее кол-во действий на заявку	—	6,4

Статистическая информация о конференции ИТНОП-2008, проведенной без использования Интернет-представительства, доступна не в полном объеме, но известно, что среднее время обработки заявки составляло 4-6 дней (при том же количественном составе оргкомитета).

Таким образом, практическая реализация результатов проведенных исследований показала, что использование Интернет-представительства может повысить качество обслуживания заявок пользователей и уменьшить временные затраты на обработку заявок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баронов В.В. и др. Автоматизация управления предприятием.— М.: ИНФРА-М, 2000. — 239 с.
2. Владовский И.М. АСУ предприятием на базе ЕС ЭВМ.— М.: «Энергия», 1977. — 120 с., ил.
3. Мурашев А., Виноградов В. Развитие Интернет-технологий в современных информационных системах управления производством // Мир компьютерной автоматизации, 2000. — № 3.
4. Новиков С.В. Интернет-представительство как компонент автоматизированной системы управления предприятием / С.В. Новиков, А.В. Артемов, П.В. Дмитриенко // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии», 2008. — №1-3/269(544). — С. 191-195.
5. Попов В.М. Глобальный бизнес и информационные технологии / В.М. Попов, Р.А. Маршавин, С.И. Ляпунов. — М.: Финансы и статистика, 2001.

**Светкин Александр Васильевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 (920) 287-88-46

E-mail: alex@svetkin.ru

**Ивашук Ольга Александровна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории СПО

E-mail: ivascuk@orel.ru

4 <http://www.ostu.ru/science/confs/2008/itnop/>

УДК 004

М.Т. ПРАСОВ, Д.В. АГАРКОВ

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ В АСУ МИКРОКЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

*В статье рассматриваются способы соединения интеллектуальных датчиков с АСУ микроклимата в хранилищах сельскохозяйственной продукции.*

*Ключевые слова:* АСУ микроклимата; интеллектуальные датчики.

*The article presents possible ways of connecting intellectual sensors to an automatic system of microclimate control (ASM) in storehouses of agricultural production.*

*Keywords:* ASC microclimate; intellectual sensors.

Одной из актуальных задач получения достоверной информации от объектов управления является точное определение контролируемых параметров, таких, как температура, влажность и другие. Совершенствованию автоматизированных систем управления микроклиматом в различных хранилищах сельскохозяйственной продукции посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых.

В настоящее время в хранилищах сельскохозяйственной продукции размещают минимальное количество датчиков, а определение параметров микроклимата в каждой зоне осуществляют в одной точке. В этом случае при увеличении протяженности зоны хранения при незначительном градиенте температуры достоверность такого контроля заметно снижается.

Для повышения достоверности параметров контроля предлагается решать проблему регистрации пространственного распределения параметров методом увеличения контролируемых зон в среде хранения за счет установки дополнительных датчиков, с помощью которых можно определять пространственное распределение параметров микроклимата в различных точках хранилища, что позволит повысить точность и достоверность полученных данных о температурно-влажностном поле хранения сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время все более широкое применение в автоматизированных системах контроля температуры и других параметров находят интеллектуальные датчики.

Значения выходных параметров применяемых датчиков должны быть согласованы, оцифрованы аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) и переданы для дальнейшей обработки на микроконтроллер. Микроконтроллер после обработки полученной от объекта информации определяет значение температуры и выдает цифровое значение на центральный компьютер для принятия решения по контролю и управлению объектом.

Цифровая техника становится все более широко внедряемой при обработке данных с выходов датчиков в системах сбора, управления процессом и измерения.

Структурная схема интеллектуального датчика представлена на рисунке 1 [1].

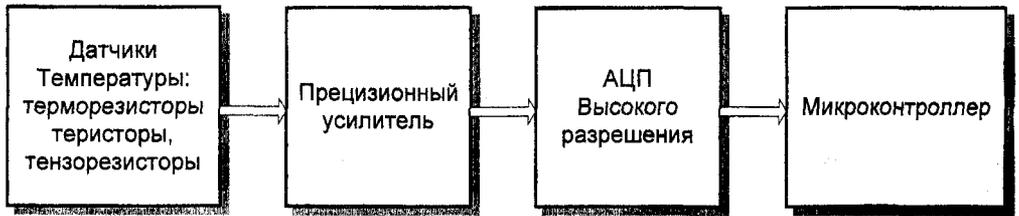


Рисунок 1 – Основные узлы интеллектуального датчика

Особое место в проектировании АСУ микроклиматом занимает вопрос сопряжения системы с интеллектуальными датчиками. В предлагаемой системе управления подключение датчиков должно производиться непосредственно к промышленной сети как показано на рисунке 2.

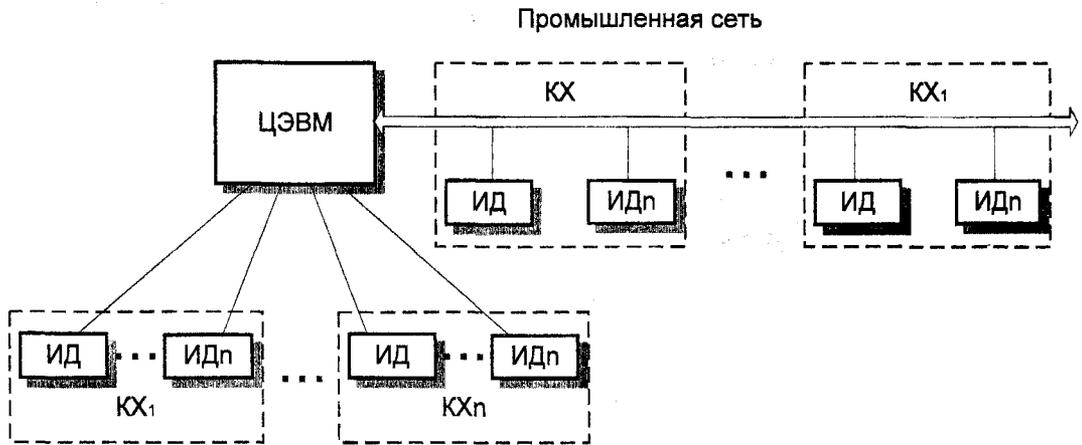


Рисунок 2 – Структурная схема подключения интеллектуальных датчиков с центральной ЭВМ, где ЦЭВМ – центральная ЭВМ; КХ – камера хранения; ИД – интеллектуальный датчик

Выбор среды связи существенно зависит от:

- длины линии связи;
- системы кабельной связи между АСУ и датчиками;
- конструкторских особенностей линий связи и датчиков.

Преобразование информационного сигнала в цифровую форму непосредственно в самом датчике позволяет объединить их выходы в общую шину и передавать данные по одним и тем же линиям связи. Организация такой топологии электрических соединений позволяет минимизировать суммарную длину линии связи, существенно уменьшить влияние помех на информационный сигнал за счет передачи его в цифровой форме, посредством аналого-цифрового преобразователя и блока управления.

В современных автоматизированных системах сбора информации с объектов можно выделить следующие основные способы связи между объектами контроля:

- проводная линия связи (радиальная, магистральная);
- беспроводная связь по радиоканалам;
- комбинированная связь.

Радиальная топология соединения с датчиками чаще всего применяется в аналоговых системах и некоторых цифровых. Это прежде всего связано с тем, что аналоговые системы не допускают их объединение и передачи по одной линии связи. Поэтому суммарная длина соединительных проводов при значительном удалении датчиков от системы получается громоздкой по сравнению с другими способами связи.

Кроме отмеченных топологий связи, в настоящее время применяются несколько стандартов беспроводной связи. Среди наиболее развивающихся можно выделить, например, Bluetooth и группу стандартов IEEE 802.11.

Использование такого способа в автоматизированных системах контроля и управления микроклиматом в условиях хранения сельскохозяйственной продукции затруднено, так как система находится на значительном удалении от датчиков контроля температурно-влажностных параметров и радиосигнал может быть экранирован различными ограждающими конструкциями, находящимися в хранилище.

При построении структуры аппаратных средств в настоящей статье рассматривается проводное соединение интеллектуальных датчиков в автоматизированной системе управления и контроля микроклимата в хранилищах сельскохозяйственной продукции.

Нами разработано и запатентовано устройство дистанционного контроля параметров микроклимата [2], использующее в своем составе интеллектуальные датчики с парными сенсорами температуры и влажности. Структурная схема такой системы представлена на рисунке 3.

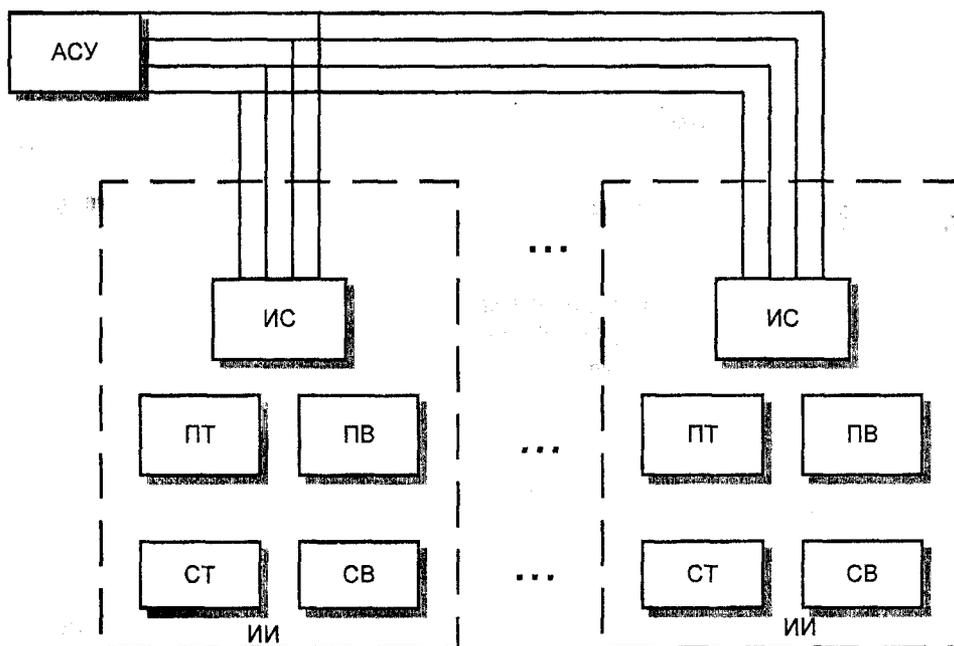


Рисунок 3 – Структурная схема автоматизированной системы управления с интеллектуальными датчиками, где ИИ – интеллектуальные датчики; ИС – индивидуальное сопряжение с датчиками; ПВ – преобразователи параметров сенсоров влажности; ПТ – преобразователи параметров сенсоров температуры; СВ – сенсоры влажности; СТ – сенсоры температуры

Для электрической связи с датчиками предлагается использовать четырехпроводную линию связи. Один из проводов – общий, на два других подается разнополярное питание, один из которых обеспечивает функционирование цифровой части, а другой – преобразователей информации, по четвертому проводу передается информация от датчиков к системе.

На рисунке 3 представлена структурная схема, которая предполагает вариантное подключение интеллектуальных датчиков в зависимости от конструкции хранилищ и среды контроля температурно-влажностных параметров.

В настоящее время в Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ) ведутся работы по развитию теоретических и практических вопросов проектирования и эксплуатации автоматизированных систем контроля и управления микроклиматом с использованием интеллектуальных датчиков в хранилищах сельскохозяйственной продукции.

Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) грант 09-07-97505.

### **ВЫВОДЫ**

Предложенная структурная схема пространственного распределения интеллектуальных датчиков в АСУ контроля микроклимата позволит повысить достоверность контролируемых параметров температуры в среде хранения.

При построении структуры технических средств предложено вариантное подключение датчиков в системе в зависимости от конструкции хранилищ и среды контроля температурно-влажностных параметров, что позволяет сократить расход проводов при конструировании кабельной системы связи.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ramon Pallas-Areny, John G. Webster, Sensors and Signal Conditioning John Wiley, New York, 1992.
2. Устройство дистанционного контроля параметров микроклимата. – Прасов М.Т., Анохин М.Н. – Патент RU 2208832 7GD 27/02.
3. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.

#### **Прасов Михаил Тихонович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8(4862)45-57-58, 78-42-30

#### **Агарков Дмитрий Владимирович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8-920-282-39-72

## ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 621.391.814.2

А.А. КИСЕЛЕВ, А.И. ВОЙЦЕХОВСКИЙ, В.В. ГУСЛЯКОВ

**РЕШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ  
ПРИСОЕДИНЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЕСЭ РОССИИ  
К БАЗОВОЙ СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

*Статья посвящена аспектам синхронизации цифрового оборудования. В ней рассмотрены вопросы формирования сети синхронизации и документального оформления присоединения к базовой сети синхронизации. Работа может быть полезна специалистам в области цифровых телекоммуникаций.*

*Ключевые слова:* сеть тактовой сетевой синхронизации; присоединение.

*This article is about synchronizing digital equipment. In article are considered questions of the syntheses to network to synchronizing, documentary registration of the joining to backbone network of the synchronizing. The article will be a useful specialist in the field of buildings digital telecommunications.*

*Keywords:* network to pulsing network synchronizing; joining.

**ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с Федеральным законом «О связи» единая сеть электросвязи Российской Федерации (далее – ЕСЭ России) включает в себя, наряду с другими сетями, сети связи специального назначения (СССН) [1]. Управление, развитие и эксплуатацию СССР ЕСЭ России осуществляют федеральные органы исполнительной власти, в ведении которых находятся такие сети связи (далее – спецпользователь) [2]. Однако в случае их присоединения к сети связи общего пользования (далее – ССОП) ЕСЭ России, отдельные вопросы, касающиеся порядка их взаимодействия, требований к построению, управлению, применяемым средствам связи и т.п., может определять федеральный орган исполнительной власти в области связи [1], т.е. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Присоединение СССР ЕСЭ России к ССОП ЕСЭ России осуществляется для получения выделенного телекоммуникационного ресурса. Под телекоммуникационными ресурсами понимаются технологические возможности сетей электросвязи, входящих в состав ЕСЭ России и используемых для оказания услуг связи [2]. К ним относятся ресурсы пропускной способности, ресурсы нумерации, сигналы синхронизации и т.п.

Под присоединением понимается установление технико-технологического взаимодействия средств связи двух сетей связи (а точнее, объектов СССР ЕСЭ России и ССОП ЕСЭ России), при котором становится возможным пропуск трафика между этими сетями, минуя другие сети связи [3].

Одной из подсистем, обеспечивающих требуемое качество функционирования цифровых телекоммуникационных сетей, является система тактовой сетевой синхронизации (далее – ТСС). Под системой ТСС понимается комплекс технических средств, обеспечивающих сигналами синхронизации все элементы цифровой сети связи [4].

Вопросы присоединения объектов СССН ЕСЭ России к объектам ССОП ЕСЭ России в части получения ресурса пропускной способности в достаточной степени решены. Вместе с тем, вопросы присоединения в части получения сигналов синхронизации требуют своего решения или уточнения.

В данной статье рассматриваются *организационные* вопросы присоединения. С ними тесно связано решение технических (технологических), экономических и иных вопросов, которые в настоящей статье не рассматриваются.

### ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ ТСС

В соответствии с [5] *базовой системой ТСС* ЕСЭ России является система ТСС ОАО «Ростелеком», на площадках которой смонтированы первичные эталонные генераторы (далее – ПЭГ), являющиеся принадлежностью первичной магистральной сети [6]. Таким образом, цифровая ССОП ЕСЭ России по синхронизации разделена на пять регионов, в каждом из которых установлен ПЭГ [7] и работа цифрового оборудования в пределах одного региона осуществляется в синхронном, а на всей сети – в псевдосинхронном режиме.

Объекты СССН ЕСЭ России могут использовать сигналы синхронизации, получаемые [8]:

*непосредственно* от базовой сети ТСС, т.е. от объектов сети связи ОАО «Ростелеком»;

*через сети других* операторов связи, получающих синхронизацию от базовой сети ТСС. При этом качество распределения синхросигналов на сети операторов связи при присоединении к базовой сети ТСС должно проверяться квалифицированным аудитором, имеющим соответствующую лицензию [4, 8];

*от операторов связи, имеющих собственные* первичные эталонные генераторы. При этом должны быть определены классы присоединения, соответствующие классам для базовой сети ТСС [8].

СССН ЕСЭ России, цифровая сеть которых охватывает несколько регионов синхронизации ЕСЭ России, могут получать синхронизацию от базовой сети ТСС как в одном из регионов, так и в каждом из этих регионов.

В первом случае сигнал синхронизации передается по всей сети оператора в соответствии с международными требованиями, а его сеть ТСС будет относиться к тому региону, от которого поступает сигнал синхронизации.

В случае, когда СССН ЕСЭ России получает сигнал синхронизации от двух или более регионов, то эта сеть может быть разделена, если это необходимо, на регионы по синхронизации, которые между собой будут работать в псевдосинхронном режиме.

При этом в СССН ЕСЭ России появляется возможность взаимного резервирования сигналов синхронизации путем использования синхросигналов от оборудования синхронизации соседних регионов.

В качестве *источников синхросигнала* могут быть определены [8]:

- первичный эталонный источник;
- первичный эталонный генератор;
- вторичный задающий генератор (далее – ВЗГ);
- местный задающий генератор (далее – МЗГ);
- аппаратура размножения сигналов синхронизации (далее – АРСС);

- оборудование систем передачи (далее – СП) синхронной цифровой иерархии (далее – СЦИ);
- блок сетевой синхронизации (далее – БСС) генератора коммутационных станций.

Требования к параметрам источников синхронизации и правила применения оборудования ТСС приведены в [9].

Сигналы синхронизации могут поступать от базовой сети ТСС в виде [8]:

- 2048 кГц (специальный);
- 2048 кбит/с (специальный);
- STM-N в СП СЦИ или первичного цифрового тракта (далее – ПЦТ) в СП плезियोхронной цифровой иерархии (далее – ПЦИ), несущего пользовательскую информацию.

Требования к параметрам сигналов синхронизации, а также методика проведения аудита системы ТСС на этапах ввода в эксплуатацию, присоединения к базовой сети ТСС и в период эксплуатации сети ТСС, приведены в [4, 9].

Оператор базовой сети ТСС несет ответственность за качество предоставляемых сигналов синхронизации, а спецпользователь – за качество синхронизации информационных трактов, передаваемых в ССОП ЕСЭ России, по параметрам дрожания и дрейфа фазы. При этом спецпользователь имеет право проверять параметры, характеризующие качество получаемых сигналов синхронизации, и выставлять претензии при их несоответствии установленным нормам [8].

Разработаны четыре класса присоединения к базовой сети ТСС, которые определяются качеством предоставляемого сигнала синхронизации, которое, в свою очередь, определяет допустимую структуру сети ТСС (количество последовательно включенных элементов сети, количество последовательно включенных ВЗГ, количество включенных элементов сети между двумя соседними ВЗГ и т. п.) присоединяемой СССН ЕСЭ России [8]. Основные параметры структуры сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России в зависимости от класса присоединения представлены на рисунке 1.

Первый класс присоединения определяется получением сигналов синхронизации непосредственно от ПЭГ. В зависимости от вида используемой соединительной линии, к объекту СССН ЕСЭ России может подаваться от ПЭГ синхросигнал 2048 кГц или 2048 кбит/с. При этом используются пассивные (для передачи специальных синхросигналов 2048 кГц или 2048 кбит/с) и активные (для передачи синхросигналов с использованием ПЦТ в СП СЦИ без преобразования его в СП ПЦИ) соединительные линии.

Наиболее целесообразно использовать сигналы синхронизации первого класса в тех случаях, когда СССН ЕСЭ России имеет протяженную и разветвленную цифровую первичную сеть или элементы этой сети находятся на объекте, где установлен ПЭГ.

Второй класс присоединения – сигналы синхронизации подаются с выходов ВЗГ, при этом, как и в случае присоединения по первому классу, в зависимости от вида используемой соединительной линии, к объекту СССН ЕСЭ России может подаваться синхросигнал 2048 кГц или 2048 кбит/с.

Третьему классу соответствует присоединение синхронизируемого оборудования объектов СССН ЕСЭ России к мультиплексорам СП СЦИ или АРСС.

Для передачи сигналов синхронизации в первичном цифровом тракте по СП СЦИ на выходе данного тракта должно происходить восстановление тактовой частоты при помощи преобразователя сигналов синхронизации, который может входить в состав мультиплексоров СП СЦИ или в оборудование синхронизации – ВЗГ, МЗГ, АРСС.

Четвертый класс обеспечивает присоединение непосредственно или через системы передачи ПЦИ ко входам ВЗГ, МЗГ или БСС цифровой коммутационной станции.

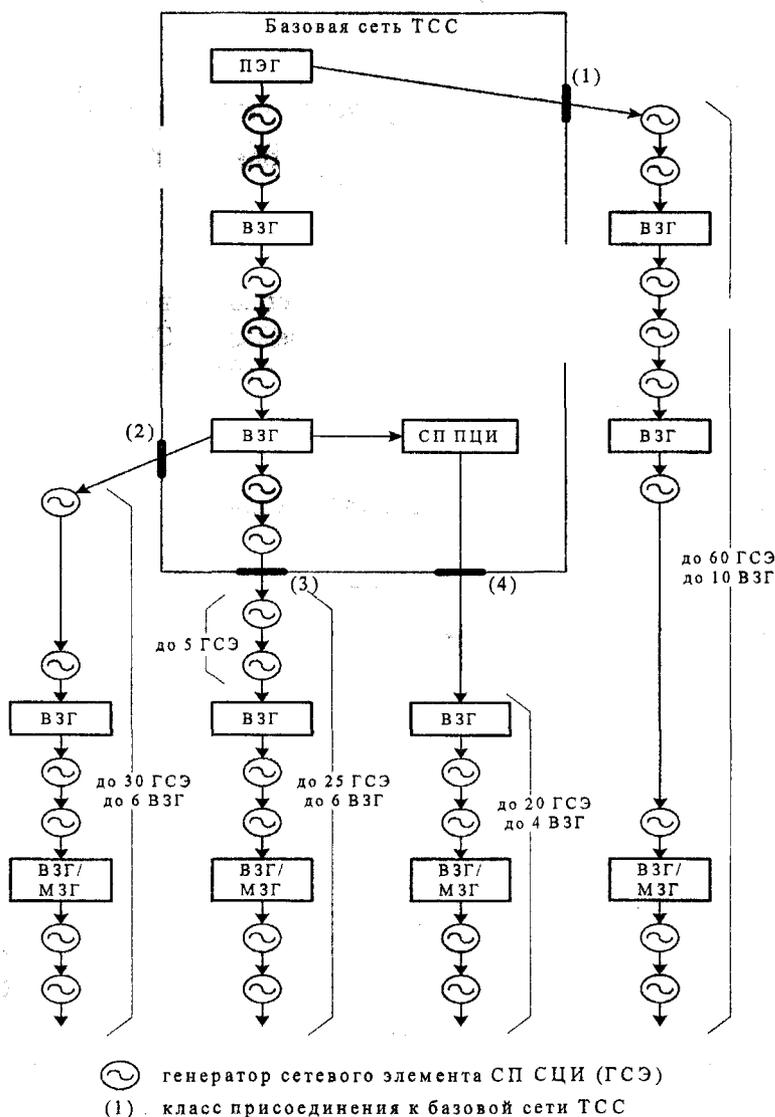


Рисунок 1 – Основные параметры структуры сети ТСС, присоединяемой СССН ЕСЭ России в зависимости от класса присоединения

Полученный сигнал синхронизации используется на СССН ЕСЭ России для синхронизации всей сети, ее фрагмента или цифрового оборудования отдельного объекта. В первых двух случаях присоединение может быть осуществлено в соответствии с любым из четырех классов присоединения (в зависимости от размеров

и топологии присоединяемой СССН ЕСЭ России), в последнем случае – в соответствии с третьим или четвертым классом (применение первого и второго класса присоединения в данном случае экономически не целесообразно).

Для распределения сигналов синхронизации между объектами СССН ЕСЭ России организуется система *межузловой* синхронизации, для синхронизации цифрового оборудования в пределах одного объекта – *внутриузловой* синхронизации [10].

Структура межузлового распределения должна представлять собой иерархическую древовидную структуру, где задающие генераторы более низкого уровня иерархии принимают сигналы синхронизации от задающих генераторов того же или более высокого уровня. Внутриузловое распределение синхросигналов рекомендуется строить по типу «звезды», при этом предполагается, что узел содержит один главный задающий генератор, от которого получают сигналы синхронизации другие задающие генераторы, находящиеся в пределах данного узла. В обоих случаях применяется *принудительный способ синхронизации* (в настоящее время на цифровых сетях связи *взаимный* способ синхронизации, как правило, не применяется).

Для повышения надежности и живучести сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России организуется получение основного и резервного (резервных) сигналов синхронизации, а также используется специальное оборудование синхронизации для восстановления и распределения синхросигналов (ВЗГ, АРСС, МЗГ и т. п.).

Таким образом, сформированная сеть ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России обеспечит надежную синхронизацию цифрового оборудования путем получения синхросигнала от базовой сети ТСС и распределения его между объектами, а также между цифровым оборудованием каждого из объектов. Варианты построения сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России представлены на рисунке 2.

## ДОКУМЕНТАЛЬНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Подготовка и использование ресурсов ЕСЭ России осуществляются на основании государственного контракта на выполнение работ и (или) оказание услуг связи в целях обеспечения функционирования СССН ЕСЭ России, заключаемого спецпользователем с оператором связи (далее – государственный контракт) [2, 8].

Государственный контракт при присоединении СССН ЕСЭ России к базовой сети ТСС должен содержать взаимные обязательства сторон, порядок контроля сигнала ТСС и обслуживания аппаратуры, права и обязанности сторон, порядок оплаты за выполненные работы и т. д. [2, 8].

*Технические условия присоединения* готовит и утверждает филиал ОАО «Ростелеком», предоставляющий синхросигнал, после согласования со спецпользователем.

Для отражения вопросов присоединения к базовой сети ТСС, распределения и использования получаемых сигналов синхронизации составляется *схема сети ТСС*, которая согласовывается с филиалом ОАО «Ростелеком», предоставляющим синхросигнал. На схеме сети ТСС отображаются элементы цифровой первичной сети СССН ЕСЭ России, трассы прохождения основного и резервного сигналов синхронизации, места размещения специального оборудования синхронизации, приоритеты использования сигналов синхронизации и т. п.

Для присоединения СССН ЕСЭ России к базовой сети ТСС подается заявка в адрес главного центра управления междугородными связями (далее – ГЦУМС) ОАО «Ростелеком» или в адрес филиала ОАО «Ростелеком», а непосредственно присоединение проводится на основании государственного контракта и в соответствии с техническими условиями. В заявке должны быть указаны технические требования к виду предоставляемого синхросигнала, в том числе и по надежности, а также приложена разработанная схема сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России.

После получения заявки ГЦУМС должен рассмотреть и принять решение по согласованию схемы сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России и также определить место и класс присоединения исходя из технических возможностей и с учетом требований спецпользователя.

На интерфейсы присоединения к базовой сети ТСС составляется *электрический паспорт*, составляемый на основании утвержденных технических условий присоединения. Электрический паспорт присоединения к базовой сети ТСС составляется эксплуатационным подразделением спецпользователя, осуществляющим эксплуатацию объекта СССН ЕСЭ России, непосредственно присоединяемого к базовой сети ТСС, совместно с предприятием, проводившим измерение качественных показателей синхросигнала и утверждается начальником (техническим директором) эксплуатационного подразделения спецпользователя. Электрический паспорт является *основанием для подачи синхросигнала* от сети ТСС ОАО «Ростелеком» [8].

Для составления электрического паспорта на присоединение к базовой сети ТСС необходимо провести *измерение качественных характеристик синхросигналов*, независимо от принадлежности соединительной линии (далее – СЛ), в точках [8]:

на выходе аппаратуры базовой сети ТСС (заносятся в паспорт источника сигнала);

на выходе СЛ (заносятся в паспорт источника сигнала или получателя синхросигнала в зависимости от принадлежности СЛ);

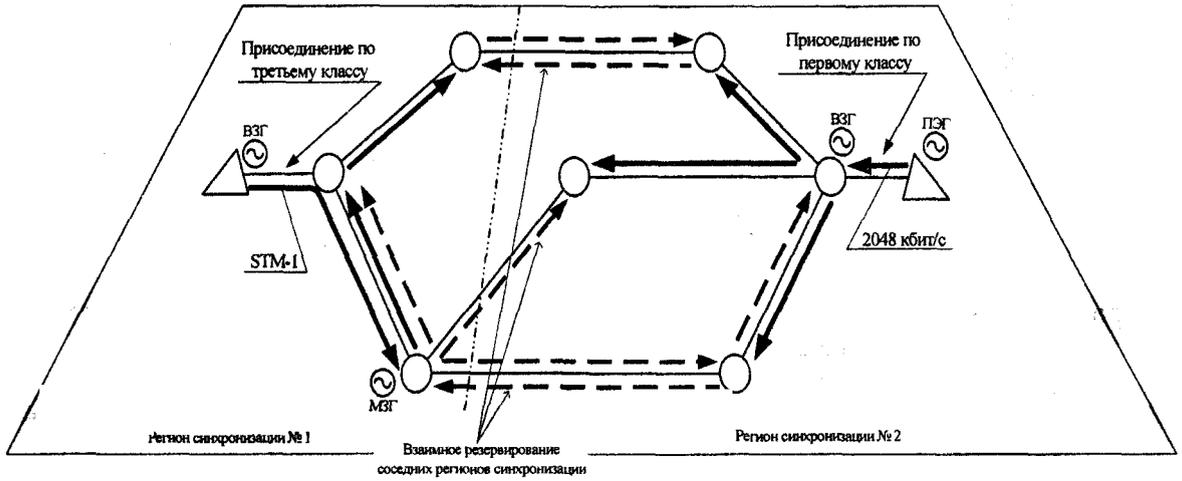
на выходе соответствующего оборудования объекта СССН ЕСЭ России, непосредственно присоединяемого к базовой сети ТСС (заносятся в паспорт получателя сигнала).

При передаче синхроиформации с помощью сигналов STM-N измерение параметров сигналов синхронизации должно проводиться на интерфейсах синхронизации соответствующих мультиплексоров СП СЦИ, а в системах СП ПЦИ на информационных интерфейсах ПЦТ или других интерфейсах, используемых для синхронизации [8].

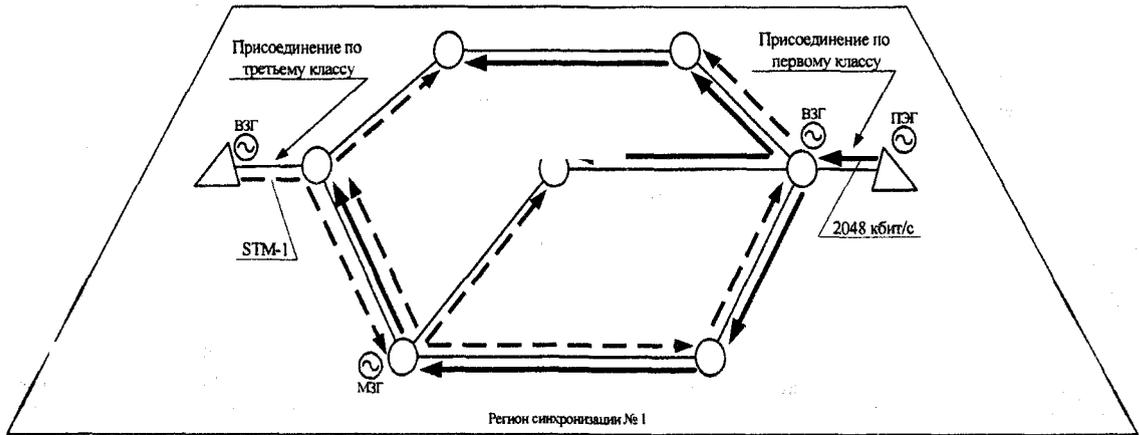
Методика проведения аудита системы ТСС на этапах присоединения к базовой сети ТСС и в период эксплуатации присоединяемой цифровой сети связи достаточно подробно изложена в [4]. Поскольку в сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России, как правило, имеется основной и резервный источники синхронизации, то должны проводиться испытания цепей прохождения синхросигнала как от основного источника синхронизации, так и от резервного. Переход на резервный источник синхросигнала должен проводиться путем отключения основного источника от проверяемой сети ТСС.

По результатам аудита выдается *заключение* о том, что сеть ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России спроектирована и построена в соответствии с требованиями ЕТС 300 462-2, описывающими правила построения и архитектуру

сетей ТСС, значения измеренных параметров сигналов синхронизации соответствуют нормам Рекомендаций МСЭ-Т G.823. Следовательно, сеть ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России обеспечивает надежную работу всего цифрового оборудования СССН ЕСЭ России и, соответственно, может взаимодействовать с ССОП ЕСЭ России. В случае обнаружения неисправностей выдаются рекомендации по их устранению и предложения по проведению повторного аудита.



а) вариант присоединения СССН ЕСЭ России, охватывающей два региона синхронизации с взаимным резервированием соседних регионов



б) вариант присоединения фрагмента СССН ЕСЭ России, находящегося в одном регионе синхронизации

Условные графические обозначения:

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | объекты базовой сети ТСС               |  | направление и трасса прохождения основного сигнала синхронизации  |
|  | объекты СССН ЕСЭ России                |  | направление и трасса прохождения резервного сигнала синхронизации |
|  | специальное оборудование синхронизации |   |   |

Рисунок 2 – Варианты построения сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России

Таким образом, перечисленные документы составляют основу правового взаимодействия при присоединении СССН ЕСЭ России к базовой сети ТСС и отражают вопросы получения, распределения и контроля синхросигналов, а также взаимные обязательства и действия сторон.

## ВЫВОДЫ

В процессе решения организационных вопросов присоединения СССН ЕСЭ России к базовой сети ТСС необходимо определить:

*оператора связи*, к объекту которого будет организовано присоединение для получения сигнала синхронизации;

*класс присоединения* в зависимости от масштаба и структуры присоединяемой СССН ЕСЭ России (сеть в целом, ее фрагмент или отдельный объект), а также от возможностей оператора связи, к объекту которого будет организовано присоединение для получения сигнала синхронизации;

определить *структуру* сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России, трассы прохождения основного и резервного (резервных) сигналов синхронизации и места размещения специального оборудования синхронизации.

После этого разрабатывается комплект *документов*, регламентирующих получение и использование сигналов синхронизации, а именно заявка на присоединение, государственный контракт и технические условия на присоединение к базовой сети ТСС. Данные документы согласуются с ГЦУМС ОАО «Ростелеком».

По результатам последующего *аудита* сети ТСС присоединяемой СССН ЕСЭ России на этапе ее присоединения к базовой сети ТСС составляется заключение и оформляются электрические паспорта на интерфейсы присоединения. При этом электрический паспорт является основанием для подачи синхросигнала от сети ТСС ОАО «Ростелеком».

В процессе эксплуатации сети ТСС СССН ЕСЭ России осуществляется периодический или внеплановый аудит для контроля качества сигналов синхронизации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Российская Федерация. Законы.** О связи: федер. закон [принят Государственной Думой 18 июня 2003 года].
2. **Правительство Российской Федерации. Постановления.** Об утверждении правил подготовки и использования ресурсов Единой сети электросвязи Российской Федерации в целях обеспечения функционирования сетей связи специального назначения [№ 103 от 22.02.2006 г.].
3. **Правительство Российской Федерации. Постановления.** Об утверждении Правил присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия [№ 161 от 28.03.2005 г.].
4. Руководящий документ РД 45.230-2001. Аудит системы тактовой сетевой синхронизации. Организационное обеспечение. Методика проведения: утвержден Минсвязи России 28.01.2002 г.
5. Решение ГКЭС России № 11 от 27.09.2000 «О состоянии работ по созданию системы тактовой сетевой синхронизации ОАО «Ростелеком» как базовой системы ТСС ВСС России».
6. **Госкомсвязи России. Приказы.** Об организации работ по построению тактовой сетевой синхронизации [№ 140 от 14.08.1998 г.].
7. РТМ «По построению ТСС на цифровой сети связи Российской Федерации», принято решением ГКЭС России от 01.11.1995 г.

8. Рекомендация отрасли Р 45.9-2001. Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации: утвержден Минсвязи России 05.11.2001 г.
9. **Мининформсвязи России. Приказы.** Об утверждении правил применения оборудования тактовой сетевой синхронизации [№ 161 от 07.12.2006 г.].
10. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, В-ISDN, ATM. – М.: Эко-Трендз, 2002.

**Киселев Алексей Алексеевич**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель  
Тел.: 8-906-661-11-04  
E-mail: kiseljovorl@yandex.ru

**Войцеховский Антон Игоревич**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Преподаватель  
Тел.: 8-906-664-31-17  
E-mail: a23207@rambler.ru

**Гусляков Виталий Васильевич**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Слушатель

П.В. КАЗАКОВ, А.А. ЛЕВКИНА

## СОВЕТУЮЩАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

*Рассматривается разработанная советующая система оптимизации выбора оборудования компьютерных сетей на начальных этапах их проектирования. Показана необходимость автоматизации данной области. Представлена структура советующей системы с описанием ее компонентов и их взаимодействия между собой. Приведены результаты тестирования советующей системы, проведена оценка эффективности рекомендаций советующей системы.*

*Ключевые слова:* советующая система; база знаний; принятие решений в условиях неопределенности; сети Байеса; компьютерные сети; физические среды передачи данных; топологии сетей.

*The developed advising system of optimisation of a choice equipment of computer networks at the initial stages of their designing is considered. Necessity of automation of this area is shown. The structure of advising system with the description of its components and their interactions among themselves is presented. Results of testing of advising system are produced, the evaluation of efficiency of recommendations of advising system is made.*

*Keywords:* advising systems; knowledge bases; decision-making under uncertainty; Bayesian belief networks; networks; physical transmitted-data medias; network topologies.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большую актуальность приобретает использование советующих систем [1] для решения объемных, трудноформализуемых задач в различных предметных областях. Эти задачи характеризуются сложностью при формализации и систематизации из-за неопределенности в исходной информации и конечных целях. Данные особенности приводят к необходимости использования в процессе решения таких задач знаний, полученных от человека-эксперта в определенной предметной области, и разработки советующих систем, позволяющих автоматизировать процесс управления такими знаниями.

Одной из важных задач, где приходится сталкиваться с неопределенностью в исходных данных и процессе поиска решения, является автоматизация начальных этапов проектирования локальных вычислительных сетей (ЛВС) [2, 3].

### ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛВС

Попытка представления знаний в такой предметной области, как проектирование ЛВС, связана с рядом сложностей, основными причинами которых являются следующие:

- отсутствие полных теоретических знаний о необходимых методах доступа к сетевым каналам, физической среде передачи данных, топологии, технических характеристик оборудования и т.д.;

- экономия усилий – для формирования полного перечня причин, влияющих на выбор топологии и технических характеристик оборудования, требуется слишком много времени и сил;

• отсутствие практических навыков в проектировании компьютерной сети – в случае, когда не выявлены все необходимые причины, влияющие на принятие решения, может оставаться неопределенность в отношении результата конкретной поставленной задачи.

Проектирование ЛВС ведется на основе единых концептуальных положений, основу которых составляет использование общих принципов построения сетей. Любая компьютерная сеть характеризуется топологией, которая отражает структуру связей между основными функциональными элементами сети и имеет особенности, которые нужно учитывать при проектировании сети, от выбора определенного вида топологии зависит физическая и логическая структура будущей компьютерной сети. Для построения локальных связей между компьютерами используются различные виды кабельных систем, сетевые адаптеры, концентраторы-повторители, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы [2, 3]. При выборе оборудования возникают трудности с постоянно развивающимися технологиями, связанными с выпуском новых моделей аппаратуры.

Проблема неопределенности в такой информации может быть решена при использовании советующей системы на основе сетей Байеса, которая позволит решать подобные задачи в данной предметной области. Байесовская сеть представляет собой направленный ациклический граф, включающий в себя переменные и причинно-следственные связи между ними [4, 5]. В сетях Байеса могут сочетаться как теоретические представления о вероятностях тех или иных следствий из априорной информации, так и субъективные, основанные на опыте индивида, значения переменных. Это является важным практическим преимуществом и отличает байесовские сети от других методов информационного моделирования.

Конструирование сети Байеса и выполнение вычислений в ней может производиться как вручную, так и автоматизировано. Второй вариант является более эффективным и удобным для пользователя и реализуется с помощью специальных программ. В рамках данной работы применялась система Netica фирмы Norsys [4<sup>1</sup>]

## СТРУКТУРА СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Каждая система имеет структуру, которая отражает основные компоненты системы и их взаимосвязь. Советующая система представляет собой сложный программный комплекс, помогающий на основе знаний, ранее полученных от эксперта, принять решение менее квалифицированному пользователю. Ниже приведена структурная схема разработанной советующей системы (рис. 1) с последующим описанием всех компонентов.

Разработанная советующая система состоит из двух модулей, каждый из которых отвечает за автоматизацию принятия решения на одном из двух этапов, выявленных в результате изучения данной предметной области, на которых пользователь наиболее часто сталкивается с нехваткой знаний и неопределенностью – это этапы выбора топологии и технических характеристик оборудования.

Каждый из модулей содержит собственную базу знаний (БЗ), независимую от БЗ другого модуля, построенную на основе сетей Байеса и представляющую собой набор определенных правил типа «Если, то», задающих весовые коэффициенты между вершинами графа. В БЗ хранятся данные о количестве автоматизированных рабочих станций (АРМ), физической среде передачи данных, пропускной способности, методах доступа к сети, физической спецификации и т.д. На основе БЗ, знания в которую заложены экспертом, каждый из модулей советующей системы

выводит рекомендации, помогая пользователю принять решение для достижения поставленной цели.

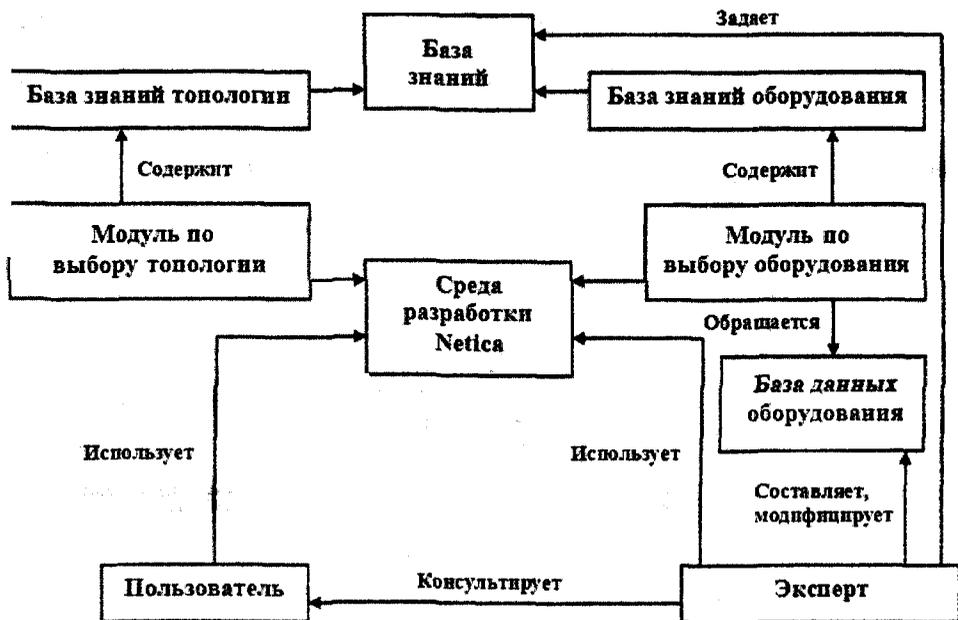


Рисунок 1 – Структурная схема советующей системы

Ниже приведена часть заданных условных вероятностей между состояниями альтернатив, входящая в БЗ модуля поддержки принятия решения на этапе выбора технических характеристик оборудования для узла «Физическая спецификация», зависящего от узлов «Физическая среда передачи данных» и «Методы доступа к сетевым каналам», в виде продукционных правил, которые определяются экспертом:

Если метод доступа к сетевым каналам Fast Ethernet и физическая среда передачи данных коаксиальный кабель, то такое условие невозможно;

Если метод доступа к сетевым каналам Fast Ethernet и физическая среда передачи данных витая пара, то  $P(100 \text{ Base TX})=50\%$ ,  $P(100 \text{ Base T4})=50\%$ ;

Если метод доступа к сетевым каналам Fast Ethernet и физическая среда передачи данных оптоволоконный кабель, то  $P(100 \text{ Base FX})= 100\%$ ;

Если метод доступа к сетевым каналам Fast Ethernet и физическая среда передачи данных радиосигналы, то такое условие невозможно.

База данных (БД) оборудования связана с БЗ оборудования, она хранит данные об оборудовании и на основании тех технических характеристик, которые выдает советующая система, позволяет выбрать подходящее аппаратное обеспечение. Взаимодействие пользователя с советующей системой осуществляется посредством программной среды Netica, которая используется объектом «Эксперт» для наполнения БЗ в режиме ввода знаний в советующую систему и объектом «Пользователь» для использования советующей системы, обеспечивая тем самым режим консультации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

После разработки советующей системы оптимизации выбора оборудования компьютерных сетей, наполнения БЗ, установления причинно-следственных связей

между объектами советующей системы и их вероятностной оценки, можно перейти к ее использованию.

На первоначальном этапе определяется используемая физическая среда передачи данных, выбранная экспертом, исходя из цели и задач проектируемой ЛВС. Далее пользователь дополняет советующую систему информацией о количестве АРМ, задаваемом в соответствии с уже имеющимся в наличии или планируемым для приобретения количеством АРМ, а также осуществляет выбор необходимой для нормального функционирования сети пропускной способности сети. Рекомендации советующей системы после внесения дополнительных данных представлены на рисунке 2.

Из представленной на рисунке информации видно, что в соответствии с заданными данными: физическая среда передачи данных – витая пара, количество АРМ – от 50 до 100, пропускная способность сети – 100 Мб/с, советующая система выдает большую рекомендацию в пользу метода доступа к сетевым каналам Fast Ethernet и топологии звезда. Gigabit Ethernet располагается на втором месте, что объясняется тем, что Gigabit Ethernet, поддерживая скорость передачи данных равную 1 Гбит/с, может обеспечить передачу данных и на более низких скоростях. Возможность использования Token Ring и ArcNet сводится к нулю, в связи с тем, что данные методы доступа не могут обеспечить указанную пропускную способность, возможность применения Radio Ethernet равна 0. Также видно, что при таком количестве АРМ полностью исключается возможность создания одноранговой сети.

Исходя из рекомендаций советующей системы, можно сделать вывод, что для физической среды передачи данных – витой пары, осуществляющей передачу данных со скоростью 100 Мбит/с и количеством АРМ равным от 50 до 100 – наиболее рационально использовать топологию «Звезда» или ее производные.

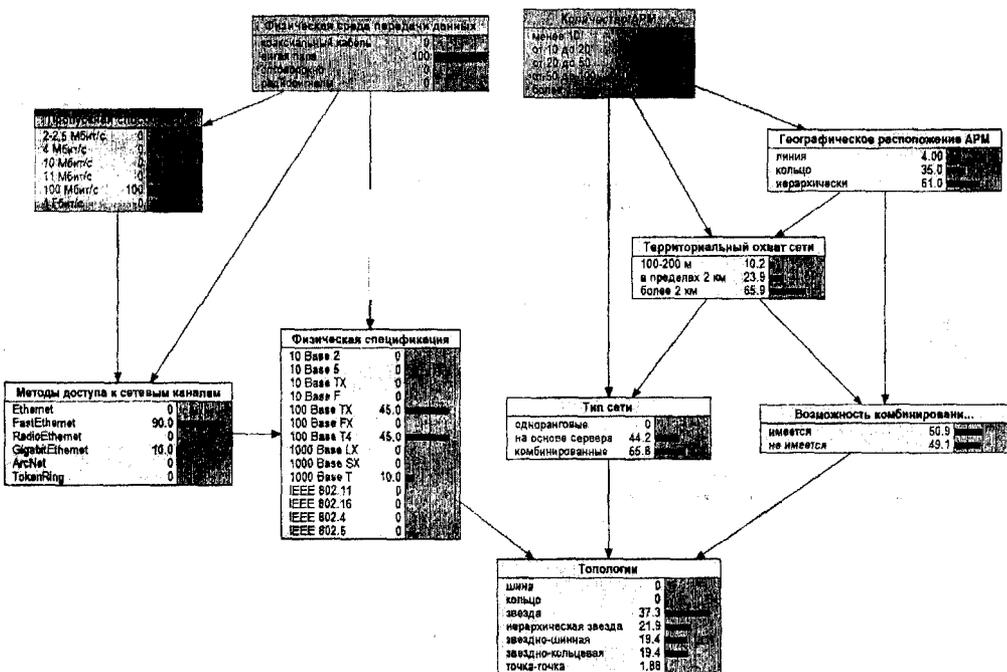


Рисунок 2 – Сеть Баисеса и результат работы советующей системы при выборе топологии ЛВС

Связь между модулями осуществляется внесением в один из них результатов, полученных ранее с помощью другого модуля и необходимых для вычисления определенных характеристик.

При задании некоторых уже известных характеристик, таких, как физическая среда передачи данных, пропускная способность, метод доступа к сетевым каналам, количество АРМ и топология, советующая система пересчитывает вероятности и предлагает пользователю рекомендации, представленные на рисунке 3.

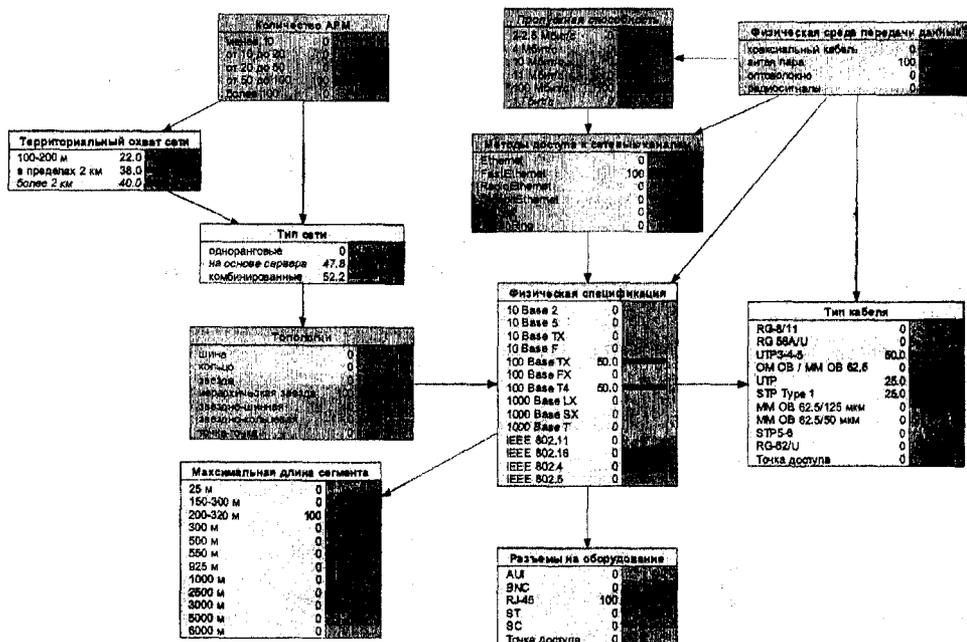


Рисунок 3 – Сеть Байеса и результат работы советующей системы при выборе технических характеристик оборудования

Посмотрев на рекомендации, предложенные советующей системой, можно сделать следующие выводы: при выборе в качестве физической среды передачи данных витой пары, осуществляющей передачу данных со скоростью 100 Мбит/с, что соответствует методу доступа к сетевым каналам Fast Ethernet, а также при количестве АРМ равным от 50 до 100, используя в качестве соединения всех АРМ топологию «Иерархическая звезда», следует выбирать оборудование с разъемом RJ-45. Для более точного определения типа кабеля необходимо сделать выбор из двух спецификаций: 100 Base TX и 100 Base T4.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения качества проектирования ЛВС была разработана советующая система, позволяющая по набору вводимых пользователем предпочтений относительно технических свойств ЛВС, сформировать рекомендации по выбору ее топологии и технических характеристик оборудования. Было проведено тестирование разработанной советующей системы в случае большого количества автоматизированных рабочих мест как с известной средой передачи данных, так и в случае проектирования ЛВС с известной топологией, разъемом оборудования и типом используемого кабеля. Анализ полученных советующей системой результатов позволяет выбрать оптимальный состав технического оборудования ЛВС с минимальным привлечением знаний эксперта.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Питер, 2002. – 672 с.
3. Дж. Уолрэнд. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс. – Москва: Постмаркет, 2001. – 480 с.
4. Казаков П.В., Шкаберин В.А. Основы искусственного интеллекта: учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 2007. – 196 с.
5. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход / И.А. Попова. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
6. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.

**Казаков Павел Валерьевич**

Брянский государственный технический университет, г. Брянск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы»  
Тел.: +7(4832)58-82-06  
E-mail: pvk\_mail@list.ru

**Левкина Анастасия Александровна**

Брянский государственный технический университет, г. Брянск  
Магистр специальности «Информационные системы»  
Тел.: +7 (4832) 94-17-80  
E-mail: anastasiak@rambler.ru

УДК: 004

Н.И. КОРСУНОВ, А.И. ТИТОВ

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ С WEB-СЕРВЕРА

*В статье рассмотрена проблема защиты информации в Web-приложениях. Предложены методы, предотвращающие утечку стратегической информации с серверов даже при получении злоумышленником доступа к файлам. Рассмотрены алгоритмы шифрования, методы взлома и атак.*

*Ключевые слова: криптография; стойкость криптографическая; итеративный алгоритм шифрования; метод протяжки вероятного слова; шифр Виженера; блочное шифрование.*

*In article the problem of protection of the information in Web-appendices is considered. Methods preventing leak of the strategic information from servers, even are offered at reception by the malefactor of access to files. Algorithms of enciphering, methods of breaking and attacks are considered.*

*Keywords: cryptography; cryptographic security; iterative encryption algorithm; moving probable word cryptanalysis; the code number of Vzhenera; block enciphering.*

### ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения кроссплатформенности своих продуктов многие компании разработчиков уже перешли на написание полноценных Web-приложений. Этот шаг значительно упрощает работу клиентов, так как есть доступ к программному средству из любой точки мира, но ставит под угрозу конфиденциальность самого программного комплекса. Если раньше, когда приложение было установлено на персональном компьютере клиента, добраться до программы можно было, только имея непосредственный доступ к компьютеру, то сейчас в этом совершенно пропала необходимость.

Говоря о защите программного обеспечения как Web-приложения необходимо понимать, что безопасность в таком случае зависит не только от вашего приложения, но и от защищенности всех сайтов, расположенных на выбранном сервере. Гарантия сохранности ваших исходных кодов невозможна и служба сопровождения сервера бессильна.

Всегда находится способ для обхода самых сильных систем защиты, начиная от отправки службой поддержки забытых паролей на уже взломанный почтовый ящик жертвы и заканчивая недочетами администраторов при конфигурировании панели управления хостингом.[1]

Не существует идеального антивируса, файрвола и прочих «защитников». Четким примером тому является взлом турецкими хакерами официального сайта представительства Лаборатории Касперского. Также был взломан находящийся на сайте Интернет-магазин и несколько других поддоменов. Можно предположить, что вначале было взломано приложение находящееся на поддомене, а через него уже был получен доступ к основному аккаунту.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработка алгоритма для решения задачи защиты информации на Web-сервере, когда:

1. Программное обеспечение расположено на сервере сторонней компании.
2. База данных и её содержимое не является стратегической информацией без алгоритмов расчета. Алгоритмы расчета представляют собой модули системы и хранятся в файлах на сервере.

Требуется разработать способ защиты исходных кодов программного продукта и файлов расположенного на стороннем сервере.

Для полноценной защиты информации (исходных кодов программного обеспечения) следует рассмотреть худший вариант стечения обстоятельств – «Злоумышленник имеет полный доступ к каталогам на сервере».

Решение данной задачи осуществляется средствами криптографии.[2] При этом файлы на сервере хранятся в зашифрованном виде, а при запросе со стороны аутентифицированного пользователя выполняется дешифрование файла и передача сгенерированного HTML кода браузеру. Аутентификация пользователя сводится к доказательству абонентом соответствия своему имени как участника протокола и проводится с целью проверки прав и полномочий абонента с помощью протокола идентификации. Схема работы сервера отображена на рисунке 1.

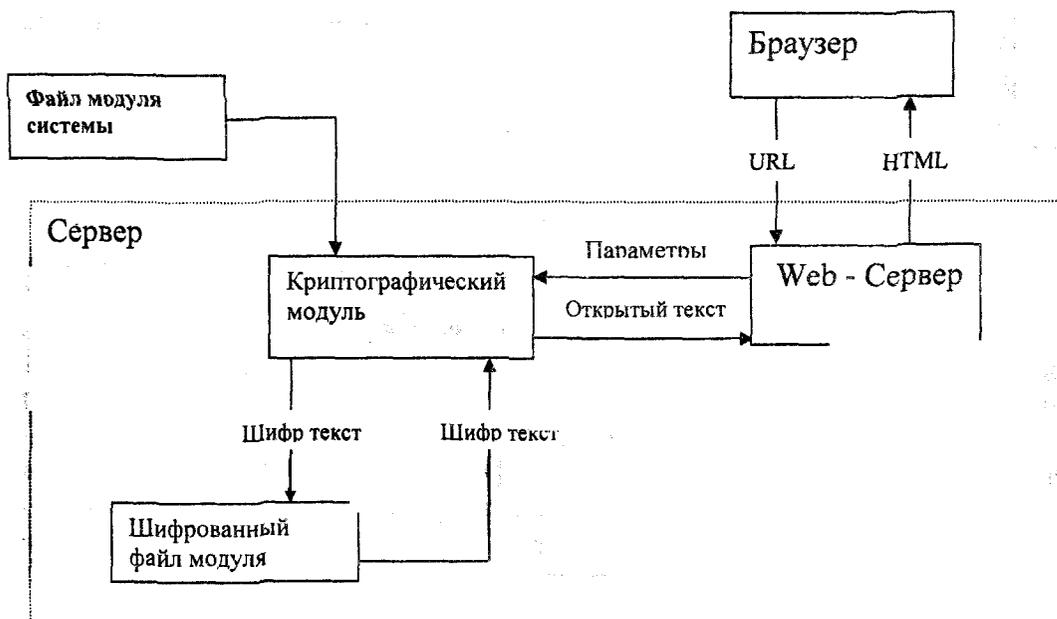


Рисунок 1 – Схема работы сервера с использованием криптосистемы

Для того чтобы предотвратить утечку исходных кодов с Web-сервера, необходимо прибегнуть к шифрованию файлов в момент внесения их на сервер. Алгоритм шифрования должен удовлетворять правилу Кергоффа, общепринятому в криптографии. В современном понимании это правило означает, что описание криптосистемы полностью известно противнику и/или нарушителю, а криптографическая стойкость основана только на том, что не известен ключ.

Внесение на сервер файлов или исходных кодов происходит исключительно через криптографический модуль. Криптографический модуль, считывая открытый файл с локального компьютера, шифрует его секретным ключом и помещает зашифрованный файл на сервер.

При обращении к Web-серверу аутентифицированным пользователем ему передается URL, в котором содержатся параметры необходимых файлов и рабочих модулей. Web-сервер, в свою очередь, передает необходимые параметры в криптографический модуль и ждет ответа в виде открытого текста. Криптографический модуль находит на сервере нужный зашифрованный файл, дешифрует его и возвращает его Web-серверу. На этом этапе Web-сервер осуществляет подстановку в полученный модуль значений и генерацию страницы HTML.

По сути, любое обращение к программному обеспечению организуется через криптосервер. Криптосервер - особо выделенная в сети рабочая станция, на которой создана доверенная среда и локализовано хранятся информация о ключах и выполнение криптографических операций. Обращение к криптосерверу осуществляется посредством вызовов функций, реализованных в его программном обеспечении. Задачами такого сервера является шифрование в момент установки программного комплекса или внесения изменений в исходные коды, а дешифрование файлов при запросе со стороны пользователя.

### **АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Для шифрования данных, расположенных на сервере, используются различные криптоалгоритмы: генератора псевдослучайных чисел [3], алгоритм DES [2][4], шифр Вижинера [3], алгоритм ГОСТ 28147-89 [3].

Использование генератора псевдослучайных чисел [3] заключается в генерации гаммы шифра при определенном ключе и наложении полученной гаммы на открытые данные обратимым способом.

Надежность шифрования в этом случае зависит как от характеристик генератора, так и от алгоритма получения гаммы. Длина периода гаммы является самой важной характеристикой генератора псевдослучайной последовательности чисел. По окончании периода числа начнут повторяться и их можно будет предсказать.

Этот метод криптографической защиты реализуется достаточно легко и обеспечивает довольно высокую скорость шифрования, однако недостаточно стоек к дешифрованию и поэтому он неприменим для серьезных информационных систем.

Более эффективные методы защиты основаны на классической криптографии, для которой характерно использование одной секретной единицы — ключа. Используемый ключ позволяет отправителю зашифровать сообщение, а получателю расшифровать его. В случае шифрования данных, хранимых на магнитных или иных носителях информации, ключ позволяет зашифровать информацию при записи на носитель и расшифровать при чтении с него.

Наиболее известными и широко используемыми методами симметричного шифрования являются алгоритм DES [2][4] и шифр Вижинера [3].

Шифр Вижинера — метод полиалфавитного шифрования буквенного текста с использованием ключевого слова.

Этот метод является простой формой многоалфавитной замены. Метод прост для понимания и реализации, он является недоступным для простых методов криптоанализа.

Алгоритм DES осуществляет шифрование 32,64 или 128-битовых блоков данных с помощью ключа размерностью от 0 до 2040 бит.

Расшифрование в DES является операцией, обратной шифрованию, и выполняется путем повторения операций шифрования в обратной последовательности.

Процесс шифрования заключается в начальной перестановке битов 64-битового блока, шестнадцати циклах шифрования и, наконец, обратной перестановки битов.

Необходимо отметить, что при этом все таблицы, приведенные в данном описании, являются стандартными, следовательно, они должны включаться в реализацию алгоритма в неизменном виде. Длина ключа равна 56 битам, существует  $2^{56}$  возможных ключей. На сегодня такая длина ключа недостаточна, поскольку допускает успешное применение лобовых атак.

В 3-DES, альтернатива DES, был выбран как простой путь увеличения длины ключа, без необходимости переходить на новый алгоритм — в нем используется над 64 битным блоком данных несколько раз производится шифрование алгоритмом DES (конечно с разным ключем), в простейшем варианте это выглядит как:  $DES(k_3;DES(k_2;DES(k_1;M)))$ , где M -блок исходных данных,  $k_1$ ,  $k_2$ , и  $k_3$  — ключи DES. Длина ключа алгоритма 3-DES в равна 168 битам (3 x ключ DES). Но как мы видим такая модификация алгоритма в 3 раза увеличивает время шифрования и дешифрования, так как выполняется последовательно над открытым текстом.

ГОСТ 28147-89 — блочный шифр с 256-битным ключом и 32 циклами преобразования, оперирующий 64-битными блоками. Основа алгоритма шифра — Сеть Фейстеля. Базовым режимом шифрования по ГОСТ 28147-89 является режим простой замены (определены также более сложные режимы гаммирование, гаммирование с обратной связью и режим имитовставки).

К достоинствам ГОСТа можно отнести:

- бесперспективность силовой атаки (XSL-атаки в учёт не берутся, т.к. их эффективность на данный момент полностью не доказана);
- эффективность реализации и соответственно высокое быстродействие на современных компьютерах.
- наличие защиты от навязывания ложных данных (выработка имитовставки) и одинаковый цикл шифрования во всех четырех алгоритмах ГОСТа.

Основные проблемы ГОСТа связаны с неполнотой стандарта в части генерации ключей и таблиц замен. Тривиально доказывается, что у ГОСТа существуют «слабые» ключи и таблицы замен, но в стандарте не описываются критерии выбора и отсева «слабых». Также стандарт не специфицирует алгоритм генерации таблицы замен (S-блоков). С одной стороны, это может являться дополнительной секретной информацией (помимо ключа), а с другой поднимает ряд проблем:

- нельзя определить криптостойкость алгоритма, не зная заранее таблицы замен;
- реализации алгоритма от различных производителей могут использовать разные таблицы замен и могут быть несовместимы между собой;
- возможность преднамеренного предоставления слабых таблиц замен лицензирующими органами РФ;
- потенциальная возможность (отсутствие запрета в стандарте) использования таблиц замены, в которых узлы не являются перестановками, что может привести к чрезвычайному снижению стойкости шифра.

Методы взлома, известные на сегодняшний день:

- XSL-атака

- Атака нахождения прообраза
- Атака по времени
- Атака с выбранным открытым текстом
- Дифференциальный криптоанализ
- Коллизия хеш-функции
- Линейный криптоанализ
- Метод Касиски
- Метод встречи в середине атаки
- Обман с несколькими личностями
- Обман, выполненный мафией
- Человек посередине
- Проблема гроссмейстера
- Радужная таблица
- Статистический криптоанализ
- Полный перебор
- Перебор по словарю
- Атака «дней рождения»
- 

Из этого списка выделяется подгруппа атак на несимметричные системы шифрования, такие, как: проблема гроссмейстера, обман с несколькими личностями, обман, выполненный мафией, человек посередине.

Основным орудием для получения ключа шифрования в симметричных системах служит: метод Касиски, линейный криптоанализ и дифференциальный криптоанализ, зачастую в симбиозе с перебором по словарю, атакой «дней рождений», полный перебор (время перебора является прямым показателем криптостойкости системы).

На сегодняшний день от новых шифров требуется доказательство стойкости к линейному криптоанализу.

Для атаки на блочный шифр с помощью линейного криптоанализа достаточно, как было описано выше, получить линейное соотношение, существенно смещённое по вероятности от  $1/2$ . Соответственно, первая цель при проектировании шифра, стойкого к атаке, — минимизировать вероятностные смещения, убедиться, что подобное соотношение не будет существовать. Другими словами, необходимо сделать так, чтобы при *любом* изменении текста или ключа в получающемся шифротексте ровно половина бит меняла своё значение на противоположное, причём каждый бит изменялся с вероятностью  $1/2$ .

При применении метода Касиски представляется возможным криптоаналитику найти длину ключевого слова, используемого в полиалфавитном шифре. Как только длина ключевого слова обнаружена, криптоаналитик выстраивает зашифрованный текст в  $n$  колонках, где  $n$  — длина ключевого слова. Тогда каждую колонку можно рассматривать как зашифрованный моноалфавитным шифром текст, который можно подвергнуть частотному анализу.

Метод Касиски заключается в поиске групп символов, которые повторяются в зашифрованном тексте. Группы должны состоять из не менее, чем трех символов. Тогда расстояния между последовательными возникновениями групп, вероятно, будут кратны длине ключевого слова. Предполагаемая длина ключевого слова кратна наибольшему общему делителю всех расстояний.

Но в основу всех методов заложен статистический криптоанализ (частотный), в общем случае статистический анализ выполняется следующим образом:

1. По перехваченной криптограмме  $E$  вычисляется некоторая статистика. Эта статистика такова, что для всех осмысленных сообщений  $M$  она принимает значения, мало отличающиеся от  $S_k$  – величины, зависящей только от частного используемого ключа.
2. Полученная таким образом величина служит для выделения тех возможных ключей, для которых значение  $S_k$  лежит в близкой окрестности наблюдаемого значения.

При рассмотрении альтернатив учитывалась не только криптостойкость, но также простота реализации, возможность модификации алгоритма шифрования, а также наличие уже имеющихся разновидностей алгоритма. Криптографическая стойкость - фундаментальное понятие криптографии – свойство криптосистемы, характеризующее её способность противостоять атакам противника и/или нарушителя, как правило, имеющим целью получить секретный ключ или открытое сообщение.[2][5]

Для несанкционированного доступа необходимо получение секретного ключа или открытого сообщения. Из приведенного анализа следует, что для более надежной защиты при простоте реализации и проведении модификаций алгоритмов защиты более предпочтительно использовать симметричные алгоритмы шифрования. Наиболее простым алгоритмом симметричной защиты является шифр Вижинера, так как требует хранения одного ключа.

### АЛГОРИТМ ПРОТОТИП ШИФР ВИЖИНЕРА [3]

В данном шифре ключ задается набором из  $d$  букв. Такие наборы подписываются с повторением под сообщением, затем полученную последовательность складывают с открытым текстом по модулю  $n$  (мощность алфавита).

Шифрование осуществляется согласно выражению:

$$\text{Vigd}(mi) = (mi + ki \bmod d) \bmod n, \text{ а дешифрование } - \text{Vigd}(mi) = (mi - ki \bmod d) \bmod n.$$

Возможно осуществлять проведение этих операций табличными методами, буква задается таблицей  $1$  и определяет пересечение столбца, определяемого буквой открытого текста, и строки, определяемой буквой ключа.

Дешифрование: Буква ключа определяет строку, в которой шифр текст задает позицию буквы и по позиции из прямого алфавита (первая строка таблицы) считывается буква открытого текста.

Таблица 1 – Таблица Виженера для русского алфавита

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А
В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б
Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В
Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г
Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д
Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е
З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж

Ю	Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э
Я	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю

При таком способе шифрования очень велики временные затраты для шифрования и дешифрования сообщения, так как дважды используется поиск в таблице при шифровании или дешифровании одной буквы сообщения.

Пример шифрования:

Сообщение	А Д Л Е Р
Первичный ключ	Б В Г Д Б
Шифротекст	Б Ж О Й С

Известны модификации алгоритма: шифр Вижинера с автоключом, шифр Вижинера с перемешанным один раз алфавитом, шифр Бофорта

### **Шифр Вижинера с автоключом [6]**

модификацией системы Виженера является система шифров с *автоключом* (*auto-key*). Шифрование начинается с помощью «первичного ключа», который является настоящим ключом в нашем смысле, и продолжается с помощью сообщения или криптограммы, смещенной на длину первичного ключа, затем производится сложение по модулю, равному мощности алфавита.

Например:

Сообщение	П Р И В Е Т П Р И М А Т У
Первичный ключ	В Г П У
Автоключ	П Р И В Е Т П Р И
Шифротекст	С У Ч Х Ф В Ч Т Н Ю П В Ы

Легальная расшифровка не представляет труда: по первичному ключу получается начало сообщения, после чего найденная часть исходного сообщения используется в качестве ключа. В другом варианте данной системы в качестве ключа служит текст сообщения, зашифрованный с помощью ключа по системе Виженера. Модифицированный алгоритм не решает поставленной задачи, большим недостатком является последовательность определения ключа при дешифровании. А также невозможность применения итерационного подхода.

### **Шифр Вижинера с перемешанным один раз алфавитом [6]**

Такой шифр представляет собой простую подстановку с последующим применением шифра Виженера:

$$\text{Vig}^k(m_i) = f(m_i) + k_i \bmod d, \text{Vig}^{-1}(m_i) = f^{-1}(m_i - k_i \bmod d).$$

Данный алгоритм не дает преимуществ по сравнению с основным алгоритмом (прототипом), так как усложнение при шифровании и дешифровании не увеличивает криптостойкость системы в целом. Другой разновидностью шифра Вижен является Шифр Бофорта [6], имеющей легкозапоминаемый квадрат подстановок. Строками являются строки квадрата Виженера, записанные в обратном порядке, первая и последняя строки поменяны местами. Преобразование основано на соотношении:  $\text{Vofd}(m_i) = (k_i \bmod d - m_i) \bmod n$  – шифрование  $\text{Vofd}^{-1}(m_i) = \text{Vofd}(m_i) = (k_i - m_i \bmod d) \bmod n$  – дешифрование.

Предложенный алгоритм шифрования не отличается от прототипа, а несущественная разница в таблице шифрования не усложняет процесс незаконной расшифровки при помощи частотного анализа.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Игнатъев В.А. Информационная безопасность современного коммерческого предприятия. – Старый Оскол: ООО «ТНТ» (тонкие научные технологии), 2005. – 448 с.
2. Панасенко С.П. Алгоритмы шифрования: специальный справочник. – СПб.:БХВ-Петербург, 2009. – 576 с.: ил.
3. Альферов А.П. Основы криптографии: учеб. пособие / Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 480 с., ил.
4. Thomas W. Cusick, Pantelimon Stanica. «Cryptographic Boolean Functions and Applications» // Academic Press is an imprint of Elsevier 525 B Street, Suite 1900, San Diego, CA 92101-4495, USA Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK. First edition, 2009.
6. Зубов А.Ю. Совершенные шифры. – М.: Гелиос АРВ, 2003. – 160 с., ил.
7. Криптография и алгоритмы шифрования [Электронный ресурс]. – URL: <http://vse-shifri.ru>.

#### **Корсунов Николай Иванович**

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Математическое программное обеспечение информационных систем»

Тел.: 8(4722)30-13-51

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

#### **Титов Алексей Иванович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аспирант

Тел.: 8-908-785-39-28

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