

№ 5 (61) сентябрь-октябрь 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
Борзенков М.И., секретарь

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

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

Архипов О.П., Аверченков В.И.,
Гайндрик К.Г., Еременко В.Т.,
Иванов Б.Р., Иванников А.Д.,
Ипатов О.С., Колоколов Ю.В.,
Корндорф С.Ф., Коськин А.В.,
Подмастерьев К.В., Поляков А.А.,
Распопов В.Я., Сотников В.В.,
Шкатов П.Н.

Адрес учредителя журнала

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 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: isit@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 15.09.2010 г.
Подписано в печать 25.09.2010 г.
Формат 70x108 1/16.

Усл. печ. л. 9,5. Тираж 300 экз.
Заказ № _____

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

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

Рубрики номера

1. Математическое
и программное обеспечение
вычислительной техники
и автоматизированных систем 5-42
2. Математическое и компьютерное
моделирование..... 43-92
3. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах..... 93-108
4. Автоматизация и управление
технологическими процессами
и производствами..... 109-118
5. Телекоммуникационные системы
и компьютерные сети..... 119-133
6. Информационная безопасность.....134-149

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»

© ОрелГТУ, 2010

№ 5 (61) September-October 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.,
Gaindrik K.G., Eremenko V.T., Ivanov B.R.,
Ivannikov A.D., Ipatov O.S., Kolokolov J.V.,
Korndorf S.F., Koskin A.V., Podmasteriev K.V.,
Polyakov A.A., Raspopov V.Ya.,
Sotnikov V.V., Shkatov P.N.

The address of the founder of magazine

302020, Orel, Highway Naugorskoye, 29
(4862) 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
ПИ № ФС77-35333 from 17.02.2009.

It is handed over in a set of 15.09.2010,
25.09.2010 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..... 5-42
2. Mathematical
and computer simulation..... 43-92
3. An information technology in social
and economic and organizational
-technical systems93-108
4. Automation and management
of technological processes
and manufactures.....109-118
5. Telecommunication systems
and computer networks..... 119-133
6. The informational safety 134-149

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>Архитов О.П., Зыкова З.П.</i> Функциональное описание индивидуального цветовосприятия	5
<i>Велигоша Д.А.</i> Алгоритм сжатия изображений на основе вейвлет-преобразований.....	13
<i>Жуляков Е.Г., Маматов Е.М., Белов А.С., Курлов А.В.</i> Исследование методов очистки русской речи от шумов.....	17
<i>Карпов Н.В.</i> Разработка алгоритма автоматического формирования фонетической базы данных на основе информационной теории восприятия речи.....	26
<i>Шкаберин В.А.</i> Новые подходы к обеспечению технологичности конструкций изделий в условиях автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.....	34

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Авсиевич А.А., Иванов Д.В.</i> Рекуррентное оценивание параметров нелинейных динамических объектов класса Гаммерштейна с помехой на выходе.....	43
<i>Вайнштейн И.А., Евсегнеев О.А., Харитонов Д.В.</i> Форма термолюминесцентных пиков в наноматериалах при варьировании параметров фрактальной кинетики.....	51
<i>Иванов И.В., Лазебная Е.А.</i> Моделирование характера изменения уровня занятости на предприятиях региона.....	58
<i>Мордвинов В.А., Юргаев Д.А.</i> Аддитивность информационных порталов в регулярном пространстве Лебега.....	65
<i>Самарина О.В., Славский В.В.</i> Инварианты восьмиканального изображения относительно аффинной группы преобразований и калибровки каналов.....	71
<i>Раков В.И.</i> О применении полиномов академика Бернштейна в информационных технологиях аппроксимации функций.....	78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Мотин А.А., Волков В.Н.</i> Автоматизированная интернет-система мониторинга русской речи	93
<i>Моновская А.В., Макеева М.А., Сокол Т.А., Опарина Е.В.</i> Управление структурой выпуска региональной сети профессионального образования.....	99
<i>Стрельников А.Н.</i> Пирамида потребностей по Маслоу как модель развития онлайн-социальных сетей.....	105

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>Константинов И.С., Бакаева Н.В.</i> Концептуальные основы управления территориальной автотранспортной системой на основе парадигмы биосферной совместимости.....	109
---	-----

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

<i>Линец Г.И.</i> Геометрическая интерпретация выбора оптимальных пропускных способностей линий связи.....	119
<i>Машинская Е.Ю.</i> Разработка алгоритмов оптимальной расстановки компонентов охранной телевизионной системы по периметру объекта.....	127

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Коньшев М.Ю., Панкратов А.В., Шинаков С.В., Утянский Е.М.</i> Модель дискретного источника ошибок в цифровых каналах связи.....	134
--	-----

Фисун А.П., Белевская Ю.А. Информационная теория и информационное право как основной
инструментарий обеспечения информационной безопасности и противодействия информационному
терроризму..... 142

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

<i>Arkhipov O.P., Zykova Z. P.</i> Characteristics of color perceptual spaceerification	5
<i>Veligoshia D.A.</i> The algorithm jf the shrunk image on the on the basis of wavelet- conversionl processing.....	13
<i>Zhilyakov E.G., Mamatov E.M., Belov. A.S., Kurlov A.V.</i> Research of methods of clearing of russian speech from noise	17
<i>Karpov N.V.</i> Phonetic database automatic creation algorithm developing on the bases of informational theory speech perception.....	26
<i>Shkaberin V.A.</i> The new approaches to ensure product designs manufacturability with automation in engineering and technological preparation production.....	34

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

<i>Avsievich A.A., Ivanov D.V.</i> Recurrent estimates of parametres nonlinear dynamic systems class of Hammerstein with output error.....	43
<i>Weinstein I.A., Evsegneev O.A., Kharitonov D.V.</i> Shape of thermoluminescence peaks in nanomaterials at variation of fractal kinetics parameters	51
<i>Ivanov I., Lazebnaya E.</i> Modeling of character changes of level employment on regional enterpriseshe	58
<i>Mordvinov V.A., Yurgaev D.A.</i> Additivity of information portals in regular space Lebesgue	65
<i>Samarina O.V., Slavsky V.V.</i> The eight-channel image invariants concerning affine group of transformations and calibration of channels.....	71
<i>Rakov V.I.</i> Approximation by polynoms of academician Bernstein.....	78

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

<i>Motin A.A., Volkov V.N.</i> The automated Internet monitoring system of Russian speech.....	93
<i>Monovskaya A.V., Makeeva M.A., Sokol T.A., Oparina E.V.</i> The enhancement in relation to the output's structure of the regional vocational education system	99
<i>Strelnikov A.N.</i> Maslow's hierarchy of needs as an online social networks' development pattern	105

AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

<i>Konstantinov I.S., Bakaeva N.V.</i> The conceptual bases of management territorial avtotransporting by system on base of the paradigm biosphere to compatibility	109
---	-----

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

<i>Linets G.I.</i> the geometrical interpretation of a choice of optimum throughputs of communication lines	119
<i>Mashinskaya E.Yu.</i> The development of algorithms of , rational arrangement of cameras on the perimeter of the object	127

THE INFORMATION SAFETY

<i>Konishev M.Yu., Pankratov A.V., Shinakov S.V., Utyanskiy E.M.</i> Model of diskrete source of errors in digital communication channels	134
<i>Fisun A.P., Ju. A. Belevskaya.</i> The information theory and the information right as the basic toolkit of maintenance of information safety and counteraction to information terrorism	142

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

УДК 004.9

О.П. АРХИПОВ, З.П. ЗЫКОВА

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ**

Для организации вывода на периферийные устройства ПЭВМ, который учитывает индивидуальные особенности цветового зрения, необходимо функциональное описание цветовосприятия пользователя. Рассмотрена задача функционального описания индивидуального восприятия цветных отпечатков пользователями, имеющими такую аномалию цветного зрения, как частичная цветовая слепота. Предложен метод решения, основанный на оцифровке результатов тестирования, вычислении линий уровня функции цветовосприятия на тестовом множестве, построении функции цветовосприятия с помощью интерполяции по пикселям линий уровня. Использование построенной функции позволяет предсказать восприятие пользователем отпечатков цветных изображений, продуцируемых в его компьютерной системе, и предотвратить искаженное восприятие содержащейся в них информации. Научная новизна настоящей работы состоит в постановке задачи и разработке метода ее решения.

Ключевые слова: цветная периферия; функция цветовосприятия; аномалии цветного зрения; искажение цветовой информации.

To organize the output to peripherals, taking into consideration the specific features of color vision, the functional description of the color perception of a user is necessary. The problem of the functional description of the individual perception of colored imprints by the users with partial color blindness anomaly is considered. Proposed the method of solution, which is based upon the digital representation of test's results, calculation of color perception function's level lines upon the test dataset and construction of color perception function with the aid of interpolation of pixels on level lines. The use of the constructed function makes it possible to predict user's perception of the imprints of colored images produced by their computer system, and to avoid distortion of perception of contained information.

Keywords: color periphery; function of color perception; anomalies of color vision; misstatement of color information.

ВВЕДЕНИЕ

Цветовое зрение субъективно у разных наблюдателей. Индивидуальные особенности большинства наблюдателей не оказывают существенного влияния на цветовосприятие, поэтому их можно называть стандартными наблюдателями (СН). Однако значительная часть наблюдателей (в том числе и пользователей ПЭВМ) имеет различные аномалии цветового зрения [1-4]. Это мешает им воспринимать цветную информацию адекватно. Например, часть цветов, различаемых СН, не различается наблюдателями с частичной цветовой слепотой. Вследствие этого возможно искажённое восприятие ими цветовой информации, поскольку многоцветные фрагменты изображений могут восприниматься как одноцветные.

Существующие программно-технические инструменты обеспечивают стандартным наблюдателям качественную коммуникацию в системе пользователь/вычислительная среда на основе зрительного восприятия цветной графической информации, выводимой периферийными устройствами ПЭВМ (принтерами и дисплеями). Цветовосприятие отдельных групп наблюдателей с частичной цветовой слепотой учитывается некоторыми разработчиками. Однако

отсутствует индивидуальный подход, поэтому не охватывается весь диапазон вариаций зрения. В связи с этим существует потребность в разработке соответствующих средств поддержки, а цветовое восприятие произвольного наблюдателя остается предметом постоянного интереса и многосторонних исследований [5-9].

Для организации вывода на периферийные устройства ПЭВМ, который учитывает индивидуальные особенности цветового зрения, необходимо функциональное описание цветовосприятия пользователя. В рамках данной работы рассматривается задача функционального описания индивидуального восприятия цветных отпечатков пользователями, имеющими такую аномалию цветного зрения, как частичная цветовая слепота.

В [1,2] предложены методы, применение которых может предотвратить потери при зрительном восприятии произвольными пользователями (ПП) цветной информации в некоторых важных частных случаях, а именно, при визуализации отпечатков изображений цветной штриховой графики теми ПП, которые имеют частичную слепоту к цвету.

В рамках данной работы для этой же группы ПП рассмотрена аналогичная, но более сложная задача, возникающая при печати произвольных многоцветных изображений. В этом случае методы, использованные в [1,2], не применимы. Указанные методы решали задачу, состоящую в том, чтобы при наименьших затратах найти как можно больше зон толерантности из *RGB*-пикселей, имеющих отпечатки, различаемые протестированным ПП. На данном же этапе необходимо после тестирования предсказать, как ПП воспринимает отпечатки всех цветных *RGB*-пикселей, чтобы обеспечивалась возможность управления преобразованием произвольных цветных изображений в изображения с предсказуемыми по восприятию цветовой структуры отпечатками.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается цветовосприятие ПП, которые имеют частичную слепоту к цвету. В восприятии таких пользователей некоторые цвета, различаемые наблюдателями, цветовосприятие которых близко к стандартному, являются неразличаемыми. Например, в соответствии с [3]:

- при дейтеранопии не различаются зеленый и красный цвета с нормальной функцией спектральной световой эффективности;
- при протанопии не различаются зеленый и красный цвета с ненормально низкой функцией спектральной световой эффективности на длинноволновом конце спектра;
- при тританопии не различаются желтые и синие цвета.

При частичной цветовой слепоте пространство цветовосприятия значительно сужается. Например, в соответствии с [5,9], при некоторых аномалиях цветного зрения *RGB*-куб отображается на некоторые поверхности внутри него.

Заметим, что в [9] используются модели цветовосприятия, отличные от моделей [5]. В рамках данной работы визуализируемые различия в применяемых моделях цветовосприятия представителей групп наблюдателей с частичной цветовой слепотой не являются существенными. Тем более что цветовосприятие выделяемых групп не охватывает всех возможных вариаций зрения.

В комплекс задач, поставленных и решаемых в рамках данной работы, не входит задача диагностики в медицинском смысле этого слова (выделение наиболее типичных особенностей цветовосприятия, отнесение ПП к какой-либо известной

группе). Цель данной работы состоит в формальном описании некоторых свойств цветового пространства ПП по результатам тестирования цветовосприятия ПП цветных отпечатков, изготовленных в его программно-технической среде (ПЭВМ, цветной принтер и сканер, ПО).

При тестировании выясняется, имеются ли у тестируемого ПП аномалии цветного зрения, состоящие в том, что некоторые различные в восприятии «стандартного наблюдателя» [3] (СН) цвета воспринимаются ПП как одинаковые. Обнаруженные свойства формально описываются. Это позволяет получить характеристику цветового пространства ПП и создать функциональное описание его цветовосприятия в терминах *RGB*-отображений.

Общепринятым является подход к тестированию цветовосприятия ПП, состоящий в том, что ПП предлагаются для визуализации специальные цветные изображения, по результатам его описания структуры изображений устанавливается, различает ли ПП соответствующую пару пикселей, на основе которых построено тестовое изображение.

Поскольку цвета представления пикселей изображений на мониторе и их отпечатков значительно отличаются друг от друга, результаты тестирования цветовосприятия представления пикселей на мониторе не могут совпадать с результатами тестирования цветовосприятия их отпечатков. Хотя, конечно, качественные оценки возможны.

Так, отпечатки одного и того же пикселя при корректной печати совпадают, хотя и приближенно. Также если пиксели значительно отличаются друг от друга, то и их отпечатки (в восприятии СН) отличаются, хотя, возможно, и не в такой же степени. Кроме того, при корректной печати пиксели, которые можно назвать красными (в широком смысле), будут иметь красные (хотя и визуально отличающиеся) отпечатки. То же можно сказать о зеленых, синих, желтых и всех других пикселях и их отпечатках.

При тестировании цветовосприятия ПП, имеющего аномалии цветного зрения, указанное соответствие может нарушаться. Различные по восприятию СН цвета таким наблюдателем могут восприниматься как одинаковые.

В рамках данной работы исследуется цветовосприятие отпечатков цветных *RGB*-изображений, состоящих из пикселей исходного цветового *RGB*-пространства $C_{и}$: $x=\{x\}$, $x \in C_{и}$, которым после визуализации представлений на мониторе соответствуют пиксели из цветового пространства восприятия ПП $C_{пп}$: $y=\{y\}$, $y \in C_{пп}$, а после печати изображения соответствуют отпечатки – пиксели цветового пространства применяемого принтера $C_{п}$: $z=\{z\}$, $z \in C_{п}$.

После сканирования отпечатков пикселей им можно сопоставить в соответствии с [10] пиксели из цветового *RGB*-пространства применяемого сканера $C_{с}$: $v=\{v\}$, $v \in C_{с}$, а после визуализации ПП отпечатков пикселей – пиксели из цветового пространства восприятия ПП $C_{пп}$: $w=\{w\}$, $w \in C_{пп}$.

Таким образом, в рамках данной работы рассматриваются цветопередачи:

- из $C_{и}$ в $C_{пп}$ $y=f_1(x)$;
- из $C_{и}$ в $C_{п}$ $z=f_2(x)$;
- из $C_{п}$ в $C_{с}$ $v=f_3(z)$;
- из $C_{п}$ в $C_{пп}$ $w=f_4(z)$.

Поскольку исходным пространством $C_{и}$ является *RGB*-пространство, то составляющие его пиксели, а также пиксели исходных изображений характеризуются *RGB*-координатами: $x=(r,g,b)$, $0 \leq r,g,b \leq 255$. Пикселям из $C_{с}$ – значениям цветовой

характеристики – также соответствуют некоторые RGB -координаты: $z=(r',g',b')$, $0 \leq r',g',b' \leq 255$.

Пусть отпечаток пикселя (r_i, g_i, b_i) имеет значение цветовой характеристики (r'_i, g'_i, b'_i) , а $(r_j, g_j, b_j) - (r'_j, g'_j, b'_j)$. Выполнение равенства

$$(r_i, g_i, b_i) = (r'_j, g'_j, b'_j)$$

не гарантирует совпадение цветов пикселя (r_i, g_i, b_i) и отпечатка пикселя (r_j, g_j, b_j) , поскольку используются координаты из разных цветовых пространств.

В связи с тем, что RGB -координаты в большей степени характеризуют технологию ввода/вывода, а не цвет пикселей при представлении пикселей на периферийных устройствах, не существует инструментов для установления соответствия между координатами одинаковых по цвету пикселей. Однако соответствующие цветовые пространства могут быть согласованы в том смысле, что между пикселями устанавливается связь с помощью функции цветопередачи F_1 , являющейся суперпозицией функций f_3 и f_2 : $F_1 = f_3 \cdot f_2$.

Пиксель (r, g, b) является аргументом этой функции, а (r', g', b') – соответственно ее значением. Аргументами функции цветопередачи F_1 из исходного RGB -пространства C_{in} в RGB -пространство сканера C_c также являются:

- принтер и условия печати на нем (разрешение, режим, бумага и т.д.);
- сканер, условия сканирования отпечатка пикселя (разрешение, режим) и условия вычисления значений цветовой характеристики – усреднения координат пикселей скана, зависящие от формы и размера растровой точки при печати и сканировании.

Таким образом, значения цветовой характеристики могут меняться при изменении значения любого из аргументов. Поскольку в рамках данной работы предполагается, что все аргументы кроме координат (r, g, b) – постоянные величины, то для сокращения записи в дальнейшем будем указывать только один аргумент: $z = F_1(x)$.

Аналогичные обозначения будем использовать для функции цветопередачи из C_{in} в C_{in} , а затем из C_{in} в C_{out} : $w = F_2(x)$, $F_2 = f_4 \cdot f_2$.

Пусть тестируется восприятие ПП отпечатков $\{z_i\} \subset C_{in}$ пикселей из последовательности $\{x_i\} \subset C_{in}$, которой соответствует последовательность различных (т.е. удовлетворяющих соответствующему критерию) значений цветовой характеристики $\{v_i\} \subset C_c$.

Предположим, что вследствие аномалии зрения некоторые из отпечатков не различаются тестируемым ПП по цвету. В этом случае можно структурировать одномерную последовательность $\{z_i\}$ во множество групп пикселей (групп представителей зон толерантности в цветовом пространстве восприятия пользователя), которое может быть описано с помощью двумерной последовательности вида:

$$\{Z_{i,j}\}, i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J_i. \quad (1)$$

Каждая из групп пикселей содержит не менее одного пикселя. В группу включаются пиксели, отпечатки которых не различаются тестируемым ПП по цвету. Соответствующие последовательности из пикселей C_{in} , C_c , C_{out} обозначим следующим образом:

$$\{X_{i,j}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i; \{V_{i,j}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i; \{W_{i,j}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i. \quad (2)$$

Заметим, что выполнены соотношения:

$$W_{i,j} = W_{i',j'}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j' \leq J_{i'}, W_{i,j} \neq W_{i'',j''}, 1 \leq i', i'' \leq I, i' \neq i'', 1 \leq j' \leq J_{i'}, 1 \leq j'' \leq J_{i''}. \quad (3)$$

Тестирование приводит к установлению справедливости соотношения:

$$f_4(Z_{i,j})=W_{i,k}, \quad (4)$$

при любых i, j и k таких, что:

$$1 \leq i \leq I, 1 \leq j, k \leq J_i. \quad (5)$$

Очевидно, что функция F_3 цветопередачи из $C_{\text{и}}$ в $C_{\text{пп}}$ имеет вид:

$$F_3=f_4 \cdot f_2, \quad (6)$$

причем

$$F_3(X_{i,j})=W_{i,k}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j, k \leq J_i. \quad (7)$$

В связи с тем, что пикселям $W_{i,k}$ не могут быть присвоены числовые координаты, функция F_3 не может быть использована для характеристики цветового пространства ПП. В качестве характеристики цветового пространства восприятия $C_{\text{пп}}$ предлагается использовать функцию F_3 отображения (цветопередачи) из $C_{\text{и}}$ в $C_{\text{с}}$.

Обозначим G_i – множество отображений в $C_{\text{с}}$ представителей i -ой зоны толерантности T_i :

$$T_i = \bigcup_{j=1}^{J_i} X_{i,j}, G_i = \bigcup_{j=1}^{J_i} V_{i,j}.$$

Функция F_3 должна обладать свойствами, аналогичными свойствам функции F_3 , а именно, для всех пикселей из T_i она должна принимать одинаковые значения. Пусть:

$$F_3(X_{i,j})=\mu(G_i), 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i, \quad (8)$$

где μ – произвольная функция на множестве RGB -пикселей. В дальнейшем полагаем, что в качестве μ будет использована функция, сопоставляющая группе пикселей тот ее компонент, который наиболее близок серой шкале. Это соответствует [3] в части указания на тот факт, что если наблюдатель с частичной цветовой слепотой не различает два цветных пикселя, то в его восприятии они близки к серому цвету.

Замечание. Представители одной зоны толерантности являются представителями одной линии уровня функции F_3 .

Задача. Пусть выполнены условия (1)-(8), требуется вычислить значения функции F_3 при произвольных значениях аргумента.

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Хотя в приведенной постановке задачи требуется вычислить значения функции F_3 при любом пикселе из RGB -куба, достаточно рассмотреть ограниченное множество пикселей, например, пиксели множества $M \subset C_{\text{и}}$:

$$M=\{(r_i, g_i, b_i)\}=\{(j \cdot 17, k \cdot 17, n \cdot 17)\}, j, k, n=0, \dots, 15, i=j+k \cdot 16+n \cdot 16=0, 1, \dots, 4095.$$

В этом случае любой пиксель из $C_{\text{и}}$, не принадлежащий M , будет расположен в кубе, RGB -координаты вершин которого отличаются от RGB -координат рассматриваемого пикселя не более, чем на четыре бита. Это означает, что значение функции отображения в рассматриваемом пикселе можно интерполировать с достаточной степенью точности.

Рассмотрение M вместо $C_{\text{и}}$ позволяет вместо более шестнадцати миллионов пикселей RGB -куба рассматривать около четырех тысяч цветов, что вполне приемлемо для характеристики, построения наглядных иллюстраций и графического представления пространства цветовосприятия. Таким образом, без ограничения общности можно считать, что для решения поставленной задачи достаточно определить значения функции F_3 для произвольных пикселей x из M : $w=F_3(x), x \in M$.

В общем случае для решения такого рода задач (восстановление функции по ее дискретным значениям) используются различные численные методы. Традиционными, например, являются решения методами интерполяции и экстраполяции.

Рассмотрение F_3 вместо F_3 в качестве функциональной характеристики пространства цветовосприятия обусловлено невозможностью оцифровки пространства $C_{\text{пп}}$. Отсутствие количественных цветовых характеристик пикселей из цветового пространства $C_{\text{пп}}$ делает невозможным численное решение задачи восстановления функции F_3 по ее дискретным значениям. По этой причине традиционно используется прием, состоящий в том, что пикселям из $C_{\text{пп}}$ присваивается количественная характеристика того цветового пространства, восприятие которого тестируется.

Например, в моделях из [5] и [9] пикселям $u \in C_{\text{пп}}$, приписываются RGB -координаты из $C_{\text{и}}$. Разумеется, это не означает, что $x=y$, если $y=f_1(x)$. На самом деле, рассматривается еще одна искусственная цветопередача (обозначим ее функцию f_1) из $C_{\text{пп}}$ в $C_{\text{и}}$. Причем функция f_1 сопоставляет совпадающим пикселям из $C_{\text{пп}}$ один и тот же пиксель из $C_{\text{и}}$. В этом случае функция F' , являющаяся суперпозицией функций f_1 и f_1 , служит функциональной характеристикой пространства цветовосприятия ПП цветных пикселей.

Можно построить функцию F' различными способами, один из них описан далее. Предполагается, что после тестирования одномерная последовательность $\{y_i\}$ структурирована во множество групп пикселей, которое может быть описано с помощью двумерной последовательности вида: $Y_{i,j}$, $i=1,2,\dots,I$, $j=1,2,\dots,J_i$, для компонентов которой выполнены соотношения:

$$Y_{i,j}=Y_{i,j''}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j', j'' \leq J_i, Y_{i',j'} \neq Y_{i'',j''}, 1 \leq i', i'' \leq I, i' \neq i'', 1 \leq j' \leq J_{i'}, 1 \leq j'' \leq J_{i''},$$

и которой соответствует структурированная последовательность $\{x_i\}$: $X_{i,j}$, $1 \leq i \leq I$, $1 \leq j \leq J_i$,

Тогда, зафиксировав для каждого i : $1 \leq i \leq I$ одно из значений индекса $k(i)$ из диапазона $[1, J_i]$, можно определить дискретные значения и для функции f_1 : $f_1(Y_{i,j})=X_{i,k(i)}$, $1 \leq i \leq I$, $1 \leq j \leq J_i$, и для $F'=f_1 \cdot f_1$, $F'(X_{i,j})=X_{i,k(i)}$, $1 \leq i \leq I$, $1 \leq j, k(i) \leq J_i$, а затем решить задачу восстановления функции по их дискретным значениям.

F' можно применить к решению задачи предсказания восприятия произвольного цветного изображения ПП. Достаточно модифицировать с ее помощью исходное изображение, чтобы наблюдатель, цветовое восприятие которого близко к восприятию СН, мог сравнить исходное и модифицированное изображения и увидеть, не нарушается ли структура изображения в восприятии ПП, а именно, какие цвета каких фрагментов сливаются, и какие фрагменты останутся различаемыми по цвету.

Применим изложенный подход для достижения целей данной работы, используя для количественной характеристики пространства $C_{\text{пп}}$ соответствующую количественную характеристику пространства $C_{\text{п}}$.

Пусть выполнены соотношения (1)-(8). Для определения функции F_3 достаточно применить какой-либо интерполяционный алгоритм и определить соответствующую аппроксимацию функции F_3 .

В самом простом случае для аппроксимации F_3 на M достаточно, чтобы в исходной последовательности пикселей $\{x_i\} \subset C_{\text{и}}$ присутствовали вершины RGB -куба. В этом случае возможна аппроксимация значений функции на ребрах, затем на

поверхности и, наконец, на внутренних точках RGB-куба. Однако для достаточной точности аппроксимации и характеристики пространства цветовосприятия тестовых пикселей должно быть достаточно много.

Итак, для функционального описания пространства цветовосприятия необходимо:

- выбрать тестовое множество из RGB-пикселей $\{x_i\} \subset M$;
 - протестировать цветовосприятие ПП для установления различия или неразличия цветов $\{w_i\}$ отпечатков $\{z_i\}$ со значениями цветовой характеристики $\{v_i\}$ каждой пары пикселей из $\{x_i\}$;
 - провести документирование полученных результатов;
 - преобразовать последовательность $\{w_i\}$ в последовательность вида: $\{W_{ij}\}$, $i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J_i$, для компонентов которой выполнены соотношения:
 $W_{i,j'} = W_{i,j''}$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j', j'' \leq J_i, W_{i,j'} \neq W_{i'',j''}$, $1 \leq i', i'' \leq I, i' \neq i'', 1 \leq j' \leq J_{i'}, 1 \leq j'' \leq J_{i''}$;
 - провести соответствующее преобразование последовательностей $\{x_i\}$, $\{z_i\}$, $\{v_i\}$ в последовательности вида:
 $\{X_{ij}\}$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$; $\{Z_{ij}\}$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$; $\{V_{ij}\}$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$.
 - определить значения функции F'_3 :
 $F'_3(X_{ij}) = \mu(G_i)$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$;
 - вычислить функцию Ψ :
 $v' = \Psi(x)$, $x \in M, v' \in C_c$,
- которая аппроксимирует функцию F'_3 на множестве M и вычисляется при интерполяции по узлам
- X_{ij} , $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$,
- в которых ее значения совпадают со значениями функции F'_3 :
- $\Psi(X_{ij}) = \mu(G_i)$, $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i$;
- вычислить значения функции Ψ для произвольного пикселя (R, G, B) :
 $(R', G', B') = \Psi(R, G, B)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод функционального описания цветовосприятия отпечатков, основанный на оцифровке результатов тестирования, вычислении линий уровня функции цветовосприятия на тестовом множестве, построении функции цветовосприятия с помощью интерполяции по пикселям линий уровня.

Использование построенной функции позволяет предсказать восприятие пользователем отпечатков цветных изображений, продуцируемых в его компьютерной системе, и предотвратить искаженное восприятие содержащейся в них информации.

На основе предложенного метода возможно формальное описание свойства цветового пространства ПП и получение графического представления цветового пространства ПП как проекции на цветовое пространство СН.

Предложенный метод имеет важное практическое значение, поскольку применим при решении задач управления цветопередачей в компьютерных системах с цветной периферией не только в интересах пользователей, чье цветовосприятие близко к цветовосприятию СН, но и в интересах пользователей, имеющих аномалии цветного зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов О.П., Зыкова З.П. Допечатное тестирование индивидуального зрительного восприятия // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – №12. – С.2-8.
2. Архипов О.П. Технология оцифровки цветовосприятия / О.П. Архипов, Л.Н. Бородина, Р.В. Зыков, З.П. Зыкова, Н.Ю. Носова, Е.В. Рябинкин. – М.: ИПИ РАН, 2009. – 115 с. – ISBN 978-5-902030-67-6.
3. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
4. Ивэнс Р.М. Введение в теорию цвета. – М.: Мир, 1964. – 441 с.
5. ColorOracle [Электронный ресурс] / Institute of Cartography, ETH Zurich, 2008. – Электрон. граф. дан. и прогр. – URL: <http://ColorOracle.Cartography.Ch>. – Загл. с экрана.
6. Викизнание [Электронный ресурс]: электрон. энциклопедия. – Электрон. дан. URL: <http://www.wikiznanie.ru>. – Загл. с экрана.
7. Шун: Симуляция дальтонизма [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – URL: <http://illyn.livejournal.com/140243.html>. – Загл. с экрана.
8. Веб-дизайн с научной точки зрения [Электронный ресурс] / автор сайта Пыхтин С. – Электрон. граф. дан. – URL: http://www.antula.ru/web-design_introduction.htm. – Загл. с экрана.
9. Vischeck [Электронный ресурс]. – Электрон. граф. дан. и прогр. – URL: <http://www.vischeck.com>. – Загл. с экрана.
10. Архипов О.П. Инструментальная оценка цветов отпечатков / О.П. Архипов, Л.Н. Бородина, Р.В. Зыков, З.П. Зыкова, Н.Ю. Носова, Е.В. Рябинкин. – М.: ИПИ РАН, 2009. – 89 с. – ISBN 978-5-902030-67-3.

Архипов Олег Петрович

Орловский филиал Учреждения Российской академии наук Института проблем информатики РАН,
г. Орел
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор ОФ ИПИ РАН
Тел.: +7(4862)33-57-41
[E-Mail:ofran@orel.ru](mailto:ofran@orel.ru)

Зыкова Зоя Петровна

Орловский филиал Учреждения Российской академии наук Института проблем информатики РАН,
г. Орел
Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, зав. лаб. ОФ ИПИ РАН
Тел.: +7(4862)36-86-88

Д.А. ВЕЛИГОША

**АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

В данной статье представлен разработанный алгоритм сжатия изображений на основе применения вейвлет-преобразований. Представленный алгоритм позволяет учитывать особенности структуры изображений и обеспечивает увеличение коэффициента сжатия и качества их обработки.

Ключевые слова: алгоритм; метод; оптимизация.

This article is about using fractal compressing to the graphic information. The method using in the given work allowing an estimation parameters of graphic information.

Keywords: algorithm; method; optimization.

В последние годы в базах данных хранятся и обрабатываются большие объемы изображений, используемых в различных областях науки и техники. Вследствие этого методы их сжатия, позволяющие уменьшить объем данных, стали неотъемлемой частью любой системы обработки изображений. Резкое увеличение объемов изображений, передаваемых по каналам связи, необходимость хранения больших массивов данных, а также развитие цифровой техники требуют использования новых, более эффективных методов сжатия изображений, так как на сегодняшний день темпы развития телекоммуникационных систем, средств обработки изображений не соответствуют предъявляемым требованиям [1].

В то же время анализ деятельности информационно-вычислительных центров различного предназначения показал, что изображения, обрабатываемые в них, составляют порядка 20% от общего объема обрабатываемой информации. Но в отличие от текстовой, эта информация занимает значительно большие объемы. Вследствие этого возникает необходимость уменьшения объемов обрабатываемых изображений с использованием эффективных методов сжатия.

На сегодняшний день существует множество алгоритмов сжатия как статических, так и динамических изображений, обеспечивающих высокий коэффициент их сжатия при сравнительно малых искажениях исходного изображения. Примером могут служить широко распространенные алгоритмы JPEG и MPEG. Они имеют достаточно высокие показатели сжатия и качества восстановления изображения.

В последнее время разрабатываются методы сжатия изображения, основанные на вейвлет-преобразованиях и способные устранить недостатки известных методов, а именно: повысить степень сжатия и качество восстановления изображения [2].

В [2] представлена модель сжатия изображений с использованием вейвлет-преобразований, которая включает этапы: декоррелирующее преобразование; квантование коэффициентов; энтропийное сжатие. Сжатие изображений в соответствии с этапами указанной модели не обеспечивает заданные показатели качества. Как показал анализ применительно к методу сжатия на основе вейвлет-преобразований, более высоких результатов сжатия и качества восстановления изображений удастся добиться за счет применения дополнений рассматриваемой модели дополнительными этапами.

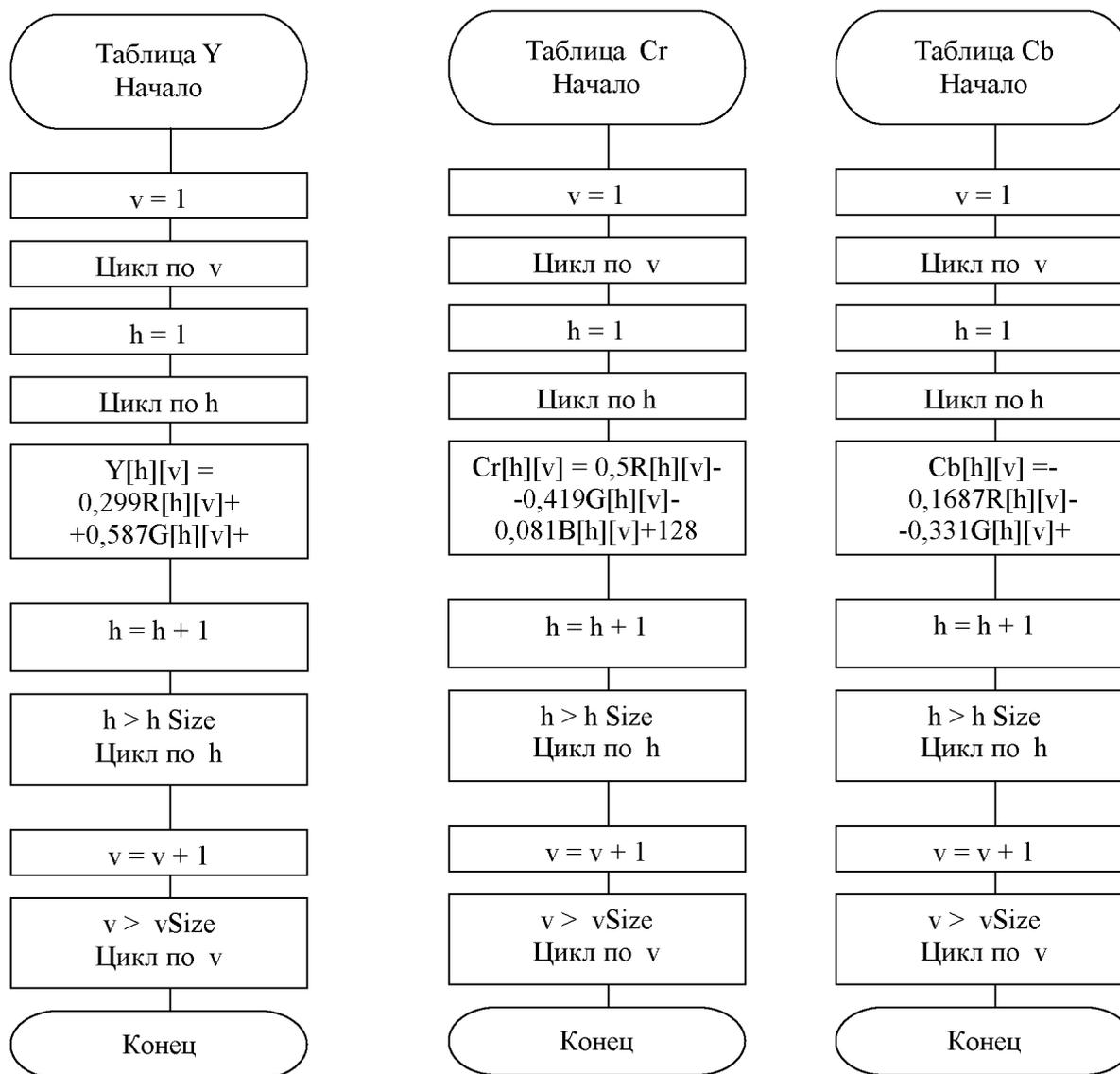


Рисунок 1 – Блок-схемы алгоритмов преобразования пространств

На основе полученной модифицированной модели сжатия изображений был разработан новый алгоритм сжатия на основе вейвлет-преобразований. Данный алгоритм содержит следующие шаги:

1. Преобразование пространств RGB в YCrCb. Формат RGB – это пространства красного, зеленого и синего цветов. Формат YCrCb – это пространство яркости Y и два цветоразностных пространства Cr и Cb.
2. Выполнение вейвлет-преобразований.
3. Квантование коэффициентов вейвлет-преобразований.
4. Построение «нуль-дерева».
5. Сжатие «длин-серий».
6. Сжатие с помощью классического метода Хаффмана.

Наиболее важными шагами предлагаемого алгоритма являются преобразование пространств и выполнение вейвлет-преобразования, поэтому на них остановимся более подробно. Преобразование пространств RGB в YCrCb производится по следующим причинам:

1. В пространстве Y сосредотачивается основная информация об изображении.
2. Пространства Cr и Cb менее контрастны, чем R , G или B . Из этого следует, что эти пространства на следующих шагах алгоритма необходимо обрабатывать более грубо, чем пространства Y .

Исходное изображение представляется в виде трех массивов R , G и B , в которых хранятся целочисленные значения интенсивности красного, зеленого и синего составляющих соответственно, в целочисленном диапазоне от 0 до 255. Высота изображения хранится в $vSize$, ширина в $hSize$ ($vSize, hSize \geq 1$). Блок-схемы алгоритмов преобразования пространств RGB в YCrCb представлены на рисунке 1.

Для получения новых пространств используют формулы:

$$\begin{aligned}
 Y &= Fy(R, G, B) = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \\
 Cr &= Fcr(R, G, B) = 0,5R - 0,419G - 0,081B + 128, \\
 Cb &= Fcb(R, G, B) = -0,168R - 0,331G + 0,5B + 128.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В выражении 1 присутствуют только операции сложения и умножения, таким образом погрешность P пространств Y , Cr , Cb определяется с учетом [3], как $P = 1,01 \cdot 10^{-3}$. Сложность представленных алгоритмов определяется количеством выполняемых итераций по следующему выражению:

$$C = hSize \cdot vSize. \tag{2}$$

При выполнении данных алгоритмов получают вещественные матрицы Y , Cr , Cb , каждая из которых выполняется отдельно, выполняя все этапы сжатия, указанные в общем алгоритме преобразования изображений.

После создания пространств YCrCb на следующем шаге алгоритма выполняется вейвлет-преобразование, позволяющее устранить коррелированность значений интенсивности пикселей в изображении. Используя вейвлет-базис, строка изображения раскладывается на две области: низкочастотную и высокочастотную. Низкочастотная область несет в себе информацию об образе строки изображения, высокочастотная – дополнительную информацию, учитывающую образ его деталей. Данное вейвлет-преобразование выполняется для каждой строки изображения, чтобы устранить коррелированность по вертикали над преобразованным пространством необходимо выполнить вейвлет-преобразования по столбцам.

Выполнение вейвлет-преобразования по столбцам и по строкам составляет один шаг преобразования. Выполнив его, получаем коэффициенты вейвлет-преобразования, расположенные в различных частотных областях. В предлагаемом алгоритме предусмотрено последовательное выполнение данных шагов. Для выполнения вейвлет-преобразования необходимо в вещественный массив $data$ алгоритма скопировать значения массива Y , Cr , Cb , в соответствии с обрабатываемым пространством.

В блоке Steps алгоритма находится значение, определяющее количество шагов вейвлет-преобразования. Преобразованные по вейвлет-базису данные сохраняются в массиве $data$ алгоритма.

Проведенные оценки показали, что погрешность, носимая алгоритмом преобразования пространств и алгоритмом вейвлет-преобразования, является незначительной, что показывает их эффективность. В целом предлагаемый алгоритм сжатия изображений на основе вейвлет-преобразований имеет линейную сложность, то есть, количество итераций алгоритма линейно зависит от количества точек в исходном изображении. Качество восстановления изображения в зависимости от степени сжатия алгоритмом JPEG и алгоритмом на основе вейвлет-преобразования

выше у предлагаемого алгоритма. Данная зависимость особенно возрастает при степени сжатия изображения более 60, что так же доказывает эффективность данного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарахвелидзе П.Г., Шабиков Е.И. Методы сокращения избыточности видеоданных. – СПб.: ВИКУ, 1999. – 84с.
2. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. – М.: Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. – 76 с.
3. Амосов А.А. и др. Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высшая школа, 1994.- 544 с.

Велигоша Дмитрий Александрович

Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь

Аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления»

Тел.: (8652) 34-09-90

E-mail: tomvell@mail.ru

УДК 621.391

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, Е.М. МАМАТОВ, А.С. БЕЛОВ, А.В. КУРЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ РУССКОЙ РЕЧИ ОТ ШУМОВ

В статье рассматриваются методы обработки речевых данных, позволяющие повысить разборчивость записанных речевых сигналов при их воспроизведении за счет очистки от шума. В качестве нового подхода к очистке речи от шума рассмотрен метод субполосного преобразования, в котором применяется математический аппарат субполосных матриц и собственных чисел, позволяющий оказывать избирательное воздействие на частотные компоненты речевого сигнала в заданных частотных интервалах. Проведен анализ эффективности очистки русской речи от шумов рассмотренных методов.

Ключевые слова: речевой сигнал; спектральное вычитание; адаптивная фильтрация; субполосное преобразование; частотное представление; шум.

In article methods of processing of the speech data are considered, allowing to raise legibility of the written down speech signals at their reproduction at the expense of clearing of noise. As the new approach to clearing of speech of noise the method of substrip transformation in which the mathematical apparatus of substrip matrixes and own numbers is applied is considered, allowing to have selective influence on frequency components of a speech signal in the set frequency intervals. The analysis of efficiency of clearing of Russian speech from noise of the considered methods is carried out.

Keywords: speech signal; spectral subtraction; adaptive filtration; substrip transformation; frequency representation; noise.

ВВЕДЕНИЕ

Речевые сообщения являются одной из наиболее часто используемых естественных для человека форм информационного обмена. Наряду с непосредственным обменом речевыми сообщениями, в настоящее время существенное значение приобрели технологии, обеспечивающие речевой информационный обмен на расстоянии, включая создание хранилищ речевых данных различного назначения, например, фонотеки, концертные записи, голосовая почта, аудио-книги, записи лекционных занятий, разговоры диспетчеров с различными службами в аэропортах, железнодорожных вокзалах, аудиозаписи видеоконференций, любительские диктофонные записи.

Как правило, в процессе записи, речевые данные подвержены влиянию различных шумов, которые появляются вследствие неидеальности записывающей аппаратуры, собственных шумов микрофонов, внешней шумовой обстановки, различных электромагнитных наводок. Наличие этих факторов вызывает ухудшение разборчивости человеком речевых сообщений при их воспроизведении. В связи с этим, создание методов и алгоритмов обработки речевых данных, позволяющих повысить качество звучания подобных записей, является актуальной задачей.

К настоящему времени разработано очень большое количество различных методов цифровой обработки зашумленных речевых сигналов, таких как: методы адаптивной компенсации помех, методы, основанные на использовании математических моделей речевых сигналов во временной области (например, авторегрессионная модель речевого сигнала и рекуррентные алгоритмы оценки параметров и речевого сигнала); методы, основанные на использовании математических моделей речевых сигналов в частотной области (оценивание

минимальной среднеквадратической ошибки, марковские модели сигнала и шума); методы, основанные на использовании спектральных характеристик шума (вычитание амплитудных спектров, Винеровская фильтрация); методы, основанные на использовании моделей искусственных нейронных сетей; методы, основанные на моделях восприятия речи человеком [1].

В статье будут рассмотрены методы обработки речевых данных, такие как спектральное вычитание, адаптивная фильтрация и субполосная фильтрация.

МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОГО ВЫЧИТАНИЯ

Для повышения разборчивости речи путем очистки речевого сигнала от шума, применяется алгоритм спектрального вычитания амплитуд шума по модулю, описываемый в общем виде следующим выражением [1]:

$$|S_k(m)| = \begin{cases} |X_k(m)| - A \cdot |N_m(m)|, & \text{если } |X_k(m)| \geq (A+B) \cdot |N_m(m)| \\ B \cdot |N_m(m)| & \end{cases}, \quad (1)$$

где $|X_k(m)|$ – модуль спектра m -го кадра зашумленного сигнала, $k = \overline{1, N}$, определяемый выражениями вида:

$$X_k(m) = \sum_{l=1}^N x_m(l) \exp(-j \frac{2\pi k l}{N}) \quad (2)$$

$$|X_k(m)| = \sqrt{(\sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \sin(\frac{2\pi k l}{N}))^2 + (\sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \cos(\frac{2\pi k l}{N}))^2}. \quad (3)$$

Для подавления просачивания спектральных составляющих, которое может привести к смещению оценок амплитуд и положений гармонических составляющих сигнала, применяется оконная функция Ханна $w(l)$ для точного вычисления коэффициентов Фурье.

$$x_m(l) = x(l)w(mM - l), \quad (4)$$

где m – индекс кадра, M – сдвиг от кадра к кадру, N – длина кадра. $l = \overline{1, N}$ – индекс дискретизации. $x(l)$ – исходный зашумленный сигнал.

$|S_k(m)|$ – модуль спектра очищенного сигнала, $|N_k(m)|$ – модуль спектра шума, определяемый из соотношений:

$$N_k(m) = \sum_{l=1}^N x_m(l) \exp(-j \frac{2\pi k l}{N}) \quad (5)$$

$$|N_k(m)| = \sqrt{(\sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \sin(\frac{2\pi k l}{N}))^2 + (\sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \cos(\frac{2\pi k l}{N}))^2}. \quad (6)$$

Модуль спектра шума $|N_k(m)|$ определяется на отрезке паузы с заведомым отсутствием звуков речи. A – коэффициент спектрального вычитания (0,7-0,95), B – спектральный порог (0,01-0,1).

Восстановление речевого сигнала во временной области осуществляется с помощью обратного дискретного преобразования Фурье:

$$x_m(l) = \sum_{k=1}^N |S_k(m)| \cdot e^{-j\varphi_k(m)} \exp(j \frac{2\pi k l}{N}). \quad (7)$$

Фаза восстановленного сигнала $\varphi_k(m)$ берется такой же, как у исходного сигнала.

$$\varphi_k(m) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(X_k(m))}{\text{Re}(X_k(m))}\right), \quad (8)$$

где $\text{Im}(X_k(m)) = \sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \sin\left(\frac{2\pi kl}{N}\right)$, $\text{Re}(X_k(m)) = \sum_{l=1}^N x_m(l) \cdot \cos\left(\frac{2\pi kl}{N}\right)$

МЕТОД АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Другим подходом к очистке сигнала от шума является метод адаптивной фильтрации. На первом этапе обработки применялась процедура обнаружения участков речевого сигнала, соответствующих паузам речи и удаление в них шума, описанная в [2].

На втором этапе очистки, для отрезков сигнала, принадлежащих к отрезку речевого сигнала, применяется алгоритм адаптивной фильтрации:

$$\hat{x}_i = \sum_{k=1}^p \beta_k \cdot x_{i-k}, \quad i = p+1, \dots, N, \quad (9)$$

где \hat{x}_i – очищенный сигнал, x_i – исходный известный сигнал, p – порядок фильтра β_k – коэффициенты линейного предсказания, которые определяются из условия

$$S_p^2 = \sum_{i=p+1}^N \left[x_i - \sum_{k=1}^p \beta_k \cdot x_{i-k} \right]^2 = \min, \quad \forall \bar{\beta}_p \in R^p, \quad (10)$$

где $\bar{\beta}_p = (\beta_{1p}, \dots, \beta_{pp})^T$

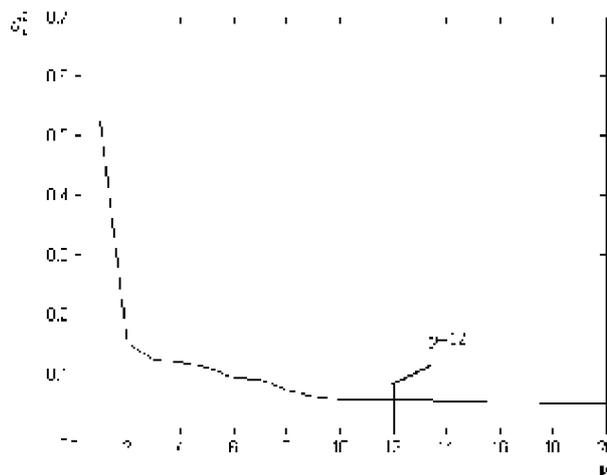


Рисунок 1 – График определения порядка фильтра

От величины порядка p фильтра будет зависеть значение коэффициентов β_k и уровень энергии выходной последовательности фильтра. Если построить функциональную зависимость S_p^2 , то очевидно, что функция S_p^2 монотонно убывает с ростом порядка p , рисунок 1. Однако при некотором его значении будет наблюдаться уменьшение скорости убывания. Это значение p и следует выбрать в качестве порядка фильтра, подходящего с точки зрения наименьших квадратов модели авторегрессии. Этот принцип определения порядка фильтра называется критерием Акаике [3].

МЕТОД СУБПОЛОСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Метод субполосного преобразования также включает в себя два этапа очистки. Первый аналогичен процедуре обнаружения участков речевого сигнала, соответствующих паузам речи, и удаления в них шума [2]. На втором этапе очистки для отрезков сигнала, принадлежащих к отрезку речевого сигнала, применяется алгоритм субполосного преобразования.

В общем виде очистка речи от шума определяется следующими выражениями:

$$\hat{x}_N = (x_{1N}, \dots, x_{rN})^T = \sum_{r=1}^R c_r \vec{u}_{rN}, \quad (11)$$

$$\vec{u}_{rN} = (u_{r1}, \dots, u_{rN})^T \quad (12)$$

$$\vec{u}_{rN} = \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_{kN}^r \alpha_{kN}^r \vec{q}_{kN}^r, \quad (13)$$

где \hat{x}_N – вектор значений выходного обработанного речевого сигнала c_r – весовые коэффициенты частотных компонент, \vec{u}_{rN} – векторы частотных компонент, соответствующие заданным частотным интервалам, λ_{kN}^r – собственные числа субполосной матрицы A_{rN} , \vec{q}_{kN}^r – собственные вектора субполосной матрицы A_{rN} . α_{kN}^r – скалярные произведения анализируемого вектора и соответствующего ортогонального собственного вектора $\alpha_{kN}^r = (\vec{q}_{kN}^r, \vec{x}_N)$, $\lambda_{kN}^r \vec{q}_{kN}^r = A_{rN} \vec{q}_{kN}^r$, $k = 1, \dots, N$; $r = 1, \dots, R$.

$A_{rN} = \{\alpha_{ik}^r\}$, $i, k = 1, \dots, N$; $r = 1, \dots, R$ – субполосные матрицы с элементами вида

$$\alpha_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[v_2^r(i-k)] - \sin[v_1^r(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{v_2^r - v_1^r}{\pi}, & i = k \end{cases}. \quad (14)$$

Весовые коэффициенты c_r для информационных частотных компонент полагаются равными $c_r = 1$, для неинформационных $c_r = 0$. Таким образом, подавление неинформационных частотных компонент осуществляется избирательным воздействием (11), путем умножения весовых коэффициентов $c_r = 0$ на векторы неинформационных частотных компонент \vec{u}_{rN} , соответствующие заданным частотным интервалам. В задаче определения информационных и неинформационных частотных компонент, используется представление, которое позволяет точно вычислять долю энергии, сосредоточенной в заданном частотном интервале, полученное в [4]:

$$P_{rN} = \vec{x}_N^T A_{rN} \vec{x}_N, r = 1, \dots, R, \quad (15)$$

где $\vec{x}_N = (x_1, \dots, x_N)^T$ – вектор анализируемых отчетов входного сигнала.

Несмотря на то, что различные звуки речи порождают отрезки разной длительности, оказывается возможным при различных сочетаниях длительностей интервалов анализа и количеств частотных интервалов оценить характеристику сосредоточенности их энергий, вида

$$W_{NR}^t = f_{NR}^{tm} / R, \quad (16)$$

где в числителе справа стоит минимальное количество частотных интервалов (частотная концентрация), в которых сосредоточена заданная доля энергии звукового отрезка, так что имеет место

$$f_{NR}^{tm} = \min d_{NR}^{tm}. \quad (17)$$

Здесь для правых частей выполняется неравенство

$$\sum_{k=1}^{d_{NR}^{tm}} P_{(k)N} \geq m \|\vec{x}_N\|^2 = m \sum_{i=1}^N x_i^2, \quad (18)$$

а верхний индекс t обозначает один из звуков русской речи, причём индекс в скобках у слагаемых суммы слева соотношения (18) означает, что доли энергий P_{kN} упорядочиваются по убыванию, то есть имеет место

$$P_{(k)N} \in \{P_{rN}, r = 1, \dots, R\}; P_{(k+1)N} \leq P_{(k)N}, k = 1, \dots, R, \quad (19)$$

а m – задаваемая доля общей энергии, которая должна быть сосредоточена в указанном минимальном количестве частотных интервалов.

Частотная концентрация энергий звуков речи гораздо выше, чем у шумов. В частности, для всех звуков речи, даже при очень большой доле энергии $m = 0,95$, для её частотной концентрации выполняется неравенство

$$W_{NR}^t = f_{NR}^m / R \leq 0,5, \quad (20)$$

тогда как в случае отрезков, порождённых только шумами, имеет место

$$W_{NR}^t = f_{NR}^m / R > 0,7. \quad (21)$$

Использование установленного свойства концентрации заданного количества энергии сигналов, порождаемых звуками русской речи, в малой доле частотной полосы, вполне обоснованно для построения метода селекции информационных и неинформационных компонент.

Алгоритм определения информационных и неинформационных частотных компонент строится следующим образом.

Исходный сигнал разбивается на отрезки длительностью $N=60$ отчетов и $R=10$ частотных интервалов. Для ускорения вычислений долей энергии для каждого обрабатываемого отрезка речевого сигнала в заданных частотных интервалах используется выражение

$$P_{rN} = \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_{kN}^r (\alpha_{kN}^r)^2. \quad (22)$$

Количество элементов J_r в выражении (22) определяется из условия

$$J_r = \left\lceil \frac{N}{R} \right\rceil + 2, \quad (23)$$

где N – длительность анализируемого отрезка речевого сигнала, R – количество частотных интервалов.

Вычисленные на основании выражения (22) доли энергии для каждого частотного интервала (рисунок 2), ранжируются по убыванию

$$P_{(k)N} \in \{P_{rN}, r = 1, \dots, R\}; P_{(k+1)N} \leq P_{(k)N}, k = 1, \dots, R \quad (24)$$

и устанавливается энергетический порог $H=92\%$ от общей доли энергии, содержащейся во всех частотных интервалах, рисунок 3.

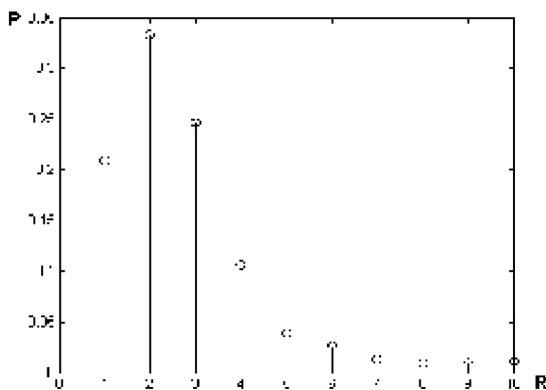


Рисунок 2 – Распределение долей энергий отрезка анализируемого речевого сигнала для каждого частотного интервала

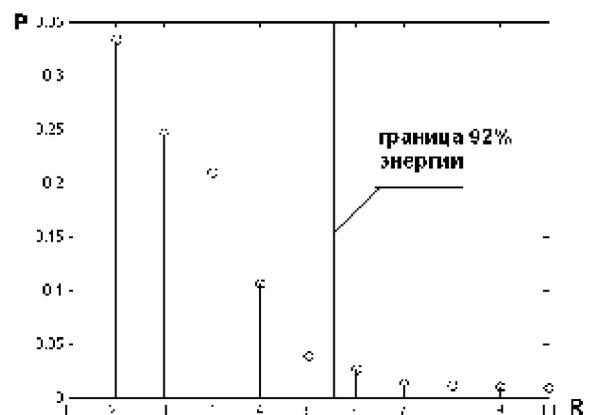


Рисунок 3 – Упорядоченное по убыванию распределение долей энергии отрезка анализируемого речевого сигнала в выбранных частотных интервалах

Частотные компоненты, отделенные справа от порога H , принимаются как неинформационные и путем избирательного воздействия (11) подавляются, рисунок 4.

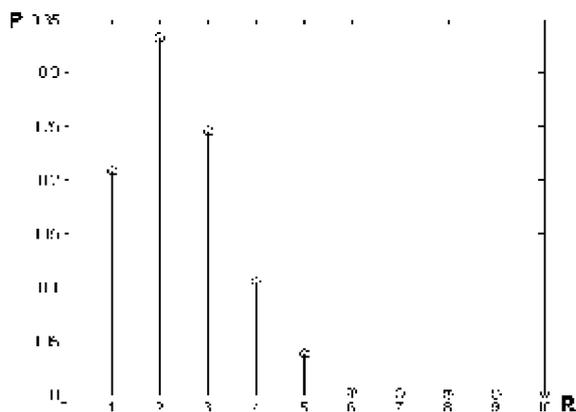


Рисунок 4 – Распределение долей энергии отрезка анализируемого речевого сигнала в заданных частотных интервалах после подавления неинформационных компонент

Подавление неинформационных частотных компонент приводит к улучшению разборчивости и комфортности при воспроизведении речевых данных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для эксперимента использовался фрагмент записи лекции с частотой дискретизации 8000Гц и разрядностью 16 бит. Фрагмент представляет собой фразу мужского голоса «Заяц». Далее фрагмент зашумливался белым шумом с равномерным распределением и единичной дисперсией. Зашумленный фрагмент сигнала обрабатывался методом спектрального вычитания, адаптивной фильтрации и субполосного преобразования.

Для оценки эффективности очистки от шума, после обработки перечисленными выше методами, из фразы «Заяц» был вырезан звук «а» длительностью 360 отсчетов (с 3040 по 3400). Используя представление (11), были получены распределения долей энергии по частотным интервалам звука «а». На рисунке 5 показаны результаты для исходного незашумленного сигнала, на рисунке 6 – для зашумленного сигнала.

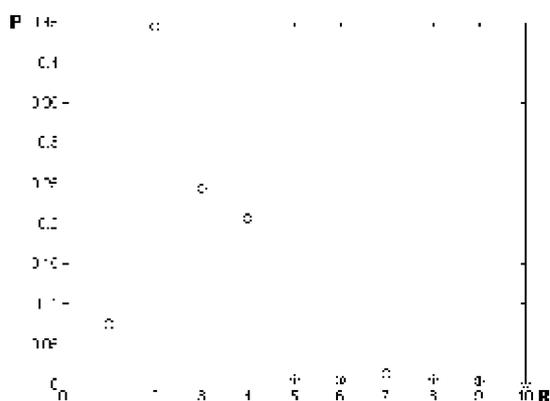


Рисунок 5 – Распределение долей энергии по частотным интервалам звука «а» исходного сигнала

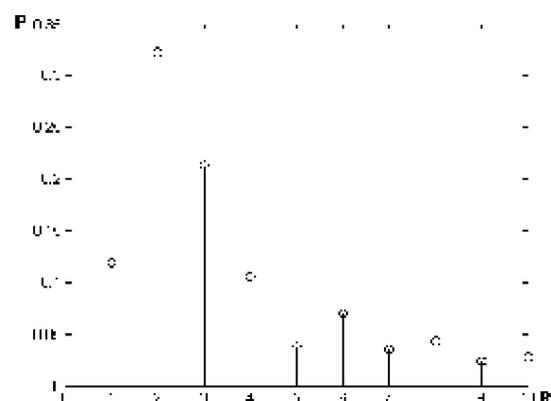


Рисунок 6 – Распределение долей энергии по частотным интервалам звука «а» зашумленного сигнала

Результаты обработки фрагмента речевого сигнала методом спектрального вычитания представлены на рисунке 7. Результаты обработки фрагмента речевого сигнала методом адаптивной фильтрации, представлены на рисунке 8.

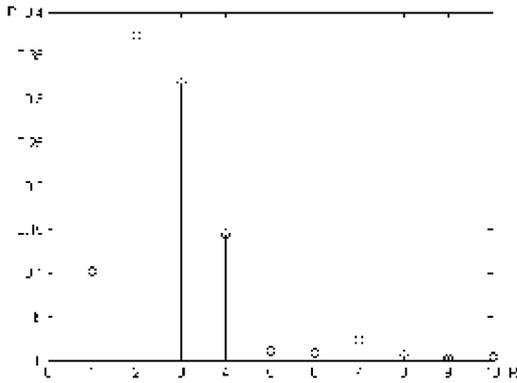


Рисунок 7 – Распределение долей энергии по частотным интервалам звука «а», вырезанного из зашумленной фразы «Заяц», обработанной методом спектрального вычитания

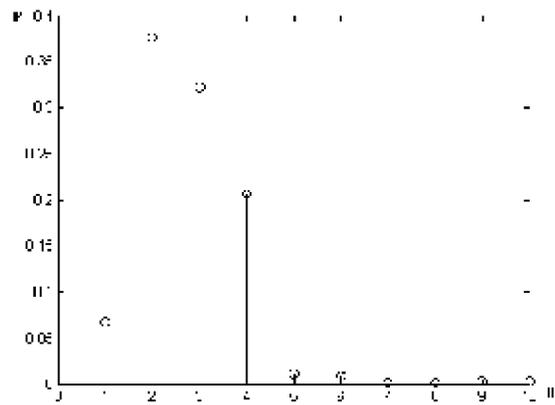


Рисунок 8 – Распределение долей энергии по частотным интервалам звука «а», вырезанного из зашумленной фразы «Заяц», обработанной методом адаптивной фильтрации

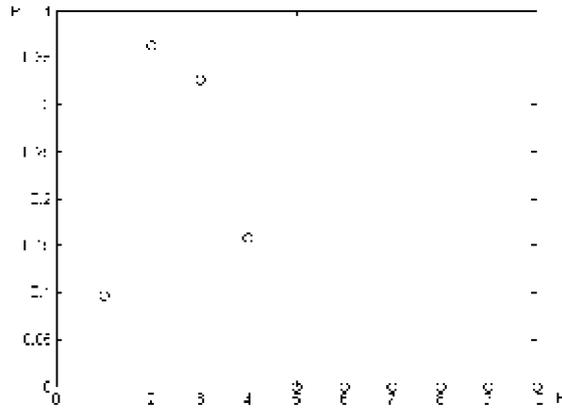


Рисунок 9 – Распределение долей энергии по частотным интервалам звука «а», вырезанного из зашумленной фразы «Заяц», обработанной методом субполосного преобразования

Результаты обработки фрагмента речевого сигнала методом субполосного преобразования, представлены на рисунке 9.

Методом экспертных оценок проводился сопоставительный анализ полученных результатов. Пяти членам экспертной комиссии был воспроизведен зашумленный фрагмент речевого сигнала. Затем была дана возможность прослушать этот же фрагмент записи после обработки тремя рассматриваемыми методами очистки от шума. Члены комиссии оценивали эффективность очистки по пятибалльной шкале оценок. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспертной оценки эффективности очистки фразы речевого сигнала тремя методами

№ эксперта метод	Эксперт1	Эксперт2	Эксперт3	Эксперт4	Эксперт5	Средняя Оценка
Спектральное вычитание	4	4	3	4	4	3,8
Адаптивная фильтрация	5	4	4	4	5	4,4
Субполосное преобразование	5	4	5	5	4	4,6

Был произведен расчет среднеквадратической погрешности обработанного сигнала от исходного по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \tilde{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N x_i^2}}, \quad (25)$$

где x_i – исходный сигнал, без шума \tilde{x}_i – обработанный сигнал.

Полученные результаты показаны в таблице 2

Таблица 2 – Среднеквадратическая погрешность обработанного сигнала от исходного

Метод	Спектральное вычитание	Адаптивная фильтрация	Субполосное преобразование
Среднеквадратическая погрешность	0.2837	0.4554	0.1174

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы, что обработка методом спектрального вычитания дает удовлетворительные результаты очистки речи от шума. Уровень шума удастся уменьшить, но на отрезках сигналов с отсутствием звуков речи все же присутствует остаточный шум, а на фоне речи появляются небольшие искажения сигнала, выраженные в виде щелчков.

После обработки методом адаптивной фильтрации на фоне речи прослушивается небольшой шум. На отрезках с отсутствием звуков речи шум практически отсутствует, благодаря применению в обработке процедуры обнаружения пауз и удаления в них шума, что дает хороший результат при очистке зашумленных речевых данных.

Метод субполосного преобразования дает наилучший результат очистки речи. Шума практически не слышно как на отрезках, соответствующим паузам, так и на фоне речи. В данном методе также была применена процедура обнаружения пауз и удаления в них шума.

Результаты таблицы 1 подтверждают проведенный анализ эффективности очистки исследуемых методов.

Анализ таблицы 2 показывает, что наименьшее значение среднеквадратической погрешности обработанного сигнала от исходного – при использовании метода субполосного преобразования. Это означает, что при обработке данным методом наименьшим образом происходит искажение обработанного сигнала, по сравнению с исходным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чучупал В.Я. Цифровая обработка зашумленных речевых сигналов / В.Я. Чучупал, А.С. Чичагов, К.А. Маковкин. – М.: Вычислительный центр РАН, 1998. – 52 с.
2. Жилияков Е.Г., Белов С.П. Уменьшение объема битового представления речевых данных на основе нового метода удаления пауз // Вопросы радиоэлектроники. Серия Электронная вычислительная техника. – Москва, 2007. – Выпуск 2. – С. 124-138.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов прогноз и управление – Часть 1. – М.: 1974. – 197 с.
4. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным: монография. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.

Жиляков Евгений Георгиевич

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

Маматов Евгений Михайлович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Кандидат технических наук,
доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: (4722) 30-13-52
E-mail.: mamatov@bsu.edu.ru

Белов Александр Сергеевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Кандидат технических наук
Старший преподаватель кафедры прикладной информатики
Тел.: (4722) 30-13-57
E-mail.: belov_AS@bsu.edu.ru

Курлов Александр Васильевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел.: (4722) 30-13-00*21-74,
E-mail: kurlov@bsu.edu.ru

Н.В. КАРПОВ

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФОНЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕОРИИ ВОСПРИЯТИЯ РЕЧИ

Рассмотрена проблема оптимальности словаря эталонов элементарных речевых единиц в задачах автоматической обработки и распознавания речи. Для ее решения предложен критерий минимума суммы информационных рассогласований и разработан новый алгоритм оптимизации словаря эталонов с автоматической настройкой по речевым сигналам от отдельных дикторов. Описаны экспериментальные исследования эффективности разработанного алгоритма и оптимизации его параметров.

Ключевые слова: обработка сигнала; фонетический анализ речи; элементарные речевые единицы; распознавание речи.

Optimality problem of speech units database automatic formation in speech processing and recognition systems is considered here. To solve this problem we use minimum of total informational discrepancy criterion. New optimizing algorithm of etalon units of speech base with automatic adjustment for different speakers was developed. Experimental research of algorithm analysis effectiveness and characteristic optimization are described.

Keywords: signal processing; speech phonetic analysis; atomic speech unit; speech recognition.

Большинство современных методов автоматической обработки речи основывается на процедуре предварительного сегментирования сигналов на короткие отрезки данных. В результате задача сводится к поэтапному анализу речи. На первом базовом этапе формируются элементарные речевые единицы (ЭРЕ) типа отдельных фонем. На втором, заключительном этапе исследуются слова, фразы и целые тексты как соответствующим образом структурированные последовательности разных ЭРЕ. В результате задача формирования ЭРЕ и фонем является неотъемлемой частью фонетического анализа слитной речи (ФАР) в общем случае. Соответственно, работа всей системы автоматической обработки во многом зависит от эффективности фонетического анализа речи. При этом состав и качество базового словаря или фонетической базы данных (ФБД) некоторого фиксированного объема $R < \infty$ во многом определяют достигаемое качество ФАР. Поэтому формирование или настройка ФБД является ключевой для большинства современных методов автоматической обработки сигнала.

Теории и практике осуществления анализа речи на основе принципа минимума информационного рассогласования распределений (МИР) на основе информационной теории восприятия речи (ИТВР) и посвящена представленная статья. Она представляет собой одну из наиболее перспективных ветвей развития акустической теории речеобразования, которая своими корнями уходит в классические работы Г. Гельмгольца 1870-х гг. Основная идеология этих работ осталась без изменения до настоящего времени и в явном или неявном виде принимается большинством современных специалистов в области обработки речи. При этом, конечно, учитывается целый ряд математических и технико-технологических усовершенствований, введенных и исследованных в работах Т. Чибо и М. Каджияма, Г. Фанта и ряде других работ последнего периода. Среди работ российских авторов в

данном направлении следует отметить, прежде всего, тематический цикл работ профессора Галунова В.И. ИТВР в своей идеологии следует в русле гипотезы Л.А. Варшавского и И.М. Литвака о том, что качество звуков зависит, в основном, от уровня соотношений мощности в соседних спектральных полосах, а форманты (максимумы в спектре) являются лишь доступным способом достижения необходимых межполосных соотношений. Проблема состоит в том, что особенности формы частотных спектров мощности сильно варьируются (изменяются произвольным образом) не только от одной ЭРЕ к другой, но и от одного диктора к другому в пределах одной и той же ЭРЕ и даже в пределах одного диктора в зависимости от времени суток, его эмоционального состояния и других второстепенных факторов речи. Данный эффект в теории обработки речи известен как проблема вариативности устной речи. До настоящего времени она является главным препятствием на пути автоматического формирования речевых баз данных, включая и ФБД как их фундаментальную разновидность. Как следствие, все существующие на данный момент речевые или фонетические базы данных как в нашей стране, так и за рубежом основываются, как правило, на эвристических процедурах обработки речевого сигнала. В противовес всем им ИТВР предлагает строгий подход к решению проблемы вариативности речи – на основе теоретико-информационного определения самого понятия «фонема».

МЕТОД ОБЕЛЯЮЩЕГО ФИЛЬТРА

Сводя задачу статистической классификации к случаю параметрической неопределенности и выдвигая встречную гипотезу о гауссовом законе распределения речевого сигнала, приходим к выражению для величины информационного рассогласования общего вида:

$$I(W^*|W_r) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{|K_r|}{|K^*|} \right) + \frac{1}{2} \text{tr}(K_r^{-1}K^*) - \frac{n}{2}. \quad (1)$$

Здесь K^* и K_r – матрицы автоковариации для распределений W^* и W_r соответственно, а $\text{tr}(\dots)$ – операция взятия тренда (следа) матрицы.

Именно гауссовым законом распределения, а также линейной авторегрессионной (АР) моделью формирования речевого сигнала (общеизвестная и распространенная модель) в ИТВР обосновывается метод обеляющего фильтра для решения задач проверки статистических гипотез общего вида.

При этом набор оптимальных решающих статистик или величины информационных рассогласований из выражения (1) принимает следующий вид:

$$\rho_{x,r} = \frac{1}{2} \left[\sigma_r^2(\mathbf{x}) / \sigma_r^2 + \ln(\sigma_r^2 / \sigma_x^2) - 1 \right], \quad r = \overline{1, R}. \quad (2)$$

Здесь $\sigma_r^2(\mathbf{x}) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [y_{r,l}(t)]^2$ – выборочная дисперсия отклика r -го обеляющего фильтра

$$y_r(t) = x(t) - \sum_{i=1}^p a_{r,i} x(t-i), \quad t = 1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

на вектор анализируемого сигнала $\mathbf{x} = \{x(t)\}$, а $\sigma_x^2 \in \{\sigma_r^2\}$ – дисперсия его порождающего процесса; $\mathbf{A}_r = \{a_{r,i}\}$, $i = \overline{1, p}$, – вектор АР-коэффициентов АР-модели

r -го речевого сигнала. Нетрудно увидеть, что набор из R таких векторов $\{A_r\}$ и образует в конечном итоге априорную базу данных для практического осуществления метода обеляющего фильтра (МОФ) в задачах статистической многоальтернативной классификации. Применительно к элементарным речевым сигналам типа ЭРЕ – это и есть ФБД. Алгоритм ее автоматического формирования по конечному фрагменту речевого сигнала на этапе подготовки данных для применения МОФ в задачах фонетического анализа речи является главным предметом исследования диссертационной работы. При этом применяется строгое теоретико-информационное определение фонемы как множества (типа кластера) одноименных (подобных) ЭРЕ, объединенных между собой по критерию МИР. Указанное определение – еще один базовый элемент ИТВР. Эффективность метода обеляющего фильтра (2)...(3) может быть охарактеризована набором условных вероятностей перепутывания каждого v -го и r -го сигналов:

$$\alpha_{v,r} = 0,5[1 - \Phi\{(\rho(W_v/W_r) - \tilde{m})/\sqrt{2\tilde{m}^2/m}\}]. \quad (4)$$

Здесь $\Phi\{\bullet\}$ – интеграл вероятности или функция Лапласа, m – число степеней свободы величины χ_m^2 Пирсона, \tilde{m} – математическое ожидание χ_m^2 . Чем больше удельная величина информационного рассогласования $\rho(W_v/W_r)$, тем больше вероятность ошибки $\alpha_{v,r}$.

Кардинальным направлением дальнейших исследований служили возможности метода обеляющего фильтра с нормировкой элементарных речевых единиц по дисперсии порождающего белого шума в их авторегрессионных моделях формирования: $\forall r \leq R: \sigma_r^2 = \sigma_x^2 = \sigma_0^2$.

Целесообразность такой нормировки применительно к сигналам типа ЭРЕ продиктована физиологическими особенностями голосового механизма человека. На интервалах длительностью в слово, а иногда и в течение целой фразы воздушный поток на входе «акустической трубы» имеет приблизительно одну и ту же интенсивность $\sigma_0^2 = const$. При учете этого свойства предыдущий результат (2) приобретает предельно простой вид:

$$\rho_{x,r} = \frac{1}{2} \left[\sigma_r^2(x) / \sigma_0^2 - 1 \right], \quad r = \overline{1, R} \quad (5a)$$

или, переходя в частотную область, будем иметь:

$$\rho_{x,r} = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \left(\frac{G_x(f)}{G_r(f)} \right) - 1, \quad r = \overline{1, R}, \quad (5b)$$

где $G_x(f)$ – выборочная оценка спектральной плотности мощности сигнала x в функции дискретной частоты f ; $G_r(f)$ – спектральная плотность мощности r -ого сигнала из словаря эталонов; F – верхняя граница сигнала или используемого канала связи. Решение здесь принимается в пользу v -го речевого класса (образа) $W_v(x)$ по признаку минимальной решающей статистики.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА

Для синтеза алгоритма формирования фонетической базы данных выбрано определение фонемы, с точки зрения ИТВР – это множество элементарных речевых

единиц, объединенных в группу по критерию МИР. На основе данного определения был синтезирован двухэтапный алгоритм формирования словаря ЭРЕ типа отдельных фонем из слитной речи с адаптацией или самообучением в режиме «без учителя».

Первый этап алгоритма – это деление имеющегося фрагмента речевого сигнала на короткие (T порядка 10 мс) сегменты (отрезки) приблизительной его стационарности с одновременным вычислением по каждому сегменту данных соответствующих значений авторегрессионных параметров. Для этого применялась известная рекуррентная вычислительная процедура Берга-Левинсона:

$$a_m(i) = a_{m-1}(i) + \kappa_m a_{m-1}(m-i), \quad i = \overline{1, m}; \quad (6)$$

На этом этапе вычислений предложен метод редукции данных, основанный на объединении однородных смежных сегментов в один без потери полезной информации. Решение об объединении принималось по критерию допустимого информационного рассогласования

$$\rho(\mathbf{x}_l, \mathbf{x}_{l+1}) \leq \rho_1, \quad \mathbf{x}_l \cap \mathbf{x}_{l+1} = \mathbf{X}_L, \quad (7)$$

где ρ_1 – некоторый пороговый уровень, характеризующий допустимую степень неоднородности одноименных сегментов речевого сигнала.

Кроме того, для отбора надежных фонем дополнительно применялась процедура проверки речевой единицы в отношении ее длительности τ_L :

$$\tau_L \geq \tau_0 = nT, \quad (8)$$

τ_0 – порог по длительности, кратный периоду сегментации T .

На втором этапе алгоритма все множество выделенных элементарных речевых единиц было разбито на R подмножеств – путем последовательной группировки подобных в одну фонему-кластер – все по тому же критерию МИР:

$$\min \rho(\mathbf{X}_L, \mathbf{X}_{L+1}) \leq \rho_2. \quad (9)$$

Здесь ρ_2 – второй пороговый уровень, характеризующий допустимую степень неоднородности в метрике Кульбака-Лейблера одноименных ЭРЕ.

После этого на основе критерия минимума суммы информационных рассогласований в пределах каждого r -го кластера

$$\rho_k^{(r)} = \sum_{j=1}^{J_r} \rho^{(r)}(\mathbf{X}_k, \mathbf{X}_j), \quad k = \overline{1, J_r} \quad (10)$$

определялся (согласно ИТВР) его информационный центр-эталон вида

$$\mathbf{X}_r^* = \arg \min_k \rho_k^{(r)}, \quad r = \overline{1, R}. \quad (11)$$

Все основные параметры разработанного алгоритма – уровень порога при сегментации ρ_1 , порог по длине элементарной речевой единицы τ_0 , пороговый уровень ρ_2 , порядок модели – были установлены по результатам его экспериментальных исследований.

Ниже представлена авторская программная разработка на базе синтезированного выше алгоритма автоматического формирования фонетической базы данных (5)...(11). Главное окно программы представлено на рисунке 1. Здесь перечислены все фонемы диктора из сформированной фонетической базы данных. В правой части окна дается информация о фонеме.

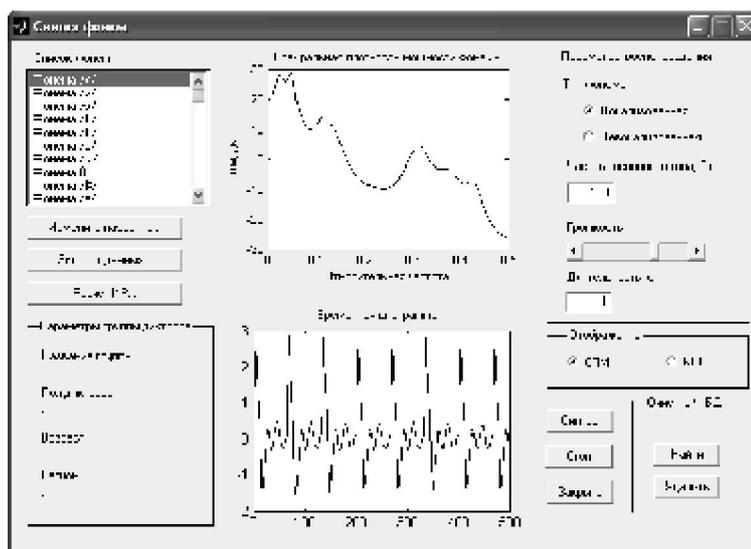


Рисунок 1 – Главное окно информационной системы

Программа реализована в среде математического моделирования Matlab-6.5. Ее структурная блок-схема показана на рисунке 2.

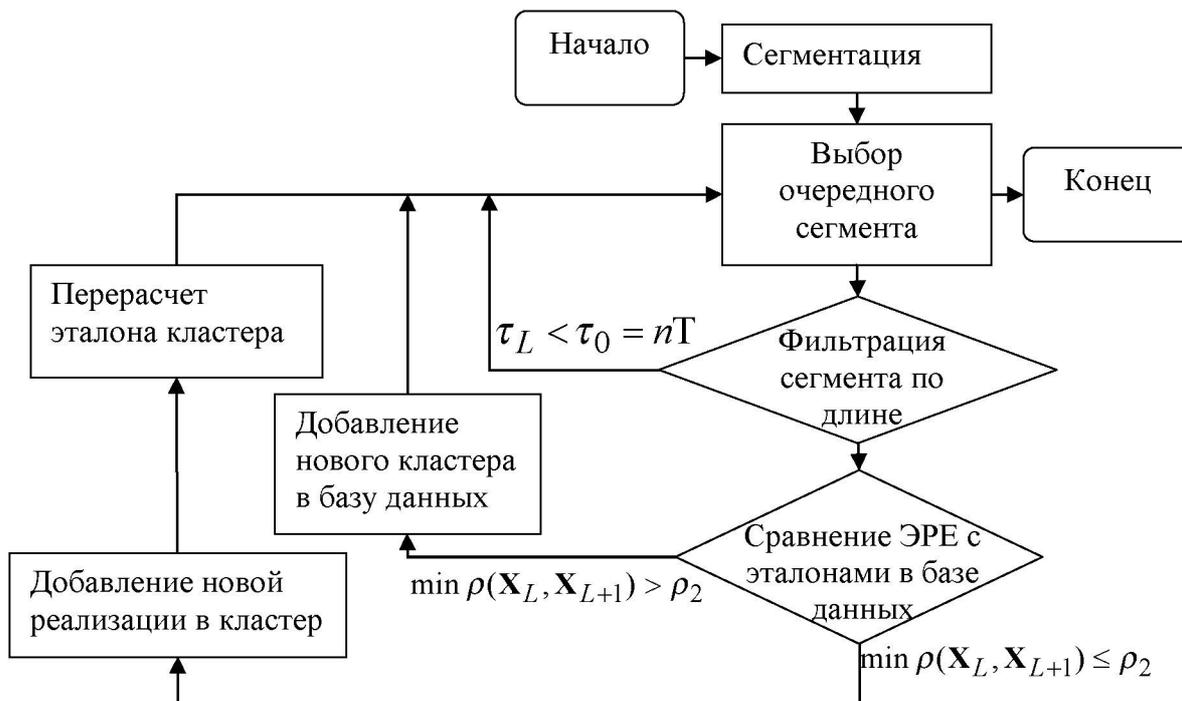


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма формирования фонетической базы данных

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе исследований были обоснованы значения длины минимальной элементарной речевой единицы $T=15$ мс и первого информационного порога $\rho_1 = 0,9 \dots 1,0$. Для этого поставлен и проведен эксперимент по ограниченному набору из десяти слов-числительных: от нуля до девяти. Предварительно было записано по сто реализаций каждого слова. Далее создавалась база данных из отдельных сегментов по каждому числительному описанным выше методом. Для набора из десяти числительных всего получили примерно 25000 сегментов. При значениях порядка модели и второго порога информационного рассогласования, соответственно: 20 и 1 было сформировано около ста отдельных фонем. Таким образом, предложенный алгоритм позволяет формировать фонетические базы данных

в автоматическом режиме или, как говорят, «без учителя». Зависимость количества выделенных фонем от объема выборки речевого сигнала (количества сегментов во фрагменте речи) представлена на рисунке 3.

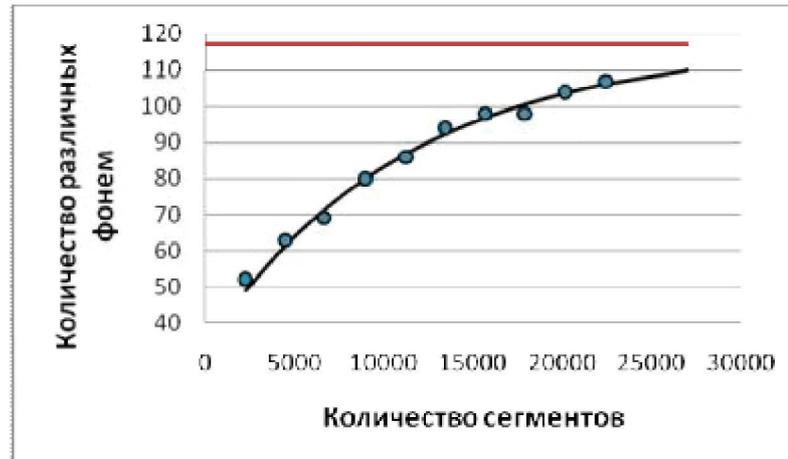


Рисунок 3 – Зависимость количества новых фонем от объема выборки

Суммарное количество выделяемых фонем с увеличением количества анализируемых сегментов асимптотически стремится к некоторому постоянному числу. Так, для последних 2262 сегментов добавилось всего 3 новые фонемы. Из приведенных исследований видно, что предложенный алгоритм обладает свойством насыщения, то есть выделяет ограниченное число отдельных фонем, характерное для конкретного национального языка.

Полученные результаты были сопоставлены с аналогичными результатами от применения известного одноэтапного алгоритма. Показано, что в двухэтапном алгоритме существенно (с 11,3% до 4%) сокращено число проблемных фонем с низкой вероятностью различимости (критический уровень 0,2), что приводит, в свою очередь, к более, чем двукратному уменьшению средней вероятности перепутывания фонем с 0,058 до 0,027.

Таким образом, можно сделать вывод, что благодаря предложенному алгоритму удастся разбить все множество ЭРЕ на ряд подмножеств-кластеров, число элементов которых согласуется с числом фонем из звукового строя языка. При этом среднее значение величины информационного рассогласования внутри кластера, которое можно назвать его «радиусом», практически не зависит от количества элементов в этом кластере и регулируется параметром ρ_2 – порогом из правила (9). Поэтому предложенный алгоритм можно использовать для анализа звукового строя речи, причем как для отдельных дикторов, так и для их произвольных групп.

На втором этапе проведенных исследований решалась задача автоматического распознавания десяти наиболее характерных фонем русского языка: гласных «а», «и», «о», «э», взрывных согласных «б», «р», назальной «н» и шипящих «ф», «ш», «щ». Для каждой фонемы было сформировано 20 файлов данных – по двадцати её независимым реализациям. Из этого экспериментального словаря был выбран один массив \mathbf{x}_r^* в качестве эталонной реализации данной фонемы, длина которого равна $0,03 \text{ с} \times 8000 \text{ Гц} = 240$ отсчётов. При этом в каждом случае выбирались наиболее типичные (на слух и вид) реализации. В результате был сформирован словарь эталонов ЭРЕ $\mathbf{X}^* = \{\mathbf{x}_r^*, r = \overline{1,10}\}$. Далее по каждому массиву данных \mathbf{x}_r^* из этого словаря был рассчитан вектор коэффициентов авторегрессии \mathbf{A}_r порядка $k=20$ и

соответствующая дисперсия порождающего шума σ_r^2 – при помощи рекуррентной вычислительной процедуры Берга-Левинсона. После этого последовательно по каждой фонеме, используя сформированный экспериментальный словарь, извлекались все 20 ее реализаций $x_{r,j}, j=\overline{1,20}$. Для каждой такой реализации решалась задача классификации по методу обеляющего фильтра в его первоначальной формулировке (2), (3) и по результату классификации рассчитывалась оценка вероятности правильного распознавания.

Наихудший результат (вероятность 0,80) получен при распознавании фонемы «а». Причём три реализации данной фонемы были перепутаны с фонемой «р» и одна с «ф». Это хорошо согласуется с данными теоретического анализа. С использованием словаря эталонов была получена оценка информационного рассогласования (1) двух фонем «а» и «р», равная 0,784. Подставляя её в формулу (4), в которой $m=55$, $\tilde{m}=0,671$, будем иметь $\alpha_{v,r} = 0,5[1 - \Phi\{0,867\}] = 0,19$, что хорошо согласуется с результатами эксперимента $\alpha_{v,r} = 0,20$. Отметим, что полученный результат существенно хуже аналогичных результатов при распознавании целых слов целиком. В этом состоит главная особенность автоматического распознавания ЭРЕ: их спектральный состав значительно беднее спектра мощности целого слова.

Для решения указанной проблемы разработана модификация метода обеляющего фильтра с нормировкой ЭРЕ в формулировке (5). Его эффективность была исследована с применением сформированного ранее экспериментального словаря и словаря эталонов. В этом варианте частота ошибок при распознавании фонемы «а» (проблемная фонема) здесь сократилась практически до нуля. Для всех других фонем (всего их 10) при этом достигается аналогичный эффект, что означает вероятность выигрыша, близкого к единице. Сделанный вывод имеет ясное физическое обоснование: введённая нормировка элементарных речевых единиц по дисперсиям порождающего шума приводит к уменьшению вариации величин информационного рассогласования (5) в пределах множества различных реализаций каждой фонемы.

Для исследования проблемы оптимизации словаря эталонов ЭРЕ последовательно по каждой фонеме, используя сформированный экспериментальный словарь, извлекались все 20 ее реализаций. Для каждой из них рассчитывались отклики десяти обеляющих фильтров (3), настроенных на отобранные случайным образом реализации соответствующих фонем. Частота распознавания практически всех фонем уменьшилась в ряде случаев на 15% и более. Это явилось следствием выбора файлов с записанными в них не типичными реализациями фонем. В таком случае логично предположить и обратное: существует некий оптимальный (в пределах заданного конечного множества) набор ЭРЕ для формирования словаря эталона.

Таким образом, основным результатом можно считать вывод о существенном влиянии словаря эталонов на результирующие характеристики системы фонетического анализа слитной речи в целом и, соответственно, об актуальности задачи оптимизации указанного словаря. Информационная теория восприятия речи дает ответ на вопрос выбора таких эталонных ЭРЕ, при которых вероятность правильного распознавания будет максимальной в пределах выбранного множества. Задача автоматического формирования оптимального словаря эталонов в общем

случае формулируется как статистическая классификация «без учителя». Поэтому ее решение не сводится к вышеупомянутому методу обеляющего фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко В.В. Информационная теории восприятия речи // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника. – 2007. – Вып.6.
2. Helmholtz H. Die Lehre von der Tonempfindungen als physiologische Graudlage fur die Theorie der Musik, Brounschweig, 1870.
3. Chiba T., Kajiama M. The vowel, its nature and structure. – Tokyo, 1941.
4. Акустическая теория речеобразования. - М.: Наука, 1964.
5. Kent R.D at al.(Eds) Papers in Speech Communication: Speech production, Ac.Soc.of America, 1991.
6. Сорокин В.Н. Теория речеобразования. – М.: Радио и связь, 1985.
7. Галунов В.И., Соловьев А.Н. Современные проблемы распознавания речи // Информационные технологии и вычислительные системы, 2004. – №2.
8. Галунов В.И. и др. Коллекция речевых баз данных. Труды XXXIII Международной филологической конференции. – СПб., 2005.
9. Nuance Recognizer v9 / Nuance – Speech Solutions : сайт Nuance Communications, Inc 2010, URL: <http://www.nuance.com/recognizer/> (дата обращения: 20.02.2010).
10. Карпов Н.В., Савченко В.В. Анализ фонетического состава речевых сигналов методом переопределенного дерева // Системы управления и информационные технологии, 2.2 (32), 2008. – С.297-303.
11. Савченко В.В. Различение случайных сигналов в частотной области // Радиотехника и электроника, 1997. – Том 42. – №4. – С.426.
12. Карпов Н.В., Савченко В.В., Акатьев Д.Ю. Автоматическое распознавание речевых единиц методом обеляющего фильтра // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2007.– Вып.4.– С.11-19.

Карпов Николай Вячеславович

Нижегородский государственный лингвистический университет им. Н.А. Добролюбова,

г. Нижний Новгород

Кандидат технических наук, ассистент кафедры «Математика и информатика»

Тел.: (831) 4360409 (доб. 246)

E-mail: karpov@lunn.ru

В.А. ШКАБЕРИН

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассматриваются подходы к обеспечению технологичности конструкций изделий на основе использования интеллектуальных подсистем. Научная новизна заключается в разработанных математических моделях и созданном на их основе информационном и программном обеспечении интеллектуальных подсистем, позволяющих повысить эффективность процедур обеспечения технологичности конструкций изделий.

Ключевые слова: технологичность конструкций изделий; интеллектуальные подсистемы; онтология; база знаний; интегрированная САПР.

The article deals with approaches to ensure product designs manufacturability based on the use of intelligent subsystems. Scientific novelty lies in the developed mathematical model and the information and software of intelligent subsystems, enabling more effective procedures to ensure manufacturability of product designs.

Keywords: product designs manufacturability, intelligent subsystems, ontology, knowledge base; integrated CAD.

Обеспечение технологичности конструкций изделий (ТКИ) является одной из самых важных функций подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на достижение оптимальных трудовых и материальных затрат, сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия. Успешное решение задач по обеспечению ТКИ во многом зависит от профессиональных знаний и производственного опыта конструкторов, технологов и инженерных работников, представляющих организации, где эксплуатируются или будут эксплуатироваться изделия. Это связано с тем, что при обеспечении технологичности конструкции изделие необходимо рассматривать как объект проектирования, производства и эксплуатации. Этот фактор обуславливает необходимость рассмотрения процесса обеспечения ТКИ в рамках современной концепции CALS, предусматривающей непрерывную информационную поддержку изделий на всех этапах жизненного цикла посредством использования интегрированной информационной среды.

Современные подходы к конструкторско-технологической подготовке производства машиностроительных изделий предполагают широкое применение интегрированных САПР (CAD/CAM/CAE-систем), которые являются ядром автоматизации производственных процессов предприятия. Однако внедрение этих систем в машиностроении и использование их при подготовке производства на отечественных предприятиях, как показывает опыт, не затрагивает множество вопросов обеспечения ТКИ главным образом из-за отсутствия формализованных методов их решений [1-3]. Вместе с тем в интегрированных САПР появляются решения, позволяющие реализовать задачи обеспечения ТКИ на качественно новом уровне (реализуется проверка проливаемости пресс-форм в специализированных модулях, осуществляется проверка на наличие необработанных зон и зарезов в САМ-системах, реализуются принципы параллельного проектирования изделий и др.).

Все указанные факты подтверждают актуальность и сложность решения проблемы обеспечения ТКИ, в том числе и при использовании САПР. В Брянском государственном техническом университете было выполнено несколько научных работ, посвященных процессам формализации и автоматизации обеспечения ТКИ при использовании современных интегрированных САПР. Основное содержание этих работ заключалось в создании специализированных интеллектуальных модулей, реализующих функции экспертных компонентов.

Одной из трудно формализуемых задач является отработка деталей на технологичность конструктивных форм. Для решения этой задачи была предложена новая методика обеспечения технологичности конструктивных форм деталей (ТКФД), предусматривающая использование специализированной интеллектуальной автоматизированной подсистемы на ранних этапах конструирования изделия при использовании CAD/CAM/CAE-систем. Концепция автоматизированного обеспечения ТКФД учитывает как особенности современных CAD/CAM/CAE-систем, так и методологию построения экспертных систем.

В основу предлагаемой методики автоматизированной отработки деталей на технологичность конструктивных форм был положен поэлементный способ отработки конструкций на технологичность, регламентированный ГОСТ 14.204-73*. Методика основана на представлении рекомендаций, направленных на обеспечение ТКФД, в формализованном виде как требований к отдельным конструктивно-технологическим элементам (КТЭ) или их сочетаниям, что позволяет при оценке ТКФД обнаруживать нетехнологичные КТЭ и их сочетания в описании конструкции анализируемой детали на основе метода декомпозиции. При этом деталь представляется как совокупность находящихся в определенных отношениях КТЭ.

Для автоматизации отработки деталей на технологичность конструктивных форм был предложен принципиально новый подход, основанный на последовательном выполнении этапов, представленных на рисунке 1.

Использование представленных в формализованном виде технологических рекомендаций при отработке на технологичность имеет ряд преимуществ перед использованием изделий-аналогов. Этот метод позволяет более адекватно и динамично отражать изменения в технологическом оснащении и организационно-технических условиях предприятия, своевременно ограничивая или расширяя область возможных конструкторских решений. Наличие документированных в электронной форме технологических рекомендаций делает возможным использование их конструктором на стадиях разработки изделий, что позволяет ему учесть все действующие на предприятии технологические требования и типовые рекомендации и тем самым существенно упрощает процесс конструирования и дальнейшего согласования конструкций изделий с технологическими службами.

Сформулированы необходимые для простейшей реализации предложенного метода автоматизированной отработки деталей на ТКФ требования, которым должна удовлетворять САПР машиностроительных объектов (рис. 1). Детали должны формироваться из заранее определенных параметрических КТЭ, т.е. САПР должна основываться на генерирующем принципе. Это предполагает, что вид информационной модели каждого КТЭ заранее известен. Использование свойств параметризации позволяет легко вносить изменения в конструкцию детали. Необходимо обеспечить двунаправленную связь между графическим образом и информационной моделью детали. Это означает, что по информационной модели может быть автоматически сформирован графический образ детали и,

наоборот, – по синтезированному графическому образу детали может быть сформирована ее информационная модель. Данное свойство позволит конструктору не задумываться о кодировании детали, а просто формировать ее графический образ. Подсистема обеспечения ТКФД будет анализировать информационную модель детали, изменять ее в соответствии с технологическими рекомендациями и передавать в САПР, где по измененной информационной модели автоматически будет формироваться новый графический образ детали.

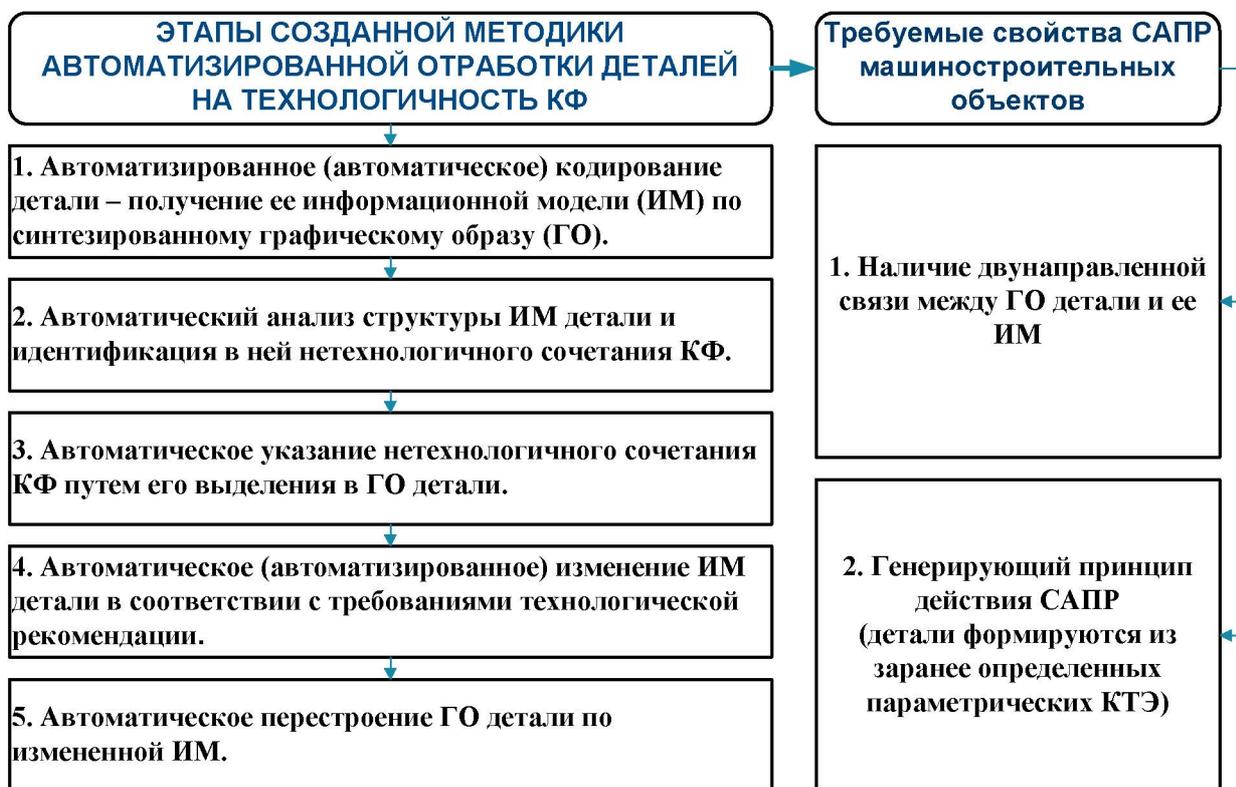


Рисунок 1 – Основные этапы методики автоматизированной обработки деталей на технологичность конструктивных форм

Рассмотрим основные принципы работы интеллектуальной автоматизированной подсистемы обеспечения ТКФД (рис. 2) и математические методы решения задач, возникающих при обеспечении ТКФД [2, 3].

Деталь формируется в САД-системе из КТЭ (макроэлементов), таких как цилиндрические, конические, резьбовые поверхности, канавки, пазы, лыски и др. Причем проектирование может быть на основе как 2-D, так и 3-D моделей. В соответствии с принятым предметно-ориентированным языком описания деталей создается информационная модель (ИМ), выступающая входным параметром для подсистемы обеспечения ТКФД и содержащая сведения о геометрических параметрах КТЭ детали, шероховатости, точности взаимного расположения поверхностей, размерах и др.

На основе проведенных исследований сформулирован подход к распознаванию конструкторско-технологического образа деталей. Его сущность состоит в том, что для каждого класса деталей можно выявить набор типовых КТЭ. Деталь рассматривается как объект, состоящий из КТЭ, между которыми по определенным правилам установлены отношения (размерная связь, виды взаимного расположения поверхностей и др.). Каждый КТЭ описывается как кортеж геометрических и негеометрических параметров, представляющий собой информационную модель.

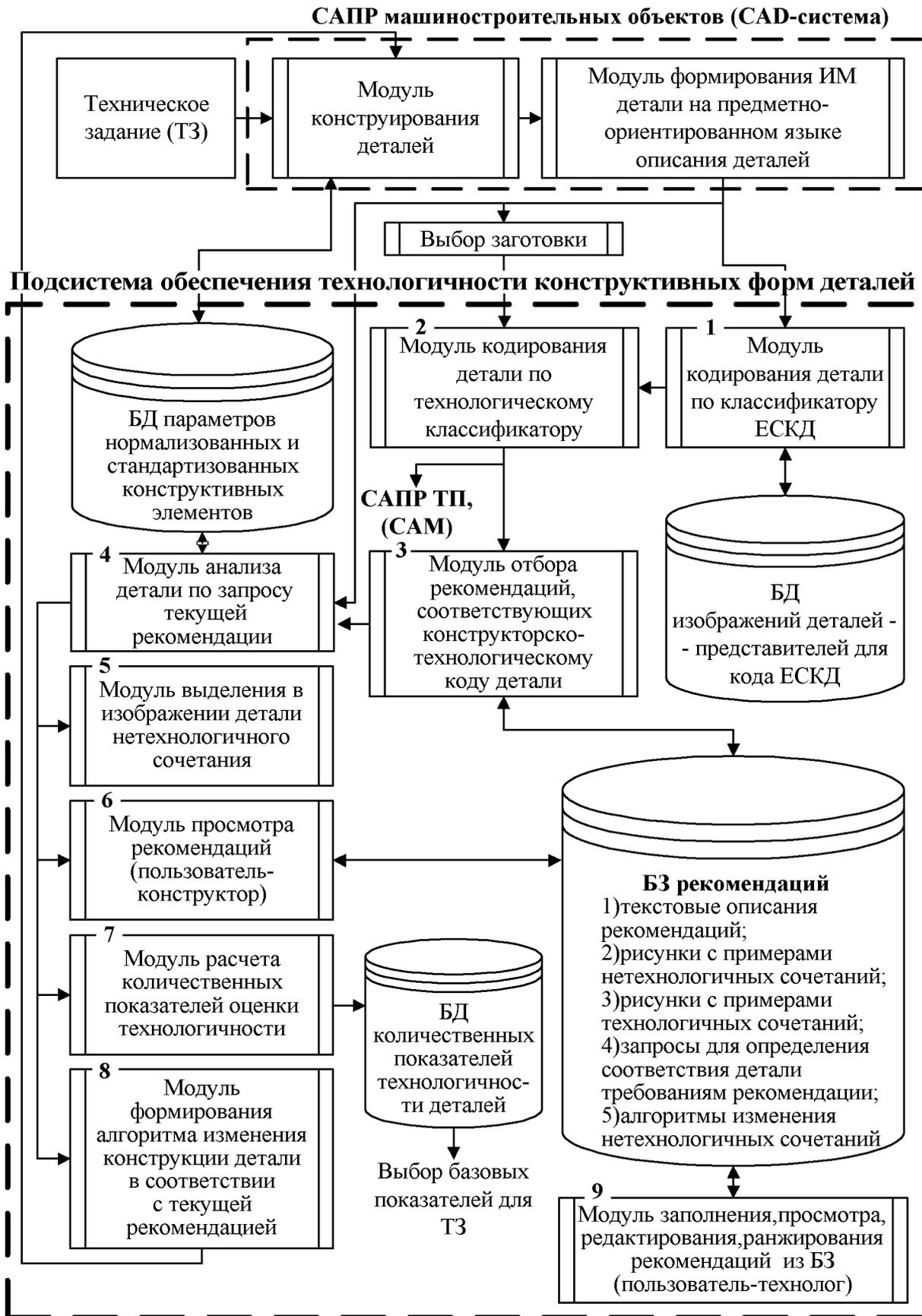


Рисунок 2 – Структура интеллектуальной автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности конструктивных форм деталей

Информационная модель каждого КТЭ, содержащегося в конструкции детали, формируется конструктором в процессе проектирования детали и генерируется САПР автоматически после окончания проектирования. Кроме описаний всех КТЭ в информационную модель детали входят конструктивно-технологические признаки, характеризующие деталь в целом. Эти признаки являются производными от совокупности описаний КТЭ. Указанный подход возможен как в системах 2D, так и 3D-моделирования. Наиболее простая реализация предлагаемого подхода – применение атрибутов – текстовой информации, присоединяемой к геометрическим объектам.

Основу интеллектуальной подсистемы составляет база знаний (БЗ) рекомендаций, направленных на обеспечение ТКФД. В БЗ содержатся пять основных групп данных по каждой из рекомендаций (рис. 2), а также могут содержаться данные о принадлежности рекомендации к одной или нескольким классификационным группам.

Разработана многоуровневая классификация рекомендаций, направленных на повышение ТКФД, по ряду независимых признаков (тип детали, материал детали, технологический метод получения детали, преследуемые технологические цели, вид КТЭ или их сочетаний, к которым предъявляются технологические требования; технологическое оборудование и оснащение, для которого актуальны предлагаемые рекомендации и др.)

Для формализации процедур представления технологических рекомендаций, направленных на обеспечение ТКФД, их структура описывается в виде эмпирических импликаций (правил-продукций). Применение эмпирических импликаций связано с обеспечением стереотипного реагирования и распознавания.

Для обеспечения автоматизации распознавания в конструкции детали нетехнологичных сочетаний конструктивных форм (КФ) в состав рекомендации вводится формализованный запрос для определения соответствия детали требованиям рекомендации, который представляет собой кодированные сведения о нетехнологичном сочетании. Решение задачи автоматизации обнаружения нетехнологичного конструктивного сочетания в детали основывается на обеспечении совместимости языка представления нетехнологичных сочетаний с языком описания деталей (информационных моделей деталей). Реализация стереотипного реагирования для каждой рекомендации по обеспечению ТКФД связана с автоматизированным изменением конструкции детали посредством изменения ее информационной модели. Для этого в состав рекомендации вводится алгоритм изменения нетехнологичного сочетания, который также должен соответствовать терминам языка описания деталей.

Для классификации деталей по группам со сходными конструктивно-технологическими характеристиками могут быть эффективно использованы классификатор ЕСКД и технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (модули 1 и 2) (рис 2.). Модуль 3 позволяет на основе использования конструкторско-технологического кода детали произвести из БЗ рекомендаций выборку. Модуль 4 служит для автоматического обнаружения нетехнологичного сочетания конструктивных форм в анализируемой на технологичность детали. В этом модуле для каждой рекомендации из множества, сформированного модулем 3, считывается формализованный запрос и в соответствии с ним анализируется информационная модель детали. Если в конструкции детали обнаружено нетехнологичное сочетание, соответствующее формализованному запросу, то в модуле 5 оно выделяется на графическом образе детали заранее

определенным цветом. С помощью модуля 6 выводится текстовое описание рекомендации с графическими примерами нетехнологичного и технологичного сочетаний КФ. Конструктор просматривает рекомендацию и принимает решение об ее актуальности для разрабатываемой детали.

Модуль 7 позволяет рассчитать количественные показатели технологичности в диалоговом режиме. Выбор показателей осуществляется конструктором. Рассчитанные показатели для детали, отработанной на технологичность, могут быть занесены вместе с ее идентификатором в базу данных и использованы в дальнейшем для сравнительной оценки вариантов конструкции в процессе проектирования, определения уровня ТКИ, накопления статистических данных по изделиям-представителям с целью последующего применения их при определении базовых показателей и в процессе разработки изделий, а также для построения математических моделей с целью прогнозирования технического развития конструкций изделий. Если технологическая рекомендация принимается конструктором, то в модуле 8 на основании формализованного алгоритма для этой рекомендации формируется процедура изменения конструкции реальной детали, позволяющая автоматически внести эти изменения в графический образ (ГО). Если обеспечить автоматическое изменение ГО детали невозможно, то конструктор редактирует конструктивную форму детали вручную с использованием средств графического редактора САПР. После любого изменения графического образа детали дальнейший анализ ее технологичности ведется по обновленной информационной модели. Модуль 9 позволяет представлять рекомендации в формализованном виде, ранжировать и оперативно редактировать их с учетом изменения условий производства (появление новых прогрессивных технологических решений, высокопроизводительного оборудования и т.д.). Доступ к модулю 9 должны иметь специалисты из отдела главного технолога или бюро технологичности.

Интеллектуальная автоматизированная подсистема обеспечения ТКФД может эффективно использоваться: 1) в качестве информационно-справочной системы для конструкторов непосредственно в процессе проектирования деталей и сборочных единиц; 2) для формализованного представления технологами новых рекомендаций; 3) обучения и повышения квалификации инженерных кадров (конструкторов и технологов).

Перспективы использования автоматизированной подсистемы обеспечения ТКФД и других систем, построенных на базе рассмотренных теоретических основ, связаны с формированием комплексной системы обеспечения ТКИ. Построение такой системы предполагает наличие рекомендаций не только для деталей, но и для соединений, сборочных единиц и изделий в целом.

Для реализации любого интеллектуального модуля требуется представить предметную область в формализованном виде. Как правило, при этом проводится большой объем работ по систематизации и классификации понятий предметной области, описанию взаимосвязей между этими понятиями, определению типов решаемых задач. Формализация описания предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР» является актуальной задачей, так как позволяет повысить эффективность научных исследований и решений практических задач в этой области.

Был проведен анализ публикаций, стандартов и выполненных работ в области формализации различных предметных областей. Выявлено, что перспективным методом представления знаний по различным предметным областям в настоящий момент являются онтологии. Онтологии часто применяются в различных

интеллектуальных системах: для создания интеллектуальных модулей для поиска информации в сети Интернет, для создания экспертных систем и т.д. В настоящий момент существуют достаточно развитые инструментальные средства для создания онтологий (Ontolingua, Protégé, OntoEdit и др.).

Учитывая перспективность применения онтологий для реализации интеллектуальных систем и модулей, а также наличие развитых инструментальных средств для построения онтологий, принято решение использовать онтологический подход для описания предметной области «Обеспечение технологичности конструкции изделий в САПР». Был проведен сравнительный анализ возможностей современных автоматизированных систем для формирования онтологий предметных областей и выбран инструмент Protégé-3.2.1, разработанный в Стэнфордском университете (США).

Рассмотрим процесс построения онтологии предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР» в среде Protégé. Типовые этапы планирования и создания онтологии в среде Protégé представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Типовые этапы планирования и создания онтологии «Обеспечение ТКИ в САПР»

Онтология по предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР» предназначена для: анализа и систематизации знаний в предметной области; отделения знаний в предметной области от оперативных знаний; возможности повторного использования знаний в предметной области; использования в интеллектуальных системах поиска и экспертных системах. Основными пользователями онтологии, формализующей предметную область «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР»,

будут являться аспиранты, студенты, ученые, исследующие эту предметную область. Один из важных прикладных аспектов заключается в том, что спецификация знаний путем организации таксономических отношений между понятиями позволит молодым специалистам осуществлять быстрое изучение основ новой для них предметной области.

Один из эффективных способов определения масштаба онтологии – сформировать перечень вопросов, на которые должна отвечать база знаний, основанная на онтологии, т.е. вопросы для проверки компетентности. Был определен первоначальный список вопросов, на которые должна ответить база знаний, основанная на онтологии, формализующей предметную область «Обеспечение ТКИ в САПР»: какие виды ТКИ существуют и как они проявляются на разных этапах жизненного цикла изделия; какие существуют методы оценки ТКИ на разных этапах жизненного цикла изделий; какие существуют мероприятия (рекомендации) по улучшению ТКИ; какие модули и средства имеются с современных САПР для обеспечения и оценки ТКИ на разных этапах жизненного цикла изделия и др.

Выделение базовых понятий предметной области реализуется в виде глоссария. При формировании глоссария (более 100 терминов) по предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР» использовались текстологические методы извлечения знаний. На основе анализа действующих стандартов и научных трудов в области обеспечения ТКИ [1], технологической подготовки производства, автоматизированного проектирования сформирован глоссарий по предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР».

После составления глоссария была разработана иерархия понятий (будущих классов) и определены свойства понятий (будущих слотов). Для предварительного составления связей между понятиями использовались классификационные графические схемы, построенные по результатам анализа действующих стандартов и монографий ученых по проблемам ТКИ.

Классы онтологии определялись исходя из целевого назначения онтологии с учетом вопросов проверки компетентности. Все созданные классы онтологии можно разделить на 2 группы: вспомогательные (общие); функциональные (целевые). Функциональные классы проектировались для решения целевых задач онтологии (на основе вопросов проверки компетентности). Вспомогательные классы использовались для ссылки на них основных классов и содержали общую, независимую от конкретной предметной области, информацию.

В свою очередь, функциональные классы разделены на 2 большие группы: ориентированные на задачи в области «CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологии»; ориентированные на задачи в области «Обеспечение ТКИ».

Для исследования возможностей разработанной онтологии было создано более 30 тестовых запросов, которые позволяли получать из онтологии различные сведения. Результаты тестовых запросов позволили сделать вывод о правильности реализации онтологии. К настоящему моменту результаты проекта в виде программного и методического обеспечения переданы в областной центр новых информационных технологий Брянского ГТУ. Активно ведутся работы по наполнению и развитию созданной онтологии предметной области «Обеспечение ТКИ в САПР».

Примечание. Научно-исследовательская работа выполняется в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении: монография; под общ. ред. Аверченкова В.И., Аверченкова А.В. – Брянск: БГТУ, 2009. – 190 с.
2. Шкаберин В.А., Аверченков В.И. Математическое моделирование процедур автоматизированного обеспечения технологичности конструкций деталей в условиях применения интегрированных САПР (CAD/CAM-систем) // Вестник Брянского государственного технического университета: научно-технический журнал, 2004. – С.82-90.
3. Шкаберин В.А. Математическое моделирование и автоматизация процедур обеспечения технологичности конструкций деталей в условиях применения интегрированных САПР // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии». – 2008. – № 1-3/269(544). – С.297-302.

Шкаберин Виталий Александрович

ГОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Брянского областного центра новых информационных технологий, доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы»

Тел.: +7(4832)56-49-90

E-mail: vash@tu-bryansk.ru

УДК 519.254

А.А. АВСИЕВИЧ, Д.В. ИВАНОВ

РЕКУРРЕНТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ КЛАССА ГАММЕРШТЕЙНА С ПОМЕХОЙ НА ВЫХОДЕ

Предложен рекуррентный алгоритм, позволяющий получать сильно состоятельные оценки параметров нелинейных динамических систем класса Гаммерштейна при наличии помех наблюдения в выходном сигнале. Проведенные численные эксперименты подтвердили высокую эффективность предложенного метода идентификации.

Ключевые слова: рекуррентная идентификация; модель выходной ошибки; модель Гаммерштейна; стохастическая аппроксимация.

The recursive algorithms, allowing to receive strongly consistent estimates of parameters nonlinear dynamic systems class of Hammerstein with output error. Numerical examples are included to illustrate the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: recursive identification; output-error model; Hammerstein model; stochastic approximation.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При решении практических задач идентификации стохастической нелинейной динамической системы часто возникает ситуация, когда помехе наблюдения подвержен выходной сигнал. Применение классического метода наименьших квадратов не позволяет получать состоятельные оценки параметров. Предлагаемый метод оценки состоит в регуляризации функции оценки классического МНК, причем в отличие от стандартной процедуры аддитивной регуляризации, предлагается нелинейно изменить функцию наименьших квадратов и тем самым устранить несостоятельность в задачах оценивания параметров стохастических нелинейных динамических систем с помехой в выходном сигнале.

Пусть имеет место скалярный по входу и выходу нелинейный динамический объект с дискретным временем $i = \dots -1, 0, 1, \dots$, описываемый нелинейными разностными алгоритмами с аддитивной ошибкой по выходу

$$z_i - \sum_{m=1}^r b_0^{(m)} z_{i-m} = \sum_{m=0}^{n_1} a_0^{(m)} \eta_m(x_{i-m}) + \xi_1(i), \quad (1)$$

$$y_i = z_i + \xi_2(i).$$

Пусть выполняются следующие предположения:

1. Объект предполагается устойчивым, и множество \tilde{B} , которому принадлежат истинные значения параметров, является компактом, η_m – нелинейные Беровские функции.

2. $\xi_k(i)$, $k = 1, 2$ – стационарные в совокупности в узком смысле последовательности независимых случайных векторов с $E\{\xi_k(i)\} = 0$, $E\{\xi_k^2(i)\} < \infty$ и для некоторых π_{ξ_1} , π_{ξ_2} : $|\xi_k(i)| \leq \pi_{\xi_k}$ п.н., где E – оператор математического ожидания.

3. $\eta_m(x_i)$ – стационарные в узком смысле последовательности независимых величин с дробно-рациональной спектральной плотностью с $E\{\eta_m^2(x_i)\} < \infty$, для некоторого $\pi_x > 0$: $|\eta_m(x_i)| \leq \pi_x^{(m)}$ п.н.

4. $\{\eta_m(x_i)\}$, $\{\xi_1(i)\}$ и $\{\xi_2(i)\}$ – независимы в совокупности.

5. Априорно известно $\gamma = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$.

6. Выполняется условие несократимости полиномов $B(L) = 1 - \sum_{m=1}^r b_0^{(m)} L^m$,

$A(L) = 1 - \sum_{m=0}^{r_1} a_0^{(m)} L^m$, где L – оператор сдвига $Lz_i = z_{i-1}$.

Требуется рекуррентно определять оценки неизвестных коэффициентов динамической системы, описываемой уравнением (1) по наблюдаемым последовательностям y_i, w_i .

Введем следующие обозначения $A_{Y,X}^i = \left((y_r(i))^T \mid (\eta_{r_1}(i))^T \right)^T \in R_{r+r_1+1}$, где $y_r(i) = |y_{i-1} \dots y_{i-r}|^T$, $\eta_{r_1}(i) = |\eta_i \dots \eta_{i-r_1}|^T$.

Следуя результатам работы [1], неизвестные параметры системы, описываемой уравнениями (1), можно оценить:

$$\begin{pmatrix} b_0 \\ a_0 \end{pmatrix} = \arg \min_{\begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} \in \tilde{B}} \frac{\lim_{i \rightarrow \infty} E \left\{ y_i - \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}^T A_{Y,X}^i \right\}^2}{1 + \gamma + b^T b}, \quad (2)$$

где $b = |b^{(1)}, \dots, b^{(r)}|^T$, $a = |a^{(0)}, \dots, a^{(r_1)}|^T$.

Таким образом, оценки вектора $\begin{pmatrix} b_0^T \\ a_0^T \end{pmatrix}^T$ параметров можно получить с помощью стохастического градиентного алгоритма минимизации функции:

$$J \begin{pmatrix} b_0 \\ a_0 \end{pmatrix} = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{E \left\{ y_i - \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}^T A_{Y,X}^i \right\}^2}{1 + \gamma + b^T b}.$$

Этот алгоритм имеет вид:

$$\begin{pmatrix} \hat{b}(i+1) \\ \hat{a}(i+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{b}(i) \\ \hat{a}(i) \end{pmatrix} - \alpha_i \nabla_{\begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}} \left\{ \frac{\left(y_{i+1} - \begin{pmatrix} \hat{b}(i) \\ \hat{a}(i) \end{pmatrix}^T A_{Y,X}^{i+1} \right)^2}{1 + \gamma + \hat{b}^T(i) \hat{b}(i)} \right\}. \quad (3)$$

Утверждение 1. Пусть стохастическая динамическая система описывается уравнением (1) и выполняются предположения 1-6, кроме того:

7. $\sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i = \infty$, где $\alpha_i \geq \alpha_{i+1}$;

8. $\sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i^l < \infty$, для некоторого $l > 1$, тогда оценки, определяемые алгоритмом (3),

либо

$$\left(\frac{\hat{b}(i)}{\hat{a}(i)} \right)_{i \rightarrow \infty} \rightarrow \left(\frac{b_0}{a_0} \right) \text{ п.н., либо } \left(\frac{\hat{b}(i)}{\hat{a}(i)} \right)_{i \rightarrow \infty} \rightarrow \infty.$$

В доказательстве утверждения главную роль играют теоремы 3.15 и 3.17 из [2, с.113]. Теорема 3.15 доказана Л. Льюнгом в [3] и строгое доказательство теоремы 3.17 получено в [2, с.114].

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ОЦЕНОК

Для анализа сходимости алгоритма (3) построим асимптотическую непрерывную детерминированную модель. На основании теоремы 15' [4, с.143] входной сигнал при 3^0 можно представить как

$$x_i - \sum_{m=1}^{r_2} d_0^{(m)} x_{i-m} = \sum_{m=0}^{r_3} c_0^{(m)} \xi_3(i-m),$$

где $\xi_3(i)$ – последовательность независимых одинаково распределенных величин.

Введем расширенный вектор

$$\left(y_i, \left(A_{Y,X}^i \right)^T, \xi_3(i) \dots \xi_3(i - (r_3 - 1)) \right)^T.$$

Используя представление уравнений системы (1) в пространстве состояний, можно показать, что, применяя 1-4, на основании теоремы 3.1. [5, с.47]

$\left(y_i, \left(A_{Y,X}^i \right)^T, \xi_3(i) \dots \xi_3(i - (r_3 - 1)) \right)$ является стационарным марковским процессом.

Функционал (2) можно представить в виде

$$J\left(\frac{b}{a}\right) = \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\frac{\left(y_i - \left(\frac{b}{a}\right)^T A_{Y,X}^i \right)^2}{1 + \gamma + b^T b} \right] = \sigma_2^2 + \frac{\left(\left(\frac{b}{a}\right) - \left(\frac{b_0}{a_0}\right) \right)^T H^\times \left(\left(\frac{b}{a}\right) - \left(\frac{b_0}{a_0}\right) \right)}{1 + \gamma + b^T b},$$

где $H^\times = \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\frac{\left(Z_r(i) \right) \left(Z_r(i) \right)^T}{\left(\eta_{r_1}(i) \right) \left(\eta_{r_1}(i) \right)} \right] > 0$, что следует из 1, 3, 6 [6].

В данном случае асимптотическая непрерывная модель имеет вид:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} &= \Psi \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}, \\ \text{где } \Psi \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} &= -\nabla_{\begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}} J \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Пусть функция Ляпунова, устанавливающая устойчивость непрерывной модели, равна

$$V \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix},$$

т.к.

$$\dot{V}\left(\frac{b}{a}\right) = \nabla^T_{\left(\frac{b}{a}\right)} V\left(\frac{b}{a}\right) \psi\left(\frac{b}{a}\right) = -\left\| \nabla_{\left(\frac{b}{a}\right)} J\left(\frac{b}{a}\right) \right\|^2,$$

то множество $B = \left\{ \left(\frac{b}{a}\right) \in R_{r+r_1+1} : \dot{V}\left(\frac{b}{a}\right) = 0 \right\}$ состоит из стационарных точек функционала $J\left(\frac{b}{a}\right)$ [2]. Однако из теоремы 3.15 [2] следует, что возможными точками

алгоритма (3) являются точки множества $B_* = \left\{ \left(\frac{b}{a}\right) \in R_{r+r_1+1} : V\left(\frac{b}{a}\right) = 0 \text{ и } -\nabla^2 J\left(\frac{b}{a}\right) \leq 0 \right\}$, причем выполнение условия 2 этой теоремы следует из $H^\times > 0$

(условия 1-4 и [7, с.93; 8, с.33]; выполнение условия 3 этой теоремы вытекает из стационарности процесса, описываемого уравнением (1).

Покажем, что $B_* = \left\{ \left(\frac{b}{a}\right) \in R_{r+r_1+1} : \left(\frac{b}{a}\right) = \left(\frac{b_0}{a_0}\right) \right\}$, т.е. множество B_* , состоит из одной точки истинных параметров $\left(\frac{b}{a}\right) = \left(\frac{b_0}{a_0}\right)$.

Для этого рассмотрим функцию

$$J'(u) = \frac{u^T H_1^\times u}{u^T D^* u},$$

где $u = (u_1, \dots, u_{r+r_1+2})^T \in R_{r+r_1+2}$, $H_1^\times = \lim_{i \rightarrow \infty} E \left\{ \begin{pmatrix} -y_i \\ A_{Y,X}^i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -y_i \\ (A_{Y,X}^i)^T \end{pmatrix} \right\}$,

$$D^* = \begin{pmatrix} 1 & 0_{r \times 1} & 0_{r_1+1 \times 1} \\ 0_{1 \times r} & D & 0_{r_1+1 \times r} \\ 0_{1 \times r_1+1} & 0_{r \times r_1+1} & 0_{r_1+1 \times r_1+1} \end{pmatrix},$$

где $D = \frac{1}{1+\gamma} I_r$.

Очевидно, что

$$\min_{\left(\frac{b}{a}\right) \in R_{r+r_1+1}} J\left(\frac{b}{a}\right) = \min_{u \in R_{r+r_1+2}} J'(u) = J\left(\frac{b}{a}\right) = \Lambda_{\min}, \quad (5)$$

где Λ_{\min} – минимальное собственное число регулярного пучка форм [9], т.е. Λ_{\min} – наименьший корень уравнения

$$\det(H_1^\times - \Lambda D^*) = 0.$$

Пусть $\Lambda_{\min} = \Lambda^{(1)} \leq \dots \leq \Lambda^{(r+r_1+2)} = \Lambda_{\max}$ и u_1, \dots, u_{r+r_1+2} – какие-либо соответствующие им главные собственные вектора. Тогда $\Lambda^{(m)}$ ($m = \overline{1, r+r_1+2}$) являются стационарными значениями функции $J'(u)$, которая достигается при u

равных u_1, \dots, u_{r+r_1+2} . Следовательно, стационарные значения функций $J\left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)$;

$$\nabla \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right) J\left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right) = 0 \quad \text{достигаются} \quad \text{в} \quad \text{точках} \quad \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_1 = \left(\frac{u_1^{(2)}}{u_1^{(1)}}, \dots, \frac{u_1^{(r+r_1+2)}}{u_1^{(1)}} \right)^T, \dots,$$

$$\left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_{r+r_1+2} = \left(\frac{u_{r+r_1+2}^{(2)}}{u_{r+r_1+2}^{(1)}}, \dots, \frac{u_{r+r_1+2}^{(r+r_1+2)}}{u_{r+r_1+2}^{(1)}} \right)^T, \text{ причем из (5) следует, что } \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_1 = \left(\begin{smallmatrix} b_0 \\ \dots \\ a_0 \end{smallmatrix}\right).$$

Остается показать, что

$$\left\{ \nabla^2 J\left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right) \geq 0 \quad \forall \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right) \in \left\{ \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_1, \dots, \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_{r+r_1+2} \right\} \right\} \quad (6)$$

лишь в одной стационарной точке $\left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right) = \left(\begin{smallmatrix} b \\ \dots \\ a \end{smallmatrix}\right)_1 = \left(\begin{smallmatrix} b_0 \\ \dots \\ a_0 \end{smallmatrix}\right)$.

Задача определения минимизации функции $J'(u)$ эквивалент задачи на условный экстремум:

$$\begin{aligned} \min u^T H_1^\times u \\ u^T D^* u = 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Задача (7) может быть решена с помощью методов неопределенных множителей Лагранжа, тогда необходимое условие можно записать в виде:

$$\begin{cases} (H_1^\times - \theta D^*) \cdot u = 0 \\ u^T D^* u = 1 \end{cases}, \quad (8)$$

где θ – неопределенный множитель Лагранжа. Множество решений системы (8) являются $\theta \in \{\Lambda^{(1)}, \dots, \Lambda^{(r+r_1+2)}\}$ и соответствующие им главные собственные векторы u_1, \dots, u_{r+r_1+2} .

Исследуем матрицу $(H_1^\times - \theta D^*)$ на положительную определенность, из (5) следует, что

$$\Lambda^{(1)} |H_1^\times| < \Lambda^{(1)} \left| \begin{array}{c|c} H_{zz}^\times + \sigma_2^2 I_r & H_{z\eta(x)}^\times \\ \hline (H_{z\eta(x)}^\times)^T & H_{\eta(x)\eta(x)}^{\times T} \end{array} \right|,$$

где $\Lambda^{(1)} |H_1^\times|$ и $\Lambda^{(1)} \left| \begin{array}{c|c} H_{zz}^\times + \sigma_2^2 I_r & H_{z\eta(x)}^\times \\ \hline (H_{z\eta(x)}^\times)^T & H_{\eta(x)\eta(x)}^{\times T} \end{array} \right|$ – минимальные собственные числа матриц

$$H_1^\times \text{ и } \left| \begin{array}{c|c} H_{zz}^\times + \sigma_2^2 I_r & H_{z\eta(x)}^\times \\ \hline (H_{z\eta(x)}^\times)^T & H_{\eta(x)\eta(x)}^{\times T} \end{array} \right|,$$

$$z_r(i) = |z_{i-1} \dots z_{i-r}|^T,$$

$$H_{zz}^\times = \lim_{i \rightarrow \infty} E(z_r(i)(z_r(i))^T) - \text{матрица } r \times r,$$

$$H_{z\eta(x)}^\times = \lim_{i \rightarrow \infty} E(z_r(i)(\eta_{r_1}(i))^T) - r \times (r_1 + 1),$$

В свою очередь, по теореме Штурма [10]:

$$\Lambda^{(1)} \left| \frac{H_{zz}^\times + \sigma_z^2 I_r}{\left(H_{z\eta(x)}^\times \right)^T} \middle| \frac{H_{z\eta(x)}^\times}{H_{\eta(x)\eta(x)}^{\times T}} \right| \leq \Lambda^{(2)} |H_1^\times|, \text{ или } \Lambda^{(1)} |H_1^\times| < \Lambda^{(2)} |H_1^\times|. \quad (9)$$

Из (9) следует, что матрица $(H_1^\times - \theta D^*)$ неотрицательна, определена лишь при $\theta = \Lambda_{\min}$ и (6) выполняется в $\begin{pmatrix} b \\ -a \end{pmatrix}_1 = \begin{pmatrix} b_0 \\ a_0 \end{pmatrix}$, то есть для всех $\theta > \Lambda_{\min}$ матрица $(H_1^\times - \theta D^*)$ имеет отрицательные собственные значения, отсюда непосредственно следует доказательство утверждения.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложенный алгоритм (3) был реализован в Matlab и сравнен с рекуррентным алгоритмом наименьших квадратов. Динамическая система описывается уравнениями

$$\begin{aligned} z_i - 1.2z_{i-1} + 0.7z_{i-2} &= 0.3\eta_0(x_i) + 0.7\eta_1(x_{i-1}) + 0.2\eta_2(x_{i-2}) + \xi_1(i), \\ y_i &= z_i + \xi_2(i). \end{aligned} \quad (10)$$

В качестве нелинейностей использовались следующие функции:

$$\begin{aligned} \eta_0(x_i) &= |x_i|, \\ \eta_1(x_{i-1}) &= x_{i-1}^2, \\ \eta_2(x_{i-2}) &= 3 \cdot th(x_{i-2}). \end{aligned}$$

На вход подавался сигнал:

$$x_i - 0.5 \cdot x_{i-3} = \zeta_i - 0.75 \cdot \zeta_{i-2} + \zeta_{i-4},$$

где ζ_i – белый шум;

Отношение «помеха-сигнал» сигнал на $\sigma_2 / \sigma_z = 0.5$, отношение дисперсий шумов $\gamma = 0.095$. Начальные значения параметров равны 0.

На рисунке 1 представлены графики погрешности оценок параметров, определяемые по формуле:

$$\delta\theta_k = \sqrt{\left\| \begin{pmatrix} \hat{b}(i) \\ \hat{a}(i) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} b_0 \\ a_0 \end{pmatrix} \right\|^2 / \left\| \begin{pmatrix} b_0 \\ a_0 \end{pmatrix} \right\|^2} \cdot 100\%.$$

На рисунке 2 представлен ненаблюдаемый выходной сигнал, рассчитанный по истинным и оцененным параметрам (взяты оценки при $i=10000$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен рекуррентный алгоритм для оценивания параметров нелинейной динамической системы класса Гаммерштейна с помехами в выходном сигнале. Предложенный алгоритм может послужить основой для создания новых высокоэффективных автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП), а также построения более качественных моделей, применяемых во многих других областях науки и техники.

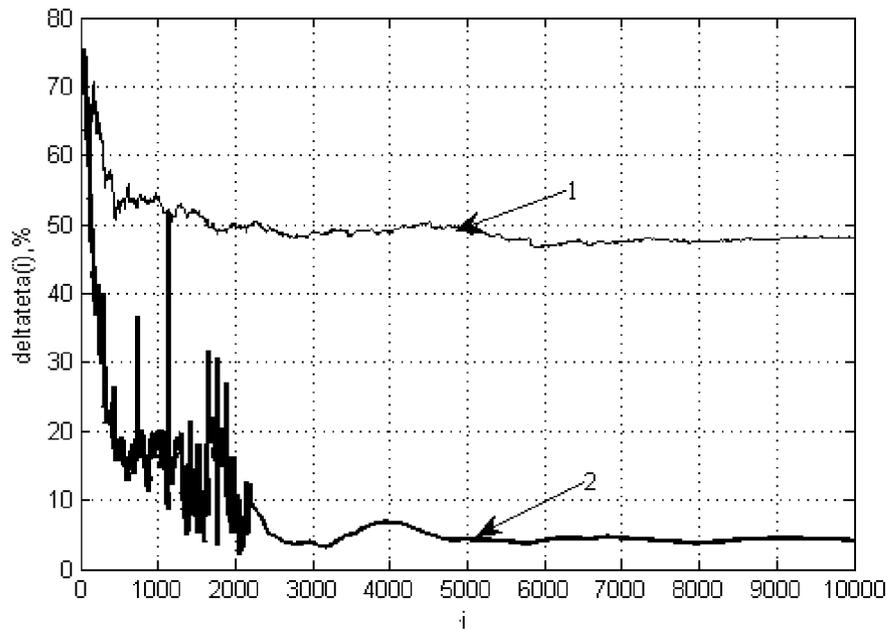


Рисунок 1 – График погрешности оценок параметров:
1 – Рекуррентный метод наименьших квадратов; 2 – Алгоритм (3)

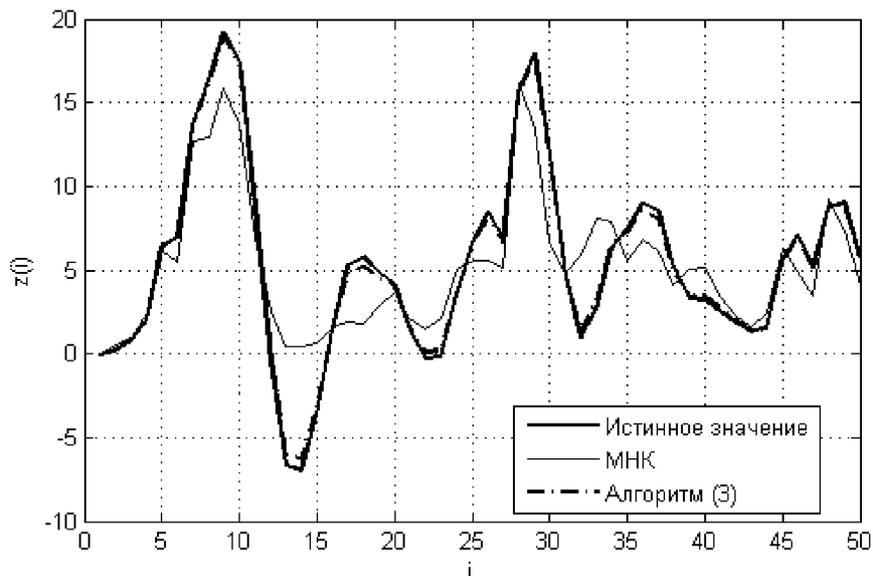


Рисунок 2 – Выходной сигнал, рассчитанный по истинным и оцененным параметрам (при $i=10000$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацюба О.А. Теория идентификации стохастических динамических систем в условиях неопределенности: монография. – Самара: СамГУПС, 2008. – 119 с. – ISBN 978-5-98941-079-8.
2. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 448 с.
3. L. Ljung. Analysis of recursive stochastic algorithms // IEEE Trans. Aut. Control, 1977. – v.AC-22. – №4. – P.551-575.
4. Хеннан Э. Многомерные временные ряды. – М.: Мир, 1974. – 576 с.
5. Невельсон М.Б., Хасьминский Р.З. Стохастическая аппроксимация и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1972. – 304 с.
6. Tsytkin Ya. Z., Avedyan E.D., Gulinskiy O.V. On convergence of the recursive identification algorithms // IEEE Trans. Aut. Control, 1981. – v.AC-26. – №5. – P1009-1017.
7. Уилкс. Математическая статистика. – М.: Наука, 1967. – 632 с.

8. Жданов А.И. Рекуррентное оценивание минимальных собственных значений матриц // Автоматика и телемеханика. – 1987. – №4. – С.26-36.
9. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1996. – 575 с.
10. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1989. – 376 с.

Авсиевич Александр Викторович

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатроника в автоматизированных производствах»

Тел.: 8 927 7022073

E-mail: Avsievich@mail.ru

Иванов Дмитрий Владимирович

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара

Аспирант кафедры «Мехатроника в автоматизированных производствах»

Тел.: 89277077091

E-mail: dvi85@list.ru

И.А. ВАЙНШТЕЙН, О.А. ЕВСЕГНЕЕВ, Д.В. ХАРИТОНОВ

ФОРМА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПИКОВ В НАНОМАТЕРИАЛАХ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ФРАКТАЛЬНОЙ КИНЕТИКИ

Проведено моделирование процессов термолюминесценции (ТЛ) в материалах с неоднородным пространственным распределением центров захвата и рекомбинации. С использованием оригинального программного комплекса ParaLum проанализирована форма пиков ТЛ при варьировании различных характеристик фрактальных моделей. Обсуждаются закономерности в зависимостях между геометрическими параметрами кривых свечения и значениями соответствующих спектральных размерностей.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения; спектральная размерность; ловушки; рекомбинационные центры.

Simulation of thermoluminescence processes for materials with inhomogeneous distribution of traps and recombination centres was carried out. ParaLum program complex was used to analyze TL peak shape varying different parameters of fractal models. Regularities in dependences of TL peak shape on corresponding spectral dimension parameters are discussed.

Keywords: differential equations; spectral dimension; traps; recombination centre.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время термолюминесцентные (ТЛ) методы активно используются при решении различных прикладных задач дозиметрии, в археологическом и геологическом датировании [1]. Развитие нанотехнологий существенно расширило возможности исследователей по поиску и созданию новых радиационно-чувствительных матриц на основе наноструктурированных люминофоров, которые проявляют уникальные функциональные характеристики – повышенную радиационную стойкость, рост световых выходов при высокодозном облучении и т.д. [2].

При этом моделирование процессов люминесценции с термоактивационной кинетикой остается зачастую единственным инструментом для изучения фундаментальных свойств наноразмерных сред, синтезируемых для детектирования ионизирующих излучений. Для учета пространственной неоднородности систем дефектов, свойственной наноструктурированным матрицам, как правило, используется формализм фрактонных возбуждений [3].

Соответствующие фрактальные модели описываются системами кинетических уравнений, успешное решение которых связано с применением эволюционных численных методов на основе генетических алгоритмов, обладающих целым рядом преимуществ по отношению к традиционным подходам [4, 5].

При изучении указанных вопросов, возникает потребность в использовании программных средств, обеспечивающих как моделирование процесса с заданными параметрами, так и проведение сложных итеративных процедур для аппроксимации данных натурального эксперимента. Цель настоящей работы состоит в анализе влияния размерностей управляющей фрактальной кинетики на характеристики ТЛ пиков в наноструктурированных многоголовушечных системах.

МОДЕЛЬ

В работе рассмотрена базовая зонная схема «одна ловушка - один рекомбинационный центр» (one trap - one recombination centre, OTOR), описывающая процессы с участием электронов. При этом система кинетических уравнений для вычисления интенсивности термолюминесценции I_{TL} имеет следующий вид [6]:

$$\frac{dn}{dt} = -ns_n \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right) + n_c(N-n)A_n, \quad (1)$$

$$\frac{dn_c}{dt} = ns_n \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right) - n_c(N-n)A_n - n_c(n+n_c)A_h, \quad (2)$$

$$I_{TL} = -\frac{dh}{dt} = n_c(n+n_c)A_h. \quad (3)$$

где N – общая концентрация ловушек;

n и h – концентрации заполненных ловушек и рекомбинационных центров, соответственно;

n_c – концентрации свободных электронов в зоне проводимости;

E_n и s_n – энергия и частотный фактор термоактивационного опустошения ловушек. Электронейтральность в любой момент времени t сохраняется по уравнению баланса [6]:

$$h = n + n_c. \quad (4)$$

В традиционном случае скорости повторного захвата A_n и рекомбинации A_h предполагаются константами и не зависят от времени, что соответствует однородному пространственному распределению компонентов реагирующей системы. Такая однородность означает, что после освобождения из ловушки, свободный носитель не делает различий между ловушками одного и того же типа и может оказаться захваченным на сколь угодно удаленную ловушку [6]. Таким образом, можно говорить о том, что основные характеристики процесса ТЛ в этом случае никак не зависят от геометрической структуры систем дефектов.

Для анализа кинетики ТЛ с учетом вероятного неоднородного распределения центров захвата и рекомбинации в объеме кристалла и наличия корреляций между ними, используется формализм фрактальных реакций, в котором скорости процессов зависят от времени [7]:

$$A_\lambda = A_{\lambda 1} t^{-R_\lambda}, \quad \lambda \in \{n, h\}, \quad 0 \leq R_\lambda \leq 1, \quad (t \geq 1), \quad (5)$$

где $A_{\lambda 1}$ – коэффициент, отражающий значение A_λ в начальный момент времени ($A_{\lambda 1} = A_\lambda(t=1)$). При этом параметр $A_{\lambda 1}$ имеет размерность $[A_{\lambda 1}] = \text{см}^3/\text{с}^{1-R_\lambda}$, которая зависит от показателя R_λ неоднородности пространства:

$$R_\lambda = 1 - \frac{d_\lambda}{2}, \quad (6)$$

где d_λ – спектральная (или фрактонная) размерность [3], которая связана с характеристической фрактальной размерностью пространства ловушек и рекомбинационных центров. В работах [3, 7, 8] были получены значения параметра d_λ для некоторых известных фракталов. Например, для треугольного ковра Серпинского

[9] наблюдается $d_\lambda = 1.365$. Значение $d_\lambda = 2$ соответствует традиционному случаю однородного пространства, когда величины A_λ являются константами.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Для численного анализа фрактальных люминесцентных моделей в работе использовался оригинальный программный комплекс «ParaLum», применяющий эволюционные подходы оптимизации [10]. Данный инструмент предназначен для моделирования в режиме параллельных вычислений процессов люминесценции при тепловой, оптической и других видов стимуляции. Особенности используемого алгоритма и оценка его эффективности были описаны в работе [5]. Архитектура комплекса представлена на рисунке 1.

Структура комплекса «ParaLum» содержит клиентскую и серверную части. При этом в основе клиентской части лежит программный модуль, который в рамках данной архитектуры служит для предоставления пользовательского интерфейса в среде «MS Windows». В свою очередь, серверная часть обеспечивает механизм генетического поиска с применением распределённых вычислений на основе программного интерфейса «MPI». Кроме того, «ParaLum» обладает встроенным интерпретатором, позволяющим планировать вычислительные эксперименты при помощи высокоуровневого языка. Описанная архитектура даёт возможность использовать разработанный программный комплекс как на многоядерных персональных компьютерах, так и на вычислительных кластерах типа «Beowulf». В работе [5] нами было показано, что показатель эффективности распараллеливания, рассчитанный на основе сравнения со временем работы последовательного алгоритма, для обсуждаемой задачи превышает 0.9.

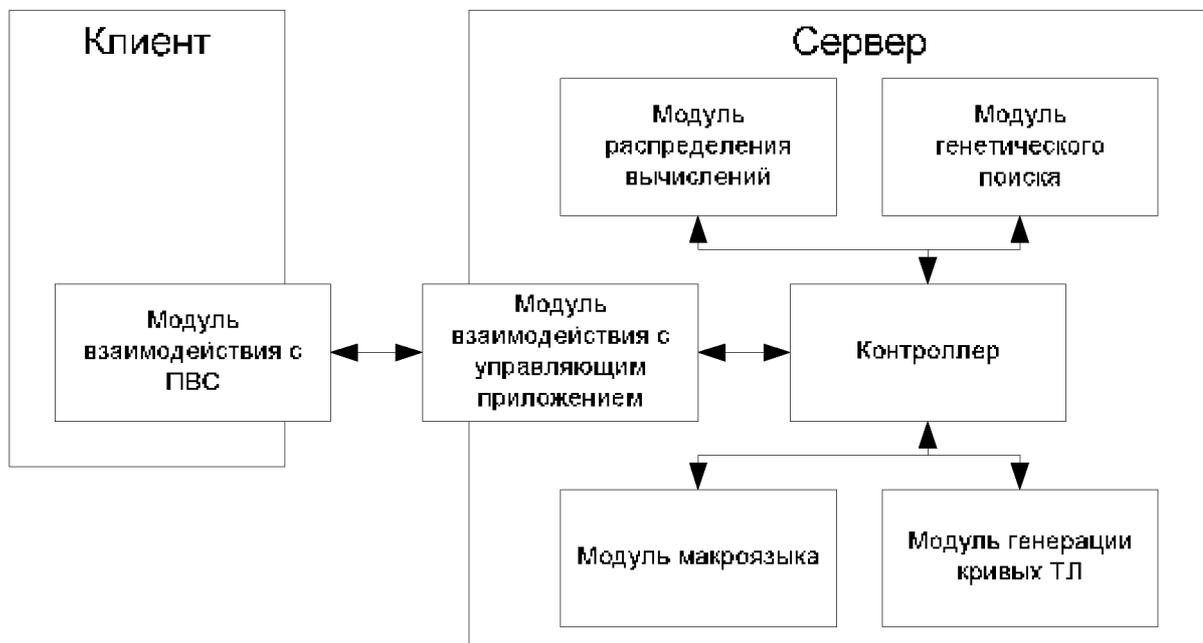


Рисунок 1 – Архитектура программного комплекса «ParaLum»

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе рассматриваемой модели была проведена серия вычислительных экспериментов с использованием комплекса «ParaLum». Общие значения модельных

параметров: $E_n = 1.0$ эВ, $s_n = 10^{12} \text{ с}^{-1}$; $A_{n1} = 10^{-7} \text{ см}^3/\text{с}^{1-R\lambda}$; $N = 10^{10} \text{ см}^{-3}$; доля заполненных ловушек в начальный момент времени $n_0/N = 10^{-2}$; линейная скорость нагрева 1 К/с .

На рисунке 2 представлены кривые ТЛ, полученные при фиксированном значении $A_{n1}/A_{h1}=10$, для разных соотношений между спектральными размерностями d_n и d_h . Видно, что с увеличением отношения d_n/d_h интенсивность ТЛ падает, и пики сдвигаются в сторону более высоких температур с одновременным изменением полуширины. Такая зависимость может быть обусловлена тем, что при $d_n > d_h$ высвобождаемые из ловушек электроны с течением времени чаще подвергаются повторному захвату, чем рекомбинации. В случае $d_n = d_h$ интенсивность ТЛ падает с уменьшением спектральных размерностей, а значение T_{max} температуры максимума изменяется слабо (см. рис. 2, кривые 2 и 3).

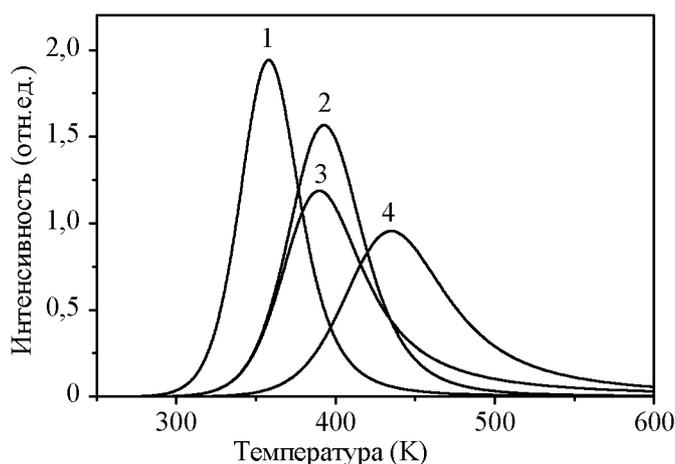


Рисунок 2 – Кривые ТЛ для различных соотношений d_n и d_h

1 – $d_n=1, d_h=2$; 2 – $d_n=2, d_h=2$;
3 – $d_n=1, d_h=1$; 4 – $d_n=2, d_h=1$.

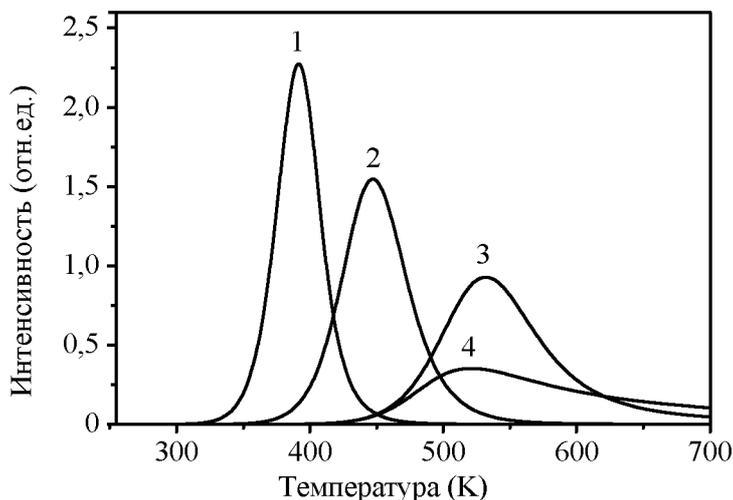


Рисунок 3 – Кривые ТЛ для разных значений d_n и d_h и разных соотношений A_{n1} и A_{h1}

1 – $A_{n1}/A_{h1} = 0.001, d_n = 2, d_h = 2$; 2 – $A_{n1}/A_{h1} = 1, d_n = 2, d_h = 2$;
3 – $A_{n1}/A_{h1} = 100, d_n = 2, d_h = 2$; 4 – $A_{n1}/A_{h1} = 100, d_n = 1, d_h = 1$.

Различие интенсивностей пиков 2 и 3 на рисунке.2 зависит также от отношения A_{n1}/A_{h1} , что можно наблюдать на рисунке 3. Видно, что при $d_n = d_h$ и значительном преобладании рекомбинации над повторным захватом форма пиков не меняется (см.

рис. 3, кривая 1). В случае $A_{n1} > A_{h1}$ интенсивность пиков значительно возрастает с ростом значений d_n .

Изменения T_{\max} и ω в зависимости от A_{n1}/A_{h1} можно проследить на рисунках 4 и 5, соответственно. Поведение этих двух характеристик в значительной степени совпадает. С увеличением A_{n1}/A_{h1} , наблюдается рост T_{\max} и ω для всех значений d_n и d_h . Причем графики, построенные при условии $d_n = d_h = 1$ и $d_n = d_h = 2$, практически совпадают (кривые 2 и 3 на рис.4 и 5).

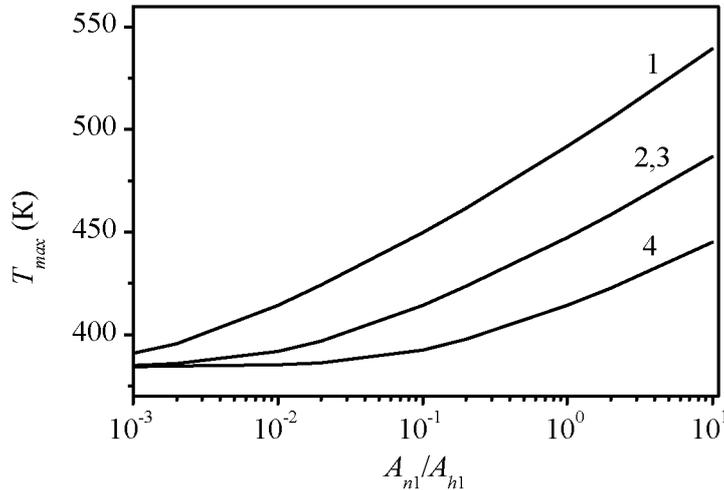


Рисунок 4 – Зависимости температуры максимума от соотношения A_{n1}/A_{h1} при различных значениях параметров d_n и d_h

1 – $d_n=2, d_h=1$; 2 – $d_n=1, d_h=1$;
 3 – $d_n=2, d_h=2$; 4 – $d_n=1, d_h=2$.

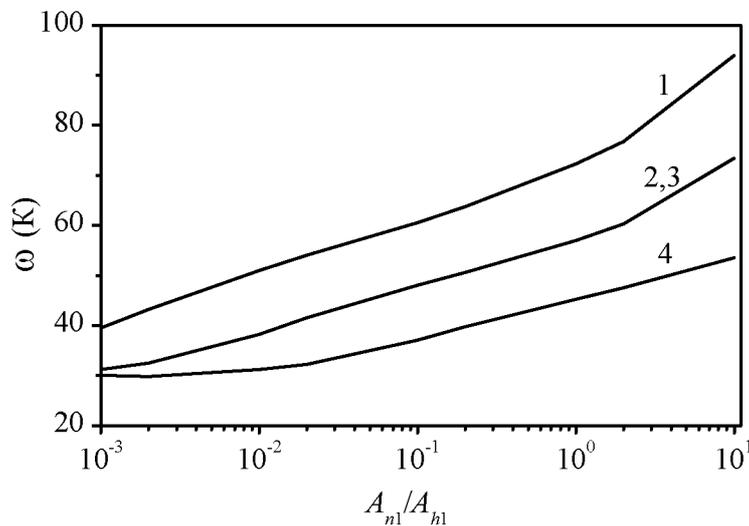


Рисунок 5 – Зависимости полуширины от соотношения A_{n1}/A_{h1} при различных значениях параметров d_n и d_h

1 – $d_n=2, d_h=1$; 2 – $d_n=1, d_h=1$;
 3 – $d_n=2, d_h=2$; 4 – $d_n=1, d_h=2$.

Важной геометрической характеристикой пиков ТЛ, обусловленной кинетикой процессов, является форм-фактор $\mu_g = \delta/\omega$, где δ – высокотемпературное плечо полуширины [6]. В Таблице 1 представлена зависимость параметра μ_g от соотношений A_{n1}/A_{h1} и d_n/d_h . С увеличением отношения A_{n1}/A_{h1} , при всех d_n и d_h ,

наблюдается рост значения форм-фактора μ_g . В случае, когда спектральная размерность системы ловушек превосходит размерность системы центров рекомбинации $\mu_g = 0.52$ при $A_{n1}/A_{h1}=0.01$. В традиционных моделях, такое значение μ_g соответствует второму порядку кинетики [1]. В случае, когда $d_h = 2$ и $d_n = 1$, $\mu_g=0.425$ при $A_{n1}/A_{h1}=0.001$, что соответствует первому порядку кинетики в традиционных моделях.

Таблица 1 – Значения μ_g для различных значений параметров d_n , d_h и A_{n1}/A_{h1}

d_n/d_h	A_{n1}/A_{h1}					
	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
1/1	0.425	0.440	0.490	0.521	0.522	0.561
1/2	0.417	0.425	0.440	0.490	0.519	0.523
2/1	0.444	0.494	0.520	0.521	0.526	0.556
2/2	0.417	0.440	0.490	0.521	0.524	0.528

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе оригинальными программными средствами изучена модель термолюминесценции в наноструктурных материалах, учитывающая в рамках фрактальной кинетики эффекты пространственной неоднородности систем ловушек и центров рекомбинации. Проанализированы зависимости формы пиков ТЛ от параметра d_λ и отношения A_{n1}/A_{h1} . Показано, что изменение спектральных размерностей d_λ (показателей неоднородности) значительно влияет на форму и положение пиков ТЛ. Установлено, что уменьшение d_h при постоянном значении d_n приводит к увеличению полуширины ω и форм-фактора μ_g пика. При этом происходит смещение максимума в сторону более высоких температур.

Примечание: Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, мероприятие 1.2.2. (ГК №П1425 от 03.09.2009)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pagonis V., Kitis G., Furetta C. Numerical and practical exercises in thermoluminescence. New York. Springer, 2006.
2. Kortov V.S. Nanophosphors and outlooks for their use in ionizing radiation detection // Radiation Measurements, 45 – № 3-6, 512 – 515 (2010).
3. Alexander S., Orbach R. Density of states on fractals: «fractons» // J. Phys. (Paris) Lett. 44:L13 (1982).
4. Weinstein I.A., Popko E.A. Genetic synthesizing of band schemes for thermoluminescence in dosimetric crystals // Radiation Measurements, 43, 218 – 221 (2008).
5. Евсегнеев О.А., Рогович В.И., Вайнштейн И.А. Параллельный генетический алгоритм для моделирования термостимулированных процессов // Известия ОрелГТУ «Информационные системы и технологии». –2009. – № 2/52 (563). – С. 81-85.
6. Sunta C.M., Ayta W.E. Ferial, Piters T.M., Watanabe S. Limitation of peak fitting and peak shape methods for determination of activation energy of thermoluminescence glow peaks // Radiation Measurements, 30, 197-201 (1999).
7. Kopelman R. Rate Processes on Fractals: Theory, Simulations, and Experiments // J. Stat. Phys. 42, 185-200 (1986).
8. Kopelman R. Fractal Reaction Kinetics // Science, 241, 1620-1626 (1988).
9. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature: San Francisco. Freeman, 1983.

10. Евсегнеев О.А., Рогович В.И., Вайнштейн И.А. Параллельный программный комплекс для моделирования термоактивационных механизмов люминесценции в твердых телах («ParaLum») / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009612963. Москва, 13.08.2009.

Илья Александрович Вайнштейн

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физические методы и приборы контроля качества»

Тел.: (343) 375-45-94

E-mail: wia@dpt.ustu.ru

Олег Анатольевич Евсегнеев

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника»

Тел.: (343) 324-23-81

E-mail: oevssegneeov@naudoc.ru

Дмитрий Валентинович Харитонов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Студент кафедры «Физические методы и приборы контроля качества»

Тел.: (343) 375-45-94

E-mail: haritonovd@gmail.com

И.В. ИВАНОВ, Е.А. ЛАЗЕБНАЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЗАНЯТОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕГИОНА

В статье описывается методика построения функций принадлежности с использованием аппарата нечетких множеств показателей, которые могут быть использованы для анализа динамики изменения емкости регионального рынка труда на основе структурных характеристик предприятий.

Ключевые слова: нечеткие множества; функция принадлежности; совокупная оценка; весовой коэффициент; профиль предприятия; характер изменения уровня занятости.

In article a technique of construction functions for an estimation of a position enterprise with usage of fuzzy sets. Their usage in an information system will allow to do the analysis of dynamics change of capacity a regional labour market on the basis of structural characteristics of the enterprises.

Keywords: fuzzy sets; membership function; the cumulative estimation; weight coefficient; firm profile; the change of level employment.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задача выживания ВУЗа в рыночной среде проецируется на состояние рынка труда как задача экономической эффективности: немедленной – трудоустройство уже подготовленных ВУЗом специалистов (выпускников) или отложенной – набор абитуриентов, приток которых зависит от степени востребованности специальностей, по которым ВУЗ ведет подготовку.

Более общей системой, определяющей положение, конкурентоспособность и престижность ВУЗа, является рынок труда, исследование которого позволит определять востребованность специалистов-выпускников ВУЗа и емкость существующего на рынке труда спроса, выполнять прогноз потребности в специалистах и на основе анализа вырабатывать управленческие решения.

При построении модели в качестве информации, поступающей на вход, были использованы важнейшие, на взгляд эксперта, экономические показатели, отражающие существующие тенденции на предприятиях регионального рынка труда и позволяющие оценить его емкость. Так как предметом исследования избраны методологические, теоретические и практические проблемы математического моделирования экономических систем, функционирующих в условиях существенной информационной неопределенности, то разработка математической модели и методов исследования рынка труда как экономической системы предлагается провести с применением теории нечетких множеств.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование предприятий и организаций регионального рынка труда может быть затруднено целым рядом причин. Характер кадровой политики и всей системы трудовых отношений на предприятиях различен. Помимо этого, в рамках каждого из них возможно сосуществование адаптировавшихся и не адаптировавшихся к рынку подразделений. В силу этого предлагается проведение выборочного обследования предприятий, для чего сформируем четкое множество J предприятий j , по которым проводятся исследования: $J = \{1..m\}$.

В зависимости от характера изменения занятости все предприятия можно разделить на три категории: 1) увеличивающие занятость – «создатели» рабочих мест; 2) с неизменной занятостью – «держатели» рабочих мест; 3) сокращающие занятость – «ликвидаторы» рабочих мест. Принадлежность предприятий к группам создателей или ликвидаторов рабочих мест выступает одним из наиболее надежных критериев, отделяющих адаптировавшиеся предприятия от предприятий, так и не сумевших приспособиться к новым условиям [1].

Для описания характера изменения занятости отдельного предприятия будет использована функция, зависящая от двух критериев:

$$IZP_j = f\{SRM_j, LRM_j\}, \quad (1)$$

где SRM_j – критерий, определяющий степень принадлежности предприятия к категории создателей рабочих мест;

LRM_j – критерий, определяющий степень принадлежности предприятия к категории ликвидаторов рабочих мест.

При выборочных исследованиях изучаемую совокупность предприятий целесообразно сегментировать на основе ряда признаков. Заметный отпечаток на процессы движения рабочих мест, а следовательно, и на создание новых и ликвидацию существующих рабочих мест, накладывают такие структурные характеристики предприятий, как размер, возраст, форма собственности.

Для описания нечетких критериев SRM_j и LRM_j будут использоваться итоги исследований, которые были получены в рамках проекта «Российский экономический барометр» (РЭБ) в результате опросов группы предприятий из основных отраслей и регионов России в 1993-1999 годах.

В качестве показателей, позволяющих провести сравнительный анализ предприятий для определения степени их принадлежности к категории создателей или ликвидаторов рабочих мест по каждой из вышеприведенных структурных характеристик, используются: коэффициент создания рабочих мест – C_j и коэффициент ликвидации рабочих мест – L_j .

Приведенные коэффициенты показывают, какую долю от общего количества рабочих мест, имевшихся в экономике в исследуемый период, составили созданные и ликвидированные рабочие места соответственно [1]. Среднегодовые фактические показатели движения рабочих мест на предприятиях-респондентах РЭБ по каждой из структурных характеристик приведены в таблице 1.

Анализируя значения показателей, приведенных в таблице, можно заметить, что связь между созданием рабочих мест и такими факторами, как размеры и тип собственности (статус) предприятий, выражена в меньшей степени, чем фактор, характеризующий жизненный цикл предприятия.

Такая закономерность прослеживается не только в российской экономике, но и на рынках труда различных стран. В одной из гипотез, объясняющих это явление, предполагается, что поведение на рынке труда неодинаковых по размерам и формам собственности, но близких по возрасту фирм может отличаться весьма незначительно. И, напротив, в зависимости от возраста предприятий интенсивность создания рабочих мест должна изменяться более резко.

В результате сегментирования предприятий, сведения о которых хранятся в базе данных по указанным в таблице 1 структурным характеристикам, получено 36 различных профилей, приведенных в таблице 2, каждый из которых будет иметь различный характер изменения занятости, определяемый функцией (1).

Таблица 1 – Среднегодовые фактические показатели движения рабочих мест

Структурная характеристика	Выделяемые группы:	Коэффициент C (1999 г.)	Коэффициент L (1999 г.)
Размер предприятия (RP)	Мелкие (до 200 чел.)	1.7	10,4
	Средние (201 – 500 чел.)	2.1	10,3
	Крупные (501 – 1000 чел.)	2.1	9,0
	Сверхкрупные (свыше 1000 чел.)	1.8	9,1
Статус предприятия (SP)	Государственные	1.9	8,9
	Негосударственные	2.1	10,0
	Промежуточные	1.7	10,6
Жизненный цикл предприятия (GCP)	«старые» (дата основания до 1947 г.)	2.0	6,5
	«среднего возраста» (дата основания 1947 - 1986 гг.)	2.6	5,8
	«молодые» (дата основания позднее 1987 г.)	3.2	5,1

Таблица 2 – Порядок сегментирования предприятий по профилям

Профили предприятий		Критерии x_1 (RP)		Критерии x_2 (SP)		Критерии x_3 (GCP)		SRM	LRM	IZP
		C_1	L_1	C_2	L_2	C_3	L_3			
		ν_1	μ_1	ν_2	μ_2	ν_3	μ_3			
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Крупное, негосударственное, молодое	A_1	2,10	9,00	2,10	10,00	3,20	5,10	0,58	0,86	1
		0,524	0,889	0,524	0,900	0,688	0,804	7	6	
Крупное, негосударственное, среднего возраста	A_2	2,10	9,00	2,10	10,00	2,60	5,80	0,55	0,87	0,50
		0,524	0,889	0,524	0,900	0,615	0,828	9	3	8
Крупное, негосударственное, старое	A_3	2,10	9,00	2,10	10,00	2,00	6,50	0,51	0,87	0,16
		0,524	0,889	0,524	0,900	0,500	0,846	5	9	8
...
Мелкое, промежуточное, среднего возраста	A_3 s	1,70	10,40	1,70	10,60	2,60	5,80	0,49	0,88	0,09
		0,412	0,904	0,412	0,906	0,615	0,828	1	0	1

Продолжение таблицы 2

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мелкое, промежуточное, старое	A_{35}	1,70	10,40	1,70	10,60	2,00	6,50	0,44	0,88	0
		0,412	0,904	0,412	0,906	0,500	0,846	6	6	
Низшая оценка (ограничивающая снизу)		0,412	0,889	0,412	0,900	0,500	0,804	0,44	0,88	
Высшая оценка (ограничивающая сверху)		0,524	0,904	0,524	0,906	0,688	0,846	0,58	0,86	
Средняя оценка между высшей и низшей оценкой		0,468	0,896	0,468	0,903	0,594	0,825			
Сумма средних оценок по критериям $C(RP)$, $C(SP)$, $C(GCP)$ – Csr									1,529	
Сумма средних оценок по критериям $L(RP)$, $L(SP)$, $L(GCP)$ – Lsr									2,624	
Весовые коэффициенты		0,306	0,342	0,306	0,344	0,388	0,314	-	-	-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ К КАТЕГОРИЯМ СОЗДАТЕЛЕЙ И ЛИКВИДАТОРОВ РАБОЧИХ МЕСТ

Для получения оценки деятельности предприятия как создателя рабочих мест необходима такая функция принадлежности, которая сводила бы совокупность критериев $C_j(RP)$, $C_j(SP)$ и $C_j(GCP)$ в некоторый показатель предпочтительности и позволяла получить в наибольшей степени устраивающий нас результат [2]. Таким образом, главная задача – построение функции принадлежности для трех критериев.

Утверждение о том, что любая пара критериев не зависит по предпочтению от третьего критерия, позволяет использовать для описания аддитивную функцию [3], которая в общем виде выглядит следующим образом:

$$v(x_1, x_2, x_3) = \sum_{k=1}^3 \lambda_{k1} v_{k1}(x_{k1}),$$

где λ_{k1} – вес, предписанный критерию x_{k1} , для которого должны выполняться следующие условия: $0 < \lambda_{k1} < 1$, $k1 = 1, 2, 3$; $\sum_{k1=1}^3 \lambda_{k1} = 1$;

v_{k1} – одномерная функция значений одного отдельно взятого критерия x_{k1} .

Таким образом, функцию принадлежности для описания критерия SRM_j можно записать в следующем виде:

$$SRM_j(C_j(RP), C_j(SP), C_j(GCP)) = \lambda_1 C_j(RP) + \lambda_2 C_j(SP) + \lambda_3 C_j(GCP).$$

После выбора общего вида функции необходимо описать методику построения всех ее компонентов, а именно, одномерные функции принадлежности значений каждого критерия и весовые коэффициенты.

Для описания отдельно взятого критерия x_{k1} ($k1=1,2,3$) будет использована функция:

$$v_{k1} = 1 - \frac{1}{C_{jk1}},$$

где C_{jk1} – значение показателя C для $k1$ -го критерия предприятия j .

Такой выбор функции отвечает следующим требованиям: значение v_{k1} для худшего значения C_{jk1} на интервале, соответствующем $k1$ -му критерию, меньше значения v_{k1} для любого лучшего значения C_{jk1} на этом же интервале; все значения функции лежат в диапазоне $[0, 1]$ для всех C_{jk1} на соответствующих интервалах.

Для нахождения весовых коэффициентов λ_{k1} необходимо определить среднюю по ценности точку x_c интервала $[x_a, x_b]$ критерия x_{k1} . Поскольку единица измерения значений для шкалы каждого из трех критериев одинакова, то в качестве средней по ценности точки (Csr_{k1}) критерия x_{k1} выберем значение, соответствующее среднему между максимальным и минимальным значениями на $k1$ -ом интервале (каждом из рассматриваемых интервалов). Нахождение весовых коэффициентов λ_{k1} осуществляется по формуле:

$$\lambda_{k1} = \frac{Csr_{k1}}{\sum_{k3=1}^3 Csr_{k3}},$$

где $\sum_{k3=1}^3 Csr_{k3}$ – сумма всех средних по ценности точек профиля, соответствующего j -му предприятию. Откуда получаем: $\lambda_1=0,306$, $\lambda_2=0,306$, $\lambda_3=0,388$ (таблица 2).

Построив все компоненты функции принадлежности критерия SRM_j , получаем формулу, позволяющую определить для каждого предприятия показатель, характеризующий степень принадлежности предприятия к категории создателей рабочих мест на основе его структурных характеристик:

$$SRM_j \{C_j(RP), C_j(SP), C_j(GCP)\} = 0,306 \cdot \left(1 - \frac{1}{C_{1j}}\right) + 0,306 \cdot \left(1 - \frac{1}{C_{2j}}\right) + 0,388 \cdot \left(1 - \frac{1}{C_{3j}}\right).$$

Аналогичные рассуждения при построении компонент функции критерия LRM , определяющего степень принадлежности предприятия к категории ликвидаторов рабочих мест, приводят к получению функции принадлежности следующего вида:

$$LRM_j \{L_j(RP), L_j(SP), L_j(GCP)\} = 0,342 \cdot \left(1 - \frac{1}{L_{1j}}\right) + 0,344 \cdot \left(1 - \frac{1}{L_{2j}}\right) + 0,314 \cdot \left(1 - \frac{1}{L_{3j}}\right).$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЗАНЯТОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Функцию принадлежности, описывающую показатель изменения уровня занятости предприятия, представим в виде:

$$IZP_j = \frac{SRM_j(A_{jk2}) - SRM(A_{\min})}{SRM(A_{\max}) - SRM(A_{\min})} \cdot \frac{LRM_j(A_{\max}) - LRM(A_{jk2})}{LRM(A_{\max}) - LRM(A_{\min})},$$

где A_{jk2} – $k2$ -й профиль j -ого предприятия ($k2=1, \dots, 36$);

$SRM_j(A_{jk2})$ и $LRM_j(A_{jk2})$ – значения соответствующих нечетких критериев по этому же профилю для предприятия j ;

$SRM(A_{\max})$ и $LRM(A_{\min})$ – значения соответствующих критериев по профилю с наиболее благоприятным характером изменения занятости;

$SRM(A_{\min})$ и $LRM(A_{\max})$ – значения соответствующих критериев по профилю с наименее благоприятным характером изменения занятости среди всей совокупности профилей.

Следует отметить, что факторы SRM_j и LRM_j оказывают взаимнообратное влияние на характер изменения занятости отдельного предприятия, то есть $IZP_j = \{SRM_j \uparrow, LRM_j \downarrow\}$, поэтому профилю с наиболее благоприятным характером изменения занятости соответствуют значения критериев $SRM(A_{\max})$ и $LRM(A_{\min})$.

Порядок сегментирования предприятий по профилям, описывающий механизм расчета, используемый в информационной системе, представлен в таблице 2, в которой также содержатся значения для всех компонентов, используемых при построении функции принадлежности IZP_j , а также ее значения, полученные по каждому из профилей. Заметим, что все профили располагаются в таблице в порядке убывания значений коэффициентов C и возрастанию коэффициентов L по каждому из трех критериев.

Значения функции IZP_j , полученные по каждому из профилей, не оставляют сомнений в верном выборе вида функции и правильном построении ее компонентов, так как все ее значения лежат в диапазоне $[0,1]$ и реально отражают порядок расположения профилей по убыванию, что полностью отвечает требованиям нечетких множеств.

Для получения совокупной оценки характера изменения занятости по всей группе предприятий вычисленные значения вышеприведенных показателей по каждому из предприятий агрегируются в соответствующий совокупный показатель, например, как среднее арифметическое:

$$IZ = \frac{\sum_{j=1}^m IZP_j}{m}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятие обоснованного решения о наборе абитуриентов для достижения конкретной цели системы менеджмента ВУЗа – более эффективного трудоустройства выпускников – должно базироваться на результатах анализа состояния регионального рынка труда. Поэтому задача разработки адекватной математической модели, учитывающей существенные аспекты рынка труда как экономической системы и использующей накопленные сведения для получения новой информации с целью решения задачи принятия решения ВУЗом о наборе абитуриентов является весьма актуальной.

В работе описывается методика моделирования и обоснование функций принадлежности группы критериев, описывающих показатели для определения характера изменения занятости регионального рынка труда на основе структурных характеристик предприятий с использованием аппарата нечетких множеств. Предложенная группа критериев может быть использована для анализа и прогнозирования динамики изменения занятости на региональном рынке труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капелюшников Р.И. Российский рынок труда: адаптация без реструктуризации. – ГУ ВШЭ, 2001. – 309 с.
2. Аверкин А.Н. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

3. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981.– 206 с.

Иванов Игорь Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Информационные технологии»

Тел.: (4722) 30-99-01 (доб. 14-62)

E-mail: ivan_i_v@intbel.ru

Лазебная Елена Александровна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии»

Тел.: (4722) 30-99-01 (доб. 14-91), 55-89-56

E-mail: L_EL_A@mail.ru

В.А. МОРДВИНОВ, Д.А. ЮРГАЕВ

**АДДИТИВНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОРТАЛОВ
В РЕГУЛЯРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛЕБЕГА**

Статья посвящена методике оценки аддитивности информационных порталов с применением пространства Лебега. В статье авторами приведена и доказана теорема об аддитивности информационных порталов, функционал которых заведомо находится в пределах пространства Лебега. Также приведены методики энтропийной оценки с использованием энтропии расслоения.

Ключевые слова: аддитивность; пространство Лебега; энтропия расслоения.

The article is about the technique of additivity's definition concerning to information portals using the Lebesgue's spaces. The theorem about the additivity of information portals, the functionality of which obviously is in the limits of the space of Lebesgue is represented and proved by authors of the article. Also the techniques of entropy's estimation using the stratificational entropy.

Keywords: additivity; space of Lebesgue; entropy of stratification.

В настоящее время в русскоязычном сегменте Интернета в открытом доступе имеется множество информационных ресурсов, потенциально полезных образовательному сообществу. Эти ресурсы расположены на серверах учебных заведений, коммерческих и некоммерческих организаций, федеральных и региональных органов управления образованием. Однако релевантный поиск таких ресурсов и оценки на их пертинентное соответствие могут быть затруднены в связи с возникающими неопределенностями в отношении достижения достаточных и измеряемых аддитивности, эргодичности и когнитивности функционала образовательных информационных систем. Значение этой проблемы возрастает в связи с неизбежным появлением в последнее время, наряду с традиционными системами с архитектурой аддитивного функционирования, многочисленных разнообразных диссипативных, адаптивных, ассоциативных и других систем, аддитивность, эргодичность и когнитивность которых сомнительна и не определена. Причем в специальной литературе отсутствуют модели и методы комплексной достоверной оценки этих трех существенных признаков, что затрудняет эффективную разработку программных средств обработки данных.

Актуальной представляется задача выработки решений, позволяющих расширить и объединить функционал аддитивных информационных систем, при этом наладив эффективный механизм поиска и обмена ресурсами между ними за счет внедрения дополнительных сервисных возможностей. Это предоставит пользователям дополнительные преимущества, избавив от необходимости построения сложных запросов к разным поисковым системам, повысит качество функционирования информационных систем и понизит обобщенную энтропию системы.

При этом авторы исходили из положения, опубликованного С.М. Коротаевым [литературный источник №1], согласно которому энтропия – есть мера неопределенности некоторой ситуации, которую также можно назвать мерой рассеяния, и в этом смысле она уподобляется дисперсии. Но если дисперсия является адекватной мерой рассеяния лишь для специальных распределений вероятностей случайных величин (а именно – для двухмоментных распределений, в частности, для

гауссова распределения), то энтропия не зависит от типа распределения. Впрочем, в специальной литературе приводятся различные модифицированные разновидности энтропии, для некоторых из которых этот тезис может потребовать дополнительной проверки. Однако наиболее распространенные энтропийные оценки в теории и практике проектирования информационных систем, такие, как обобщенная энтропия, энтропия потока, энтропия информации, относительная и условная энтропии и ряд других разновидностей энтропий, вполне попадают под высказанное выше определение.

Для точного описания любой из этих энтропий, необходимо иметь некоторую совокупность случайных явлений с присущей им математической моделью. Как и во всяком абстрактном моделировании, избираемая для энтропийных оценок математическая модель должна обладать тремя основными признаками:

- достаточной общностью, дающей возможность описания вариаций физических ситуаций;
- насыщенностью внутренней структуры, позволяющей описать случайные явления с использованием математических средств;
- отсутствием избыточности в описании признаков.

В исследованиях энтропийных характеристик функций, поведения, свойств и состояний информационных систем, особенно сложных, авторы исходят из положения о том, что наиболее подходящей структурой для описания случайных процессов в этих системах является вероятностное пространство, то есть пространство вида (Ω, F, P) , где Ω – множество, F – некоторая совокупность подмножеств Ω , а P – определенная на F неотрицательная вещественнозначная функция.

Авторами к рассмотрению в настоящей работе, посвященной исследованию и созданию многоуровневого сложного мультисервисного консорциума профильных образовательных микропорталов, приняты следующие аксиоматические признаки вероятностных пространств:

- совокупность F является σ -алгеброй;
- функция P – счетно-аддитивная мера;
- $P(\Omega) = 1$.

Исходя из критерия достаточности описания случайных явлений, оказалось весьма многообещающим использование класса вероятностных пространств Лебега. Пространство Лебега определено как пространство с конечной мерой, которое полно относительно некоторого базиса.

Пространства Лебега изоморфны сегменту единичного отрезка с мерой Лебега, объединенному со счетным набором точечных нагрузок таким образом, чтобы общая мера сегмента и всех нагрузок равнялась единице. Доказательство аддитивности сегмента единичного отрезка с мерой Лебега представляется в материалах монографии Колмогорова А.Н. и Фомина С.В. [литературный источник № 2].

В развитие этого решения известных авторов разработчиком настоящего исследования осуществлен переход от плоскостных сегментов к пространственным.

В этой связи авторы настоящей статьи приводит далее доказываемую им теорему об аддитивности пространственного сегмента единичного отрезка с мерой

Лебега, то есть
$$\mu(A) = \sum_{k=1}^m \sum_n \mu_m(A_n) \quad , \quad (1)$$

где m – количество подсегментов пространственного сегмента.

В силу верности тождества $\mu\left(\bigcup_{k=1}^n A_k\right) = \sum_{k=1}^n \mu(A_k)$ при любом N :

$$\mu\left(\bigcup_{n=1}^N A_k\right) = \sum_{n=1}^N \mu(A_n) < \mu(A). \quad (2)$$

Переходя к пределу $N \rightarrow \infty$, получаем:

$$\mu(A) \geq \sum_{n=1}^{\infty} \mu(A_n). \quad (3)$$

С другой стороны, при $A \subset \bigcup_n A_n$:

$$\mu(A) \leq \sum_{n=1}^{\infty} \mu(A_n). \quad (4)$$

Из неравенств 3 и 4 вытекает верность выражения 1. Теорема доказана.

Следовательно, пространственный сегмент единичного отрезка с мерой Лебега аддитивен. Это означает, что исходя из изоморфности пространства Лебега сегменту единичного отрезка с мерой Лебега, пространство Лебега можно рассматривать как аддитивное пространство.

Результатом подтверждения аддитивности пространства Лебега явилась возможность использования энтропийных характеристик по отношению к событиям и состояниям связанных с ним информационных систем.

В развитие этого положения уместно заметить следующее. Пространство Лебега в эргодической теории – есть измеримое пространство пар (M, m) , где M – произвольное множество состояний или составляющих, функционально описывающих ИС, m – выделенные алгебры их подмножеств.

При этом отметим, что аддитивный портал учебного назначения как представитель динамических информационных систем (в том числе, в составе многоуровневого информационного микропортального образовательного консорциума) является эргодической относительно меры Y на m , если m в степени, отображающей порядок значения в пространстве квадратных матриц эндоморфизма этого пространства, представляет тривиальную сигму алгебру, состоящую из множеств меры 1 или 0 . Весьма важно отметить, что такого рода толкование уместно по отношению к обширному перечню классов систем, в том числе условно аддитивных, то есть адаптивных и даже диссипативных информационных систем.

Учтем также, что для эргодической существенной информационной системы A – есть конечное или счетное разбиение пространства Лебега (M, m, Y) с элементами C_i , причем индексы $i = 1, 2, \dots$, где Y – неотрицательная мера на m .

В общем случае здесь измеримое пространство линейного расслоения, то есть пространство Лебега, характеризуется тройкой величин M, m, Y , где M и m – измеримые пространства, $Y: M \rightarrow m$ – измеримое отображение и существует изоморфизм, отвечающий соответствующим требованиям. Назовем M пространством расслоения, m – базой, Y – проекцией, $l \setminus Y(X)$ – слоем над X , отображение в котором, а именно в каждом слое, вводится в виде структуры нормированного векторного пространства.

В дальнейшем, если не оговаривать иное, будем считать меру Y нормированной, то есть $Y(M) = 1$, следовательно, (M, m, Y) есть вероятностное пространство, что дает все необходимые основания для применения известного

энтропийного метода исследований в указанном пространстве. Таким образом, в эргодической теории могут рассматриваться измеримые преобразования и измеримые действия групп на основе энтропийных оценок в пространствах, относящихся к пространствам Лебега. Как показало проведенное исследование, для этого достаточно быть уверенным в измеримости исследуемой функции независимо от особенностей ее в части гладкости функции. Причем это положение распространяется как на эндоморфизмы, так и на автоморфизмы пространства Лебега.

Строго говоря, наряду с обязательной измеримостью (исчисляемостью) эргодичности должны быть также присущи повторяемость и предсказуемость результата измерений (вычислений). Опуская здесь промежуточные рассуждения и выкладки отметим, что эти свойства присущи поведению систем, численные значения функционала которых в рассматриваемых пределах изменений не выходят за границы пространства Лебега.

Исходя из структуры аддитивных порталов учебного назначения, построенных по модели пространств Лебега, для их энтропийной оценки, по мнению авторов, наиболее приемлемо использование энтропии расслоения.

Здесь под энтропией расслоения подразумевается энтропия разбиения A для функционала ИС любой сложности, динамики и проявлений нелинейности, которая представляется в следующем обобщенном виде:

$$H(A) = - \sum_i Y(C_i) \ln Y(C_i) . \quad (5)$$

В развитие приведенной выше формулы для многоуровневых систем авторами статьи предложена следующая расчетная формула, вошедшая в формуляр моделирования и проектирования многоуровневого микропортального образовательного консорциума:

$$H(A) = - \sum_{k=1}^n \sum_{i=1} Y_k(C_i) \ln Y_k(C_i), \quad (6)$$

где Y – неотрицательная мера на массив M множества сколь угодно развитого числа состояний, вероятности состояний или составляющих ассамблей, галерей, слоев ИС и тому подобное; C_i (индексы $i = 1, 2, \dots$) – элементы составляющих или состояний, упомянутых выше, n – количество уровней многоуровневой системы. Тогда произвольное, любое разбиение A в достаточно развитой ИС индуцирует измеримое разбиение на каждом или почти каждом D_k . Энтропия (любая из перечисленных в начале статьи разновидностей энтропии) такого разбиения в общем случае записывается как $H(A/D_k)$ и является условной энтропией A при условии D_k .

Далее предлагается рассматривать такое определение условной энтропии в качестве канонического для современных существенных ИС, в том числе характеризующихся высокими скоростями происходящих в них динамических изменений, следовательно, сложных с точки зрения управления ими. Итак, условной энтропией A существенных ИС при условии $K=k$ является величина

$$H(A/K) = \int_{M/K} H(A/D_k) dY, \quad (7)$$

где M/K – факторпространство пространства M по разбиению K , мера на котором индуцирована мерой Y .

Анонсируем некоторые из свойств условной энтропии функций, описывающих существенные динамические ИС:

1. Значение $H(A/K)$ всегда равно или более нуля.
2. Значение $H(A/K)$ всегда равно или менее значения $H(A)$.

3. Справедливо равенство $H(A1 \vee A2/K) = H(A1/K) + H(A2/A1 \vee K)$.
4. Величина $H(A1 \vee A2/K)$ равна и меньше суммы величин $H(A1/K)$, $H(A2/K)$.
5. Если T – эндоморфизм пространства Лебега, то $H(T A/T K) = H(A/K)$ – это, пожалуй, одно из самых важных свойств условной энтропии эргодичных ИС, в том числе, существенных динамических информационных систем.

Отсюда непосредственно следует основное определение энтропии T динамической системы, согласно которому авторами настоящей публикации предлагается называть величину $h(T) = \sup h(T, A)$, где верхняя грань берется по всем измеримым разбиениям A .

Отметим при этом, что энтропия $h(T)$ является метрическим инвариантом, если $T1$ и $T2$ изоморфны, то $h(T1) = h(T2)$. Такое толкование энтропии $h(T)$ совпадает с толкованием метрической энтропии или энтропии Колмогорова, энтропией Колмогорова – Синая. Кроме того, объявление величин $T1$ и $T2$ изоморфными делает еще более обоснованным введение в качестве регулятора генеральных свойств и функций сложных информационных систем комплексной меры так называемого информационного морфизма, определяемого авторами как гомоморфизм свободного моноида в информационном поле, генерируемого из сообщества морфологических, иногда и синтаксических, сходств и признаков, способных к кластеризации. Морфизм как теоретическое представление системности информационных средств является яркой составляющей современной синергетической науки. С точки зрения синергетики носитель информации возникает в результате самопроизвольного нарушения существующей симметрии информационного морфизма в точке бифуркации как следствие синергетического развития информационного объекта. Композиции информационных морфизмов в системе должны удовлетворять условиям ассоциативности, а для каждого элемента композиции должен быть определен тождественный морфизм.

Энтропия H интегрального автоморфизма Tf , построенного по эргодическому автоморфизму T и целочисленной функции f , является энтропией потока $H(Tf)$. Понятие энтропии потока дает исследователю сложных, существенно распределенных динамических систем превосходный инструмент анализа функционала обмена информацией и ее поиска в условиях больших, интенсивных, достаточно спонтанных межузловых диспетчеризаций, то есть в условиях больших резко изменяющихся информационных потоков и связанных с этим возможных осложнений, конфликтов, очередей, коллапсов.

По мнению авторов настоящего исследования, энтропийные оценки систем с выраженной динамикой (в том числе, порталов учебного назначения) должны производиться с учетом вероятных для них чередований стохастичности и устойчивости и связанных с этими чередованиями возможными бифуркациями траекторий развития событий.

Для исследования существенных образовательных систем открывается удобная возможность реализации практически любого эргодического автоморфизма с конечной энтропией как стационарного случайного процесса теории вероятностей с дискретным временем и конечным числом состояний. Однако это не исключает возможности существования инвариантных ситуаций, возникновения странных аттракторов, приносящих в траекторию функции поведения информационных систем ту или иную степень неустойчивости, которая служит причиной развития стохастичности исходной системы. Вероятность такого развития очевидна в условиях неизбежного возрастания сложности информационных систем с явной тенденцией к

разрастанию признаков нелинейности и неустойчивости их поведения. Представленные в настоящей статье модельные уточнения учтены авторами в процессе моделирования, проектирования и сопровождения многоуровневого микропортального консорциума информационной поддержки профессиональной подготовки магистров и бакалавров по направлению «Информационные системы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кортаев С.М. Публикация «Энтропия и информация – универсальные естественнонаучные понятия».
2. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М: Наука, 1975. – 528 с.
3. Принципы построения и описания профилей стандартов и спецификаций информационно-образовательных сред. Метаданные для информационно-образовательных ресурсов сферы образования / А.Н. Тихонов, В.Н. Азаров, А.Б. Антопольский, А.И. Башмаков, В.Н. Белоозеров, М.В. Булгаков, А.Д. Иванников, А.О. Кривошеев, Д.В. Куракин, А.В. Манцивода, Б.М. Позднеев, В.А. Старых, Ю.М. Тараскин, Г.А. Федорова. – Москва, 2009. – 373 с.
4. Тихонов А.Н., Булгаков М.В., Иванников А.Д., Куракин Д.В. Статья «Проект создания федерального портала по научно-инновационной деятельности».
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для ВУЗов. – 5-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
6. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии: пер. с англ. – М.: Мир, 1988. — 350 с.
7. Мордвинов В.А. Онтология моделирования и проектирования семантических информационных систем и порталов. – М: 2005. – 238 с.

Мордвинов Владимир Александрович

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), г. Москва

Кандидат технических наук, профессор, проректор МИРЭА, заведующий кафедрой «Технических и информационных средств систем управления»

Тел.: 8(495)434-93-70

E-mail: mordvinov@mirea.ru

Юргаев Дмитрий Андреевич

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), г. Москва

Ассистент кафедры «Технических и информационных средств систем управления»

Тел.: 8(926)336-27-69

E-mail: DmitryYurgaev@rambler.ru

ИНВАРИАНТЫ ВОСЬМИКАНАЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО АФФИННОЙ ГРУППЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И КАЛИБРОВКИ КАНАЛОВ

В данной работе рассматривается проблема применения инвариантов для решения задач цифровой обработки изображений. В качестве решения предлагается геометрический подход, основанный на использовании инвариантов изображения. Впервые определяется и исследуется конструкция инвариантов восьмиканального изображения относительно аффинной группы преобразований и калибровки каналов. Представленный в данной работе подход к обработке изображений на примере снимков земной поверхности может быть использован при решении задач классификации изображений, их распознавании, а также при построении статистических методов обработки группы изображений.

Ключевые слова: инварианты; многоканальные изображения.

The question of invariants application for solution of a digital images processing problem is considered in the given work. The geometrical approach based on using of images invariants is offered as a decision. For the first time the group of eight-channel image invariants concerning affine group of transformations and calibration of channels is defined and analyzed. The approach to images processing on an example of pictures of Earth surface, presented in given work, can be used at the decision of images classification problems, their recognition, and also at construction of statistical methods of group of images processing.

Keywords: invariant; multichannel image.

ВВЕДЕНИЕ

Многоканальные космические и радиолокационные снимки, содержащие отдельные изображения в различных участках спектра, произвели настоящую революцию в области дистанционного зондирования Земли. Они послужили толчком к развитию геоинформационных систем и разработке новых математических методик работы с графическими базами данных. Одним из основных направлений использования многозональных снимков долгое время являлся синтез цветных изображений для визуального дешифрирования. Данная методика ориентирована на человеческое восприятие, которое не во всех случаях может дать адекватную оценку информации. Поэтому вектор развития современных геоинформационных систем смещается в сторону цифровой автоматизированной обработки многоканальных снимков [2, 3, 4].

При автоматизированной цифровой обработке многоканальных изображений (космических снимков, геофизических полей) возникает естественная задача определения инвариантных характеристик изображения. Так как условия съемки: освещенность, ориентация камеры, положение объекта в различные моменты съемки отличаются, то желательно, чтобы выбор характерных точек изображения не зависел от качества, ориентации, масштаба снимка. Другими словами, был бы инвариантен относительно определенной группы преобразований снимка. В данной работе определяются и исследуются инвариантные характеристики многоканальных изображений относительно аффинной группы преобразований и калибровки каналов на примере снимков земной поверхности, полученных спутником Landsat-7 [5].

ХАРАКТЕРИСТИКА СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКА LANDSAT-7

Космический аппарат Landsat-7 был запущен 15 апреля 1999 года с авиабазы Ванденберг (США). Спутник был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км. В качестве инструмента съемки на борту спутника Landsat-7 выступает прибор ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) – мультиспектральный сканирующий радиометр. Начиная с июля 1999 г., этот сенсор ведет постоянную съемку поверхности Земли. Инструмент ETM+ ведет сбор данных в 8-ми спектральных каналах. Пространственное разрешение в видимых и инфракрасных каналах составляет 30 м, разрешение панхроматического изображения – 15 м и разрешение термального канала – 60 м при ширине полосы обзора для всех каналов около 185 км. Спектральные характеристики мультиспектрального сканирующего радиометра представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Спектральные характеристики ETM+

Длина волны, мкм	Разрешение, м
0.45-0.52	30
0.53-0.61	30
0.63-0.69	30
0.78-0.90	30
1.55-1.75	30
10.40-12.50	60
2.09-2.35	30
0.52-0.90	15

Характеристики спектральных диапазонов и цветовых зон представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики спектральных диапазонов, цветовых зон

Область спектра / Цветовая зона	Ширина области спектра / цветовой зоны
Видимая область (мкм) Цветовые зоны	
фиолетовая	0.39 – 0.45
синяя	0.45 – 0.48
голубая	0.48 – 0.51
зеленая	0.51 – 0.55
желто-зеленая	0.55 – 0.575
желтая	0.575 – 0.585
оранжевая	0.585 – 0.62
красная	0.62 – 0.80
Область инфракрасного излучения (ИК): (мкм)	
ближняя	0.8 – 1.5
средняя	1.5 – 3.0
дальняя	> 3.0

Из приведенных в таблицах 1 и 2 данных очевиден следующий факт – снимок земной поверхности, сделанный спутником Landsat7, охватывает практически весь спектральный диапазон.

Данные дистанционного зондирования, полученные со спутника Landsat-7, применяются при решении таких задач как создание и обновление карт, мониторинг состояния окружающей среды, сельскохозяйственный мониторинг, контроль чрезвычайных ситуаций и многих других.

ИНВАРИАНТЫ ВОСЬМИКАНАЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В математической постановке восьмиканальное изображение представляет собой 8 неотрицательных функций в некоторой области на плоскости. В данной работе будем предполагать, что функции k -раз непрерывно дифференцируемы, тогда справедливо разложение Тейлора k -го порядка с центром в произвольной точке области. Можно считать, не ограничивая общности, что данная точка – начало координат на плоскости. Получим

$$f^i(x, y) = a^i + p_1^i x + p_2^i y + \dots + \frac{1}{k!} \sum_{r+s=k} p_{rs}^i x^r y^s + o\left(\sqrt{(x^2 + y^2)^k}\right)$$

где $i = \overline{1, N}$, $N = 8$. Введем обозначение $f(x, y) = \{f^i(x, y)\}_{i=1}^8$.

Аффинная группа $A(2, R)$ преобразований плоскости имеет следующий вид:

$$A = \begin{cases} x^* = c_{11}x + c_{12}y \\ y^* = c_{21}x + c_{22}y \end{cases}$$

Предположим, что снимок подвергся аффинному преобразованию и калибровке каналов:

$$\Theta(\lambda, A): f(x, y) \rightarrow e^\lambda((c_{11}x + c_{12}y), (c_{21}x + c_{22}y)).$$

Здесь $e^\lambda f$ – покомпонентное произведение на коэффициенты $e^\lambda = [e^{\lambda_1}, e^{\lambda_2}, \dots, e^{\lambda_8}]$, что соответствуют калибровке 8 слоев (множители e^{λ_i} можно интерпретировать как факторы поглощения среды, действующие в окрестности исследуемой точки и соответствующие частотному диапазону данного слоя).

Пусть $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8]$ – соответствующий вектор. Преобразования $\Theta(\lambda, A)$ образуют коммутативную группу Ли $G \cong R^N \times A(2, R)$ размерности $\dim(G) = 4 + N = 4 + 8 = 12$. Обозначим через J_N^k векторное пространство k -струй дифференцируемых класса C^k отображений R^2 в R^N , другими словами Тейлоровских разложений порядка k таких отображений. Рассматривая действие группы G на пространстве $J_N^k = J^k(R^2; R^N)$ k -струй функций получим, что группа G действует в пространстве размерности $n(k, N) = \frac{N(k+1)(k+2)}{2}$.

Здесь k – порядок тейлоровского разложения, а N – число каналов. В нашем случае получим $n(1, 8) = \frac{8(1+1)(1+2)}{2} = 24$.

Определение 1. Будем называть числовую функцию $I: J_N^k \rightarrow R$, нетождественно равную константе, инвариантом k -го порядка, если под действием преобразований группы G она не меняется.

Замечание. Размерность пространства независимых инвариантов относительно группы аффинных преобразований и калибровки каналов равна

$$\dim(I) = J_N^k - \dim(G) = \frac{N(k+1)(k+2)}{2} - (4 + N) = 2 \cdot (N - 2), \text{ при } k = 1.$$

где N – число каналов.

В случае восьмиканального изображения размерность пространства инвариантов равна $\dim(I) = 2 \cdot (8 - 2) = 12$.

Теорема 1. Следующие функции являются инвариантами восьмиканального изображения 1-го порядка:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{a^2(p_1^3 p_2^1 - p_1^1 p_2^3)}{a^3(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_2 &= \frac{a^1(p_1^3 p_2^2 - p_1^2 p_2^3)}{a^3(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_3 &= \frac{a^2(p_1^4 p_2^1 - p_1^1 p_2^4)}{a^4(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, \\
 I_4 &= \frac{a^1(p_1^4 p_2^2 - p_1^2 p_2^4)}{a^4(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_5 &= \frac{a^2(p_1^5 p_2^1 - p_1^1 p_2^5)}{a^5(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_6 &= \frac{a^1(p_1^5 p_2^2 - p_1^2 p_2^5)}{a^5(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, \\
 I_7 &= \frac{a^2(p_1^6 p_2^2 - p_1^2 p_2^6)}{a^6(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_8 &= \frac{a^1(p_1^6 p_2^2 - p_1^2 p_2^6)}{a^6(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_9 &= \frac{a^2(p_1^7 p_2^2 - p_1^2 p_2^7)}{a^7(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, \\
 I_{10} &= \frac{a^1(p_1^7 p_2^2 - p_1^2 p_2^7)}{a^7(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_{11} &= \frac{a^2(p_1^8 p_2^2 - p_1^2 p_2^8)}{a^8(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}, & I_{12} &= \frac{a^1(p_1^8 p_2^2 - p_1^2 p_2^8)}{a^8(p_1^2 p_2^1 - p_1^1 p_2^2)}.
 \end{aligned}$$

Доказательство. Как было указано ранее, в математической постановке восьмиканальное изображение представляет собой восемь неотрицательных функций в некоторой области на плоскости. Будем предполагать, что функции 1-раз непрерывно дифференцируемы, тогда справедливо разложение Тейлора 1-го порядка с центром в начале координат:

$$f^i(x, y) = a^i + p_1^i x + p_2^i y + o(\sqrt{x^2 + y^2}), \quad i = \overline{1, 8}.$$

Под действием преобразования $\Theta(\lambda, A)$ данные функции примут вид:

$$\bar{f}^i(x, y) = e^{\lambda_i} \left[a^i + p_1^i Ax + p_2^i Ay + o(\sqrt{(Ax)^2 + (Ay)^2}) \right],$$

Нетрудно проверить, что

$$\begin{vmatrix} \bar{a}^i & \bar{a}^j \\ p_1^i & p_2^i \\ p_1^j & p_2^j \end{vmatrix} = e^{\lambda_i} e^{\lambda_j} \begin{vmatrix} p_1^i & p_2^i \\ p_1^j & p_2^j \end{vmatrix} \det A, \quad \bar{a}^i \bar{a}^j = a^i a^j e^{\lambda_i} e^{\lambda_j}.$$

Отсюда следует инвариантность отношения этих величин. Имеем набор инвариантов вида:

$$I = \frac{p_2^i p_1^j - p_1^i p_2^j}{a^i a^j}, \quad i < j, \quad i, j = \overline{1, 8}.$$

Число независимых инвариантов этого набора равно 13. Путем деления всех инвариантов данного набора на один из них получим базис из 12 аффинных инвариантов первого порядка для восьмиканального изображения.

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНВАРИАНТОВ

Представим восьмиканальное изображение в виде 8 неотрицательных функций в некоторой области на плоскости. Будем предполагать, что функции дважды непрерывно дифференцируемы, тогда справедливо разложение Тейлора 2-го порядка с центром в начале координат.

$$f^i(x, y) = a^i + p_1^i x + p_2^i y + \frac{1}{2}(p_{11}^i x^2 + 2p_{12}^i xy + p_{22}^i y^2) + o(x^2 + y^2)$$

Рассмотрим дискретный вариант изображения и его инвариантов. Обозначим через $f_{i,j}^k$ значения функции $f^k(x, y)$ (где $k = \overline{1, 8}$) в узлах прямоугольной сетки с

шагом сетки h_1 и h_2 по горизонтали и вертикали соответственно. Для получения разностной схемы второго порядка точности возьмем тейлоровское разложение второго порядка с центром в точке $(2,2)$. Найдем значение данного разложения в узлах сетки согласно рисунку 1 и приравняем их данным $f_{i,j}^k$. В результате получим систему из 27 уравнений на 18 неизвестных коэффициентов тейлоровского разложения.

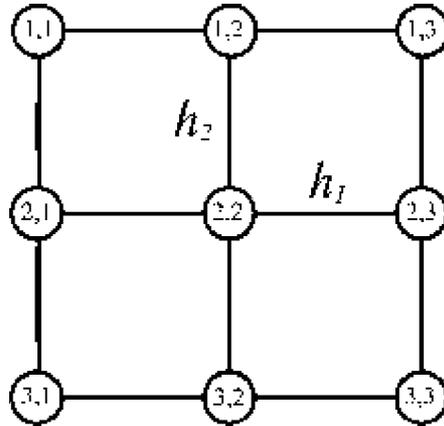


Рисунок 1 – Прямоугольная сетка с шагом h_1 и h_2

В силу того, что данная система уравнений естественно распадается по трем каналам, достаточно рассмотреть один из них, т.е. систему из 9 уравнений на 6 неизвестных. В матричной форме данную систему можно записать в виде:

$$A \cdot J^2(f) = [f],$$

где $J^2(f)$ – матрица размера 6×1 из неизвестных коэффициентов $a, p_1, p_2, p_{11}, p_{12}, p_{22}$, $[f]$ – матрица размера 9×1 значений функции в узлах $f_{2,2}, f_{1,2}, f_{2,1}, f_{2,3}, f_{3,2}, f_{1,1}, f_{1,3}, f_{3,3}, f_{3,1}$. Матрица A равна:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -h_1 & 0 & h_1^2/2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -h_2 & 0 & h_2^2/2 & 0 \\ 1 & 0 & h_2 & 0 & h_2^2/2 & 0 \\ 1 & h_1 & 0 & h_1^2/2 & 0 & 0 \\ 1 & -h_1 & -h_2 & h_1^2/2 & h_2^2/2 & h_1 h_2 \\ 1 & -h_1 & h_2 & h_1^2/2 & h_2^2/2 & -h_1 h_2 \\ 1 & h_1 & h_2 & h_1^2/2 & h_2^2/2 & h_1 h_2 \\ 1 & h_1 & -h_2 & h_1^2/2 & h_2^2/2 & -h_1 h_2 \end{pmatrix}.$$

Решая эту систему методом наименьших квадратов, получим

$$J^2[f] = P \cdot [f],$$

где псевдообратная матрица $P = A^{-1}$ равна

$$P = A^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{5}{9} & \frac{2}{9} & \frac{2}{9} & \frac{2}{9} & \frac{2}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \\ 0 & -\frac{1}{6h_1} & 0 & 0 & \frac{1}{6h_1} & -\frac{1}{6h_1} & -\frac{1}{6h_1} & \frac{1}{6h_1} & \frac{1}{6h_1} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{6h_2} & \frac{1}{6h_2} & 0 & -\frac{1}{6h_2} & \frac{1}{6h_2} & \frac{1}{6h_2} & -\frac{1}{6h_2} \\ -\frac{2}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} & -\frac{2}{3h_1^2} & -\frac{2}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} & \frac{1}{3h_1^2} \\ -\frac{2}{3h_2^2} & -\frac{2}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} & -\frac{2}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} & \frac{1}{3h_2^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4h_1h_2} & -\frac{1}{4h_1h_2} & \frac{1}{4h_1h_2} & -\frac{1}{4h_1h_2} \end{pmatrix}$$

Решая данную систему, получим значения всех коэффициентов тейлоровского разложения второго порядка функции $f(x, y)$, в том числе получим разностную схему для вычисления коэффициентов тейлоровского разложения первого порядка второй точности [1].

ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВАРИАНТОВ

Рассмотрим восьмиканальное изображение, полученное спутником Landsat-7 (рис.2).

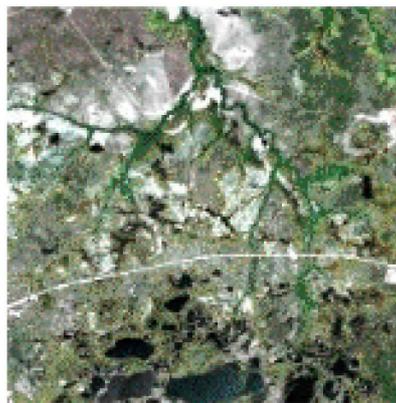


Рисунок 2 – Космический восьмиканальный снимок земной поверхности

Проверим эффективность представленного в работе набора инвариантов на примере определения характерных (особых) точек изображения.

Определение 2. Точки на двух изображениях называются «особыми», если они являются образами одной точки сцены. Назовем «особыми» точками также такие точки, для которых соответствующие позиции были идентифицированы на обоих изображениях.

Итак, выберем два восьмиканальных изображения, имеющие общую область. Вычислим инварианты для рассматриваемых изображений и проведем их попиксельное сравнение с целью выявления тех точек на изображении, инварианты которых имеют минимальные разности. Такие точки могут быть использованы в самых различных прикладных задачах: привязки изображений, отыскания снимка по образцу, в задачах распознавания, фотограмметрии, и т. д.

Пример поиска таких точек на двух восьмиканальных изображениях представлен на рисунке 3.

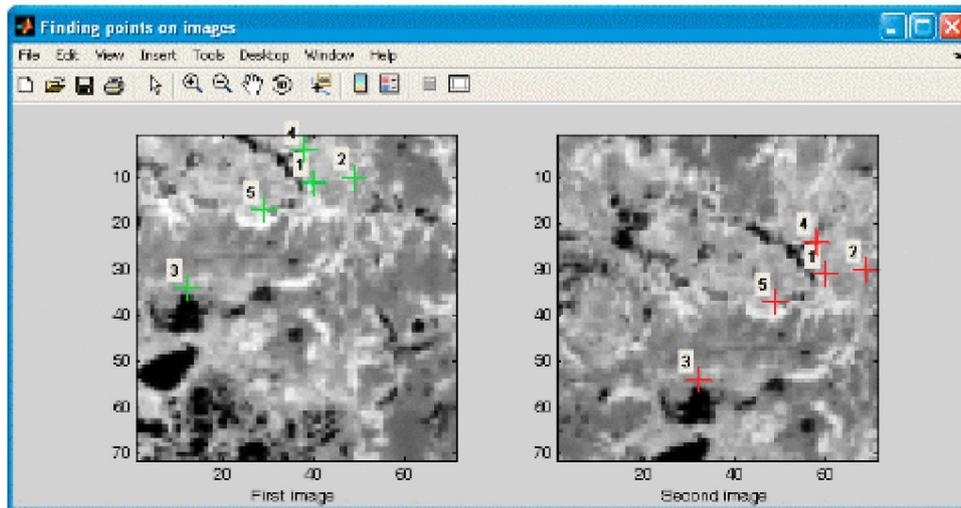


Рисунок 3 – Точки для привязки изображений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практические задачи, в которых могут быть использованы инварианты восьмиканальных изображений, разнообразны: это нейросетевая технология идентификации цифровых изображений участков типов земных покровов или данных дистанционного зондирования Земли, распознавание на изображениях различных объектов, таких как номера вагонов, типов военных самолетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самарина О.В. Инварианты одноканального изображения // Вестник НГУ, серия: информационные технологии. – Новосибирск, 2008. – Том 6. – Выпуск №1. – С. 69-79.
2. Самарина О.В. Применение инвариантов при цифровой обработке данных дистанционного зондирования Земли // Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования: материалы четвертой научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск, 2008. – С. 161–163.
3. Горбунов Б.А. Распознавание изображений в дистанционном зондировании / Б.А. Горбунов, В.Н. Дементьев, В.П. Пяткин // Автоматизированная обработка изображений природных комплексов Сибири. – Новосибирск: Наука, 1988.
4. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учебное пособие. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
5. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.

Самарина Ольга Владимировна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики
Тел: 8-909-033-23-98
E-mail: samarina_ov@mail.ru

Славский Виктор Владимирович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики
E-mail: slavsky@uriit.ru

О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИНОМОВ АКАДЕМИКА БЕРНШТЕЙНА В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ

В работе предложена новая идея использования полиномов академика С.Н. Бернштейна как инструментальных средств для аппроксимации нелинейных функций одного действительного переменного.

Ключевые слова: аппроксимация; численные методы; численный анализ.

In work the new idea of use of polynoms of academician S.N. Bernstein is offered.

Keywords: approximation; numerical methods; numerical analysis.

В формальном плане в микроЭВМ контурных регуляторов АСУТП и устройств более высокого уровня иерархии управления реализуются соответствующие континуальные модели управления – дифференциальные уравнения, описывающие динамику системы автоматического управления:

$$\frac{dY_i}{dt} = f_i(Y_1, Y_2, \dots, Y_n, X_1, X_2, \dots, X_m, t), i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где Y_i – выходные параметры, X_1, X_2, \dots, X_m – входные параметры САУ, а f_i – функционалы или операторы. Функционалы или операторы, как правило, проявляют себя в виде нелинейных зависимостей выходного параметра САУ от входных случайных возмущений.

Даже простые САУ, линейных по отношению к полезному сигналу и отдельным параметрам, в целом могут оказаться нелинейными. Например, в САУ, описываемых дифференциальными уравнениями вида $T \cdot \frac{dY}{dt} + Y = X$, существует нелинейная зависимость выходной координаты Y от постоянной времени T . Если параметр T может случайно изменяться в каких-либо пределах, то задача определения влияния этих изменений на динамику САУ оказывается нелинейной [1].

В целом, нелинейность в задачах управления носит системный характер и не является исключительным событием [2]. В простейшем случае нелинейность проявляет себя в (1) в виде отдельных нелинейных функций или нелинейных функций, модулирующих производные. Но в любых обстоятельствах для организации и процессов моделирования и управления требуется предварительное построение формального описания нелинейных зависимостей.

Известно много подходов к построению формальных моделей нелинейностей [3,4], среди которых «идеология» описания нелинейных функций полиномами академика С.Н. Бернштейна [5,6] как ни одна из известных процедур численных методов приближает нелинейность не только по значениям, но и со всеми её производными. При этом существенно важным оказывается то, что отсутствует необходимость специального контролирования производных как в отдельных точках, так и на всём интервале определения функции.

Однако при всей привлекательности полиномов академика С.Н. Бернштейна на интервале $[0,1]$

$$B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} \quad (2)$$

их применение сталкивается с некоторыми сложностями.

Во-первых, с тем, что отсутствует формальная методика оценки степени подходящего для конкретного случая полинома (1). Известная оценка профессора Е.И. Вороновской [7] об асимптотическом виде приближения функций полиномами (2) представлена выводом и результирующим соотношением

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \cdot [B_n(x) - f(x)] = \frac{1}{2} \cdot x(1-x) \cdot f''(x) \quad (3)$$

и в форме асимптотического равенства

$$B_n(x) - f(x) \sim \frac{1}{2n} \cdot x(1-x) \cdot f''(x) \quad (4)$$

при условии (ограничивающем допущении) относительно $f(x)$ – функция $f(x)$ должна иметь в $[0,1]$ вторую производную $f''(x)$, непрерывную и удовлетворяющую условию Липшица:

$$\omega_2(\delta) \leq K \cdot \delta, \text{ где } \omega_2(\delta) \text{ – модуль непрерывности функции } f''(x). \quad (5)$$

В практическом аспекте использование (3)-(5) может доставить немало трудностей в связи с тем, что вторая производная может неоднократно претерпевать на $[0,1]$ значительные и не всегда легко наблюдаемые (фиксируемые) изменения, а также быть крайне чувствительной к погрешностям округления при вычислении её значений и оценке (4).

Во-вторых, с тем, что для каждой конкретной степени n полинома (2) отсутствует уверенность в том, что полученный полином среди множества полиномов степени n действительно наиболее «близок» к аппроксимируемой функции $f(x)$ и возникает естественное желание корректирования соответствующих коэффициентов в (2).

Это связано с самой идеей конструирования $B_n(x)$. Обычно в линейных пространствах при конструировании функций по некоторому базису коэффициенты разложения подбираются в соответствии с определенными критериями близости [8]. В данном случае $B_n(x)$ формируется по «базисным» многочленам Бернштейна:

$$b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}, \quad B_n(x) = \sum_{k=0}^n \alpha_k b_{k,n}(x) = \sum_{k=0}^n \alpha_k C_n^k x^k (1-x)^{n-k}; \{\alpha_k \in \mathfrak{R}^1\}, \quad (6)$$

но при жестко заданных значениях для коэффициентов разложения (6)

$$\alpha_k = f\left(\frac{k}{n}\right), \quad (7)$$

получивших название коэффициентов Бернштейна или коэффициентов Безье.

Таким образом, можно констатировать актуальность решения двух взаимосвязанных вопросов:

- 1) поиска подходящей практической оценки степени полинома Бернштейна $B_n(x)$ для аппроксимации заданной непрерывной функции;
- 2) поиска процедуры корректировки коэффициентов (7) результирующей $B_n(x)$ для лучшего приближения к $f(x)$.

В настоящей работе предложены формула осуществления выбора степени полинома и идея корректирования коэффициентов разложения в результирующем полиноме Бернштейна.

ФОРМУЛА И ПОРЯДОК ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОЛИНОМА

Введем модуль непрерывности $\omega(\delta)$ непрерывной на $[0,1]$ функции $f(x)$ соотношением

$$\omega(\delta) = \sup_{|x'-x''| < \delta} |f(x') - f(x'')|, \quad (8)$$

указывающим, что модуль непрерывности $\omega(\delta)$ – монотонно неубывающая непрерывная функция от δ , обладающая тремя свойствами: 1) $\lim_{\delta \rightarrow 0} \omega(\delta) = 0$; 2)

$\omega(n \cdot \delta) \leq n \cdot \omega(\delta)$ при n натуральном; 3) $\omega(k \cdot \delta) \leq (k+1) \cdot \omega(\delta)$ при $k > 0$.

Следуя логике профессора И.И. Этермана [9], оценим чувствительность полиномов академика С.Н. Бернштейна

$$B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} \quad (9)$$

к структурным свойствам приближаемой на $[0,1]$ функции $f(x)$.

В формуле Ньютона

$$(p+q)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \quad (10)$$

примем $p = x$, $q = 1-x$, тогда соотношение (10) представится в виде:

$$(p+q)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \Rightarrow 1 = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} \quad \text{или}$$

$$\sum_{k=0}^n C_n^k \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} = 1. \quad (11)$$

Умножив обе части тождества (11) на $f(x)$ и получив $\sum_{k=0}^n f(x) C_n^k \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} = 1 \cdot f(x)$,

вычтем из полученного тождества соответствующие части (9):

$$\sum_{k=0}^n f(x) C_n^k \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} - \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k} = 1 \cdot f(x) - B_n(x), \Rightarrow$$

$$f(x) - B_n(x) = \sum_{k=0}^n [f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)] C_n^k x^k (1-x)^{n-k}. \quad (12)$$

Поскольку область определения $f(x)$ задана на интервале $[0,1]$, то $x^k (1-x)^{n-k} \geq 0$, и из (12) следует:

$$|f(x) - B_n(x)| = \left| \sum_{k=0}^n [f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)] C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right| \leq \sum_{k=0}^n |f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)| C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$$

или

$$|f(x) - B_n(x)| \leq \sum_{k=0}^n |f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)| C_n^k x^k (1-x)^{n-k}. \quad (13)$$

Оценим $|f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)|$ из правой части (13), исходя из определения модуля непрерывности (8):

$$|f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)| \leq$$

$$\leq \sup_{|x'-x''| < |x-\frac{k}{n}|} |f(x') - f(x'')| = \omega\left(x - \frac{k}{n}\right) = \omega\left(x - \frac{k}{n} \cdot \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n}}\right) = \omega\left[\left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}. \quad (14)$$

Теперь, принимая во внимание третье свойство модуля непрерывности $\omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$, неравенство (14) примет вид:

$$\begin{aligned} |f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)| &\leq \\ &\leq \sup_{|x'-x''| < |x-\frac{k}{n}|} |f(x') - f(x'')| = \omega\left(x - \frac{k}{n}\right) = \omega\left(x - \frac{k}{n} \cdot \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n}}\right) = \omega\left[\left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \leq \\ &\leq \left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} + 1 \cdot \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \end{aligned}$$

или, что то же самое:

$$|f(x) - f\left(\frac{k}{n}\right)| \leq \left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} + 1 \cdot \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right). \quad (15)$$

Из (13) с учетом (15) получаем: $|f(x) - B_n(x)| \leq$

$$\begin{aligned} &\leq \sum_{k=0}^n \left[\left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} + 1\right] \cdot \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \leq \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \times \sum_{k=0}^n \left[\left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} + 1\right] C_n^k x^k (1-x)^{n-k} = \\ &= \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} + \sum_{k=0}^n 1 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right]. \quad (16) \end{aligned}$$

Учитывая (11), неравенство (16) принимает вид:

$$\begin{aligned} |f(x) - B_n(x)| &\leq \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(x - \frac{k}{n}\right) \cdot \sqrt{n} \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} + 1\right] = \\ &= \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[1 + \sqrt{n} \cdot \sum_{k=0}^n \left|x - \frac{k}{n}\right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right]. \quad (17) \end{aligned}$$

Для оценки второго слагаемого в (17) применим неравенство Коши-Буняковского, связывающего норму и скалярное произведение векторов в линейном пространстве, следующие образом:

$$\begin{aligned} \left[\sum_{k=0}^n \left|x - \frac{k}{n}\right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right]^2 &= \left[\sum_{k=0}^n \left(\left|x - \frac{k}{n}\right| \cdot \sqrt{C_n^k x^k (1-x)^{n-k}}\right) \cdot \left(\sqrt{C_n^k x^k (1-x)^{n-k}}\right)\right]^2 \leq \\ &\leq \left[\sum_{k=0}^n \left(\left|x - \frac{k}{n}\right| \cdot \sqrt{C_n^k x^k (1-x)^{n-k}}\right)^2\right] \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(\sqrt{C_n^k x^k (1-x)^{n-k}}\right)^2\right] = \\ &= \left[\sum_{k=0}^n \left|x - \frac{k}{n}\right|^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] \cdot \left[\sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] \end{aligned}$$

или, учитывая (11):

$$\begin{aligned} \left[\sum_{k=0}^n \left|x - \frac{k}{n}\right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right]^2 &\leq \left[\sum_{k=0}^n \frac{1}{n^2} (k - nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] \cdot \left[\sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] = \\ &= \frac{1}{n^2} \left[\sum_{k=0}^n (k - nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] \cdot \left[\sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k}\right] = \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{n^2} \left[\sum_{k=0}^n (k - nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] \quad (18)$$

Для окончательного преобразования (18) в формуле Ньютона (10) $(p+q)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}$ продифференцируем левую и правую части по p :

$$n \cdot (p+q)^{n-1} = \sum_{k=0}^n k \cdot C_n^k \cdot p^{k-1} \cdot q^{n-k} \quad (19)$$

Умножим левую и правую части (19) на p :

$$np \cdot (p+q)^{n-1} = \sum_{k=0}^n k \cdot C_n^k \cdot p \cdot p^{k-1} \cdot q^{n-k} \Rightarrow np \cdot (p+q)^{n-1} = \sum_{k=0}^n k \cdot C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \quad (20)$$

Вначале продифференцируем (20) по p , а потом умножим его левую и правую части на p :

$$n \cdot (p+q)^{n-1} + np \cdot (n-1) \cdot (p+q)^{n-2} = \sum_{k=0}^n k \cdot k \cdot C_n^k \cdot p^{k-1} \cdot q^{n-k};$$

$$np \cdot (p+q)^{n-1} + n(n-1) \cdot p^2 \cdot (p+q)^{n-2} = \sum_{k=0}^n k^2 \cdot C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \quad (21)$$

Примем в (20) и (21), что $p=x, q=1-x$, тогда эти соотношения примут соответственно виды (22) и (23): $np(p+q)^{n-1} = \sum_{k=0}^n k C_n^k p^k q^{n-k} \Rightarrow nx = \sum_{k=0}^n k C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$

ИЛИ

$$\sum_{k=0}^n k C_n^k x^k (1-x)^{n-k} = nx, \quad (22)$$

$$np \cdot (p+q)^{n-1} + n(n-1) \cdot p^2 \cdot (p+q)^{n-2} = \sum_{k=0}^n k^2 \cdot C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \Rightarrow$$

$$nx + n(n-1)x^2 = \sum_{k=0}^n k^2 C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \text{ или } \sum_{k=0}^n k^2 C_n^k \cdot x^k (1-x)^{n-k} = nx + n(n-1)x^2 \quad (23)$$

Теперь проведем преобразование соотношения (18):

$$\left[\sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right]^2 \leq \frac{1}{n^2} \left[\sum_{k=0}^n (k - nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] =$$

$$\frac{1}{n^2} \left[\sum_{k=0}^n (k^2 - 2knx + (nx) \cdot (nx)) \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] = \frac{1}{n^2} \left[\sum_{k=0}^n k^2 C_n^k x^k (1-x)^{n-k} - \right.$$

$$\left. - \sum_{k=0}^n (2knx \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} + \sum_{k=0}^n (nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] \text{=<используя соотношение (23),}$$

заменяем первое слагаемое>

$$= \frac{1}{n^2} \left[nx + n(n-1)x^2 - 2nx \sum_{k=0}^n k C_n^k x^k (1-x)^{n-k} + \sum_{k=0}^n (nx)^2 \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] \text{=<используя}$$

соотношение (22), преобразуем второе слагаемое>

$$= \frac{1}{n^2} \left[nx + n(n-1)x^2 - 2nx \cdot nx + (nx)^2 \cdot \sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] \text{=<используя (11), получаем>}$$

$$= \frac{1}{n^2} \left[nx + n(n-1)x^2 - 2nx \cdot nx + (nx)^2 \right] = \frac{1}{n^2} \left[nx + n^2 x^2 - nx^2 - 2n^2 x^2 + n^2 x^2 \right] =$$

$$\frac{1}{n^2} [n \cdot x(1-x)] = \frac{1}{n} x(1-x), \text{ то есть: } \left[\sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right]^2 \leq \frac{1}{n} \cdot x(1-x). \quad (24)$$

Поскольку в правой части (24) имеем параболу с максимумом, равным $\frac{1}{4}$, то (24)

$$\text{преобразовывается: } \left[\sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right]^2 \leq \frac{1}{4n} \Rightarrow \sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \leq \sqrt{\frac{1}{4n}}$$

$$\text{или окончательно: } \sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \leq \frac{1}{2\sqrt{n}}. \quad (25)$$

Подставляя мажоранту (25) в выражение (17), устанавливаем чувствительность полиномов (2) $B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k}$ к структурным свойствам приближаемой функции $f(x)$:

$$\begin{aligned} |f(x) - B_n(x)| &\leq \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(\left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot \sqrt{n} \right) \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} + 1 \right] = \\ &= \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[1 + \sqrt{n} \cdot \sum_{k=0}^n \left| x - \frac{k}{n} \right| \cdot C_n^k x^k (1-x)^{n-k} \right] \leq \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left[1 + \sqrt{n} \cdot \frac{1}{2\sqrt{n}} \right] \leq \frac{3}{2} \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right). \end{aligned}$$

$$\text{Или: } |f(x) - B_n(x)| \leq \frac{3}{2} \omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right). \quad (26)$$

Назовём выражение (26) формулой профессора Этермана. Для практического использования этой формулы переведем её из абстракции интервала $[0,1]$ в реальность рабочего интервала $[a,b]$. Для этого введем новую переменную $\tilde{x} = a + x \cdot (b-a)$. (27)

Очевидно, что если переменная x определена на $[0,1]$, то переменная \tilde{x} определена на интервале $[a,b]$. Из (27) следует, что $x = \frac{\tilde{x} - a}{b - a}$. (28)

Подставив (28) в (2), полиномы $B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k}$ в $[0,1]$ ($x \in [0,1]$) приводятся к виду для интервала $[a,b]$ ($\tilde{x} \in [a,b]$):

$$B_n(\tilde{x}) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(a + (b-a) \cdot \frac{k}{n}\right) \cdot \left(\frac{\tilde{x} - a}{b - a}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{\tilde{x} - a}{b - a}\right)^{n-k}. \quad (29)$$

Для интервала $\tilde{x} \in [a,b]$ формула профессора Этермана трансформируется в выражение:

$$\begin{aligned} |f(x) - B_n(x)| &= \left| f\left(\frac{\tilde{x} - a}{b - a}\right) - B_n\left(\frac{\tilde{x} - a}{b - a}\right) \right| = |f(\tilde{x}) - B_n(\tilde{x})| \leq \\ &\leq \frac{3}{2} \cdot \sup_{\left| \frac{\tilde{x}' - a}{b - a} - \frac{\tilde{x}'' - a}{b - a} \right| < \delta} \left| f\left(\frac{\tilde{x}' - a}{b - a}\right) - f\left(\frac{\tilde{x}'' - a}{b - a}\right) \right| = \frac{3}{2} \cdot \sup_{\left| \frac{\tilde{x}' - \tilde{x}''}{b - a} \right| < \frac{1}{\sqrt{n}}} |f(\tilde{x}') - f(\tilde{x}'')| = \\ &\leq \frac{3}{2} \cdot \sup_{\left| \tilde{x}' - \tilde{x}'' \right| < \frac{1}{\sqrt{n}} |b - a|} |f(\tilde{x}') - f(\tilde{x}'')| = \frac{3}{2} \omega\left(\frac{|b - a|}{\sqrt{n}}\right) \text{ или } |f(\tilde{x}) - B_n(\tilde{x})| \leq \frac{3}{2} \omega\left(\frac{|b - a|}{\sqrt{n}}\right). \quad (30) \end{aligned}$$

Очевидно, что соотношения (26) и (30) порождают эффективную процедуру численной оценки степени полинома Бернштейна:

а) задаем начальное значение $n = n_0$ и вычисляем ширину «окна» $\frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n_0}}$ (или $\frac{|b-a|}{\sqrt{n_0}}$), которое будем перемещать (с определенным шагом) вдоль абсциссы x (или \tilde{x}), начиная от начала и до конца интервала определения функции $[0,1]$ или $[a,b]$, постоянно оценивая модуль непрерывности для текущего положения «окна» ($x', x'' \in [a,b]$):

$$\omega_0 = \omega_{[a, a + \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}]} \left(\frac{|b-a|}{\sqrt{n}} \right) = \sup_{|x'-x''| < \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}} |f(x') - f(x'')| \text{ для полуинтервала } [a, a + \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}];$$

$\omega_1 = \omega_{[a + \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}, a + \frac{2|b-a|}{\sqrt{n}}]} \left(\frac{|b-a|}{\sqrt{n}} \right) = \sup_{|x'-x''| < \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}} |f(x') - f(x'')|$ для полуинтервала $[a + \frac{|b-a|}{\sqrt{n}}, a + \frac{2|b-a|}{\sqrt{n}}]$ и так далее до того, пока не будет покрыта последняя правая часть $[a,b]$, получив, например, последовательность:

$$\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_j; \tag{31}$$

б) определяем максимальное значение модуля непрерывности в совокупности (31) и «сравниваем» его (в соответствии с конкретным критерием близости) с заданной погрешностью аппроксимации. В том случае, когда погрешность приближения оказывается меньше найденного максимального значения модуля непрерывности из (31), повторяем процедуру для следующего значения $n := n + 1$.

ПОЛИНОМЫ $B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k}$

КАК ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АППРОКСИМАЦИИ

Как отмечалось вначале, потребность корректирования коэффициентов Безье (7) в полиномах (6) обусловлена самой «природой» конструирования $B_n(x) = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot f\left(\frac{k}{n}\right) \cdot x^k \cdot (1-x)^{n-k}$ (для интервала $[0,1]$). Вообще говоря, не будет ошибкой говорить о том, что в структуре $B_n(x)$ собственно процесс конструирования отсутствует. Попросту выбраны в некотором смысле базисные многочлены Бернштейна $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}, k = 0, 1, \dots, n$ и заданы коэффициенты $\alpha_k = f\left(\frac{k}{n}\right)$ разложения:

$$B_n(x) = \sum_{k=0}^n \alpha_k b_{k,n}(x) = \sum_{k=0}^n \alpha_k C_n^k x^k (1-x)^{n-k}; \{\alpha_k \in \mathfrak{R}^1\}. \tag{32}$$

Поэтому вполне естественно, что $B_n(x)$ только случайным образом может оказаться полиномом «наилучшего» (в плане определенного критерия) приближения. И также естественно то, что для каждого конкретного критерия близости надо корректировать коэффициенты разложения (Безье).

Для демонстрации идеи корректирования коэффициентов разложения в результирующем полиноме Бернштейна и некоторых замечаний по их применению

используем программную систему «Моделирование непрерывными функциями» [10] как информационную технологию построения требуемого аналитического описания нелинейной функции.

1) **Взвешивание базисного многочлена** $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$, $k = 0, 1, \dots, n$ в точке $x = \frac{k}{n}$ в представлении (32)

Для исследования влияния акции взвешивания выберем $f(x) = \sin(x)/x$ на интервале $[-15; 15]$. Для определенности зададим степень полинома, равную $n = 20$ на $[-10; 10]$ (рис. 1).

Многочисленные результаты подобного манипулирования значениями и оценка структурных особенностей полиномов Бернштейна позволяет сделать следующий важный вывод:

взвешивание базисного многочлена $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$, $k = 0, 1, \dots, n$ в точке $x = \frac{k}{n}$ в представлении (32) формирует «купол» (выпуклость или вогнутость) функции в этой точке, приближая или отдаляя полином в окрестности этой точки от исходной аппроксимируемой функции без изменения степени полинома.

2) **Процедура корректировки коэффициентов $B_n(x)$ для лучшего приближения к $f(x)$.**

Установив роль коэффициентов разложения на окончательную форму полинома Бернштейна, то есть раскрыв влияние процесса взвешивания базисных многочленов $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$, $k = 0, 1, \dots, n$ в точке $x = \frac{k}{n}$ в представлении (32) для интервала $[0, 1]$, легко сформулировать основную идею процедуры корректировки коэффициентов $B_n(x)$ для лучшего приближения к $f(x)$ без изменения степени полинома.

В интерактивном режиме сравнения исходной аппроксимируемой функции $f(x)$ и полинома $B_n(x)$ с текущей степенью n необходимо последовательно изменять значения $B_n(x)$ в точках $x = \frac{k}{n}$ (или в соответствующих точках (28), (29), полученных масштабированием при переходе от интервала $[0, 1]$ на интервал $[a, b]$) до тех пор, пока не будет получена кривая, удовлетворяющая потребностям исследователя.

Другими словами, вначале коэффициенты соответствовали значениям $f(\frac{k}{n})$, а после корректировки они будут иметь те значения, которые обуславливают большую близость к исходной $f(x)$.

В качестве примера зададим функцию $f(x) = \sin(x)/x$ на интервале $[-15, 15]$. Для определенности зададим степень полинома, равную 51, на интервале $[-10, 10]$. Оценим близость полинома Бернштейна заданной степени $n = 51$ соотношением (30) и предложенной процедурой построения «ряда» (31). Для этого случая модуль непрерывности имеет вид $\omega(\frac{|b-a|}{\sqrt{n}}) = \omega(\frac{|10-(-10)|}{\sqrt{51}}) \approx \omega(2,8)$.

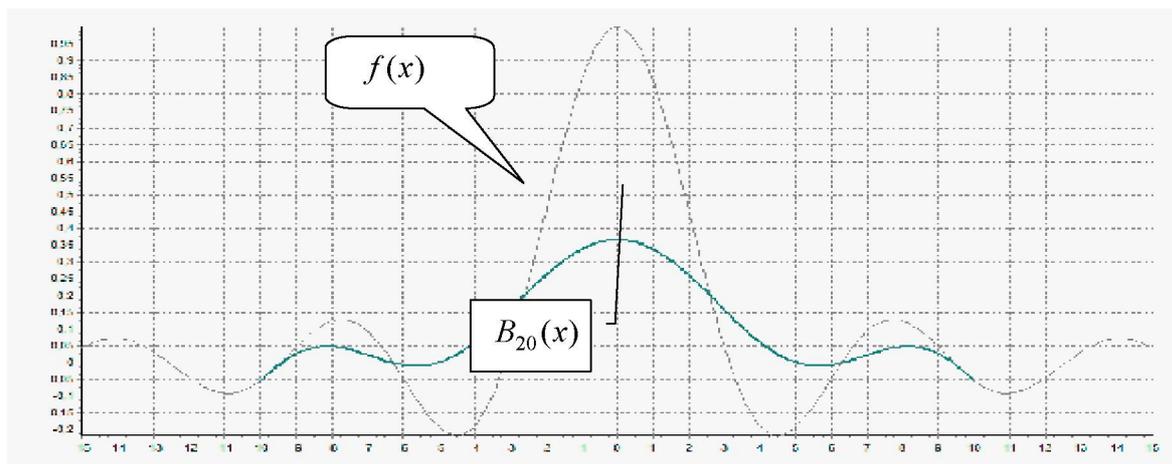


Рисунок 1 – Функция $f(x)$ и её полином $B_{20}(x)$, у которого нулевой параметр разложения (коэффициент Бэзье): $f(0) = 0$

Возьмём произвольную точку, например, $x = 0$ и проведем последовательно изменение значения полинома $B_{20}(x)$ в этой точке (рис. 2,3).

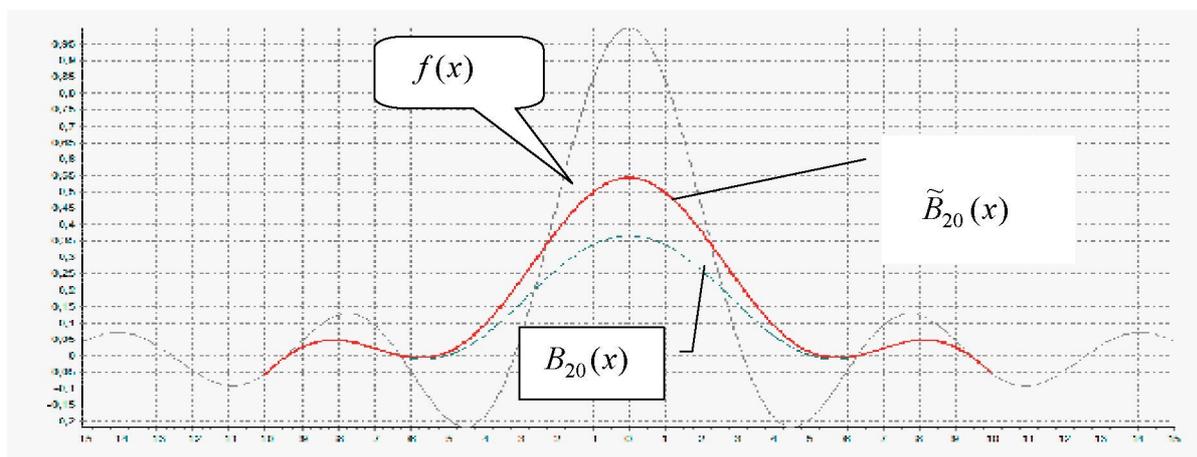


Рисунок 2 – Функция $f(x)$, её полином $B_{20}(x)$ с $f(0) = 0$ и полином $\tilde{B}_{20}(x)$, у которого нулевой параметр разложения (коэффициент Бэзье): $f(0) = 1$

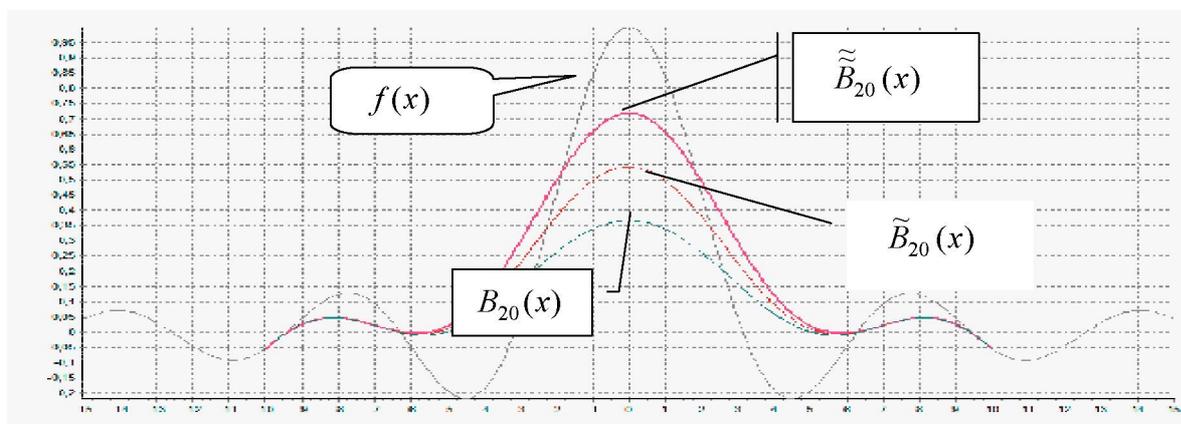


Рисунок 3 – Функция $f(x)$, её полиномы $B_{20}(x)$ с $f(0) = 0$, $\tilde{B}_{20}(x)$ с $f(0) = 1$ и $\tilde{\tilde{B}}_{20}(x)$, у которого нулевой параметр разложения (коэффициент Бэзье): $f(0) = 2$

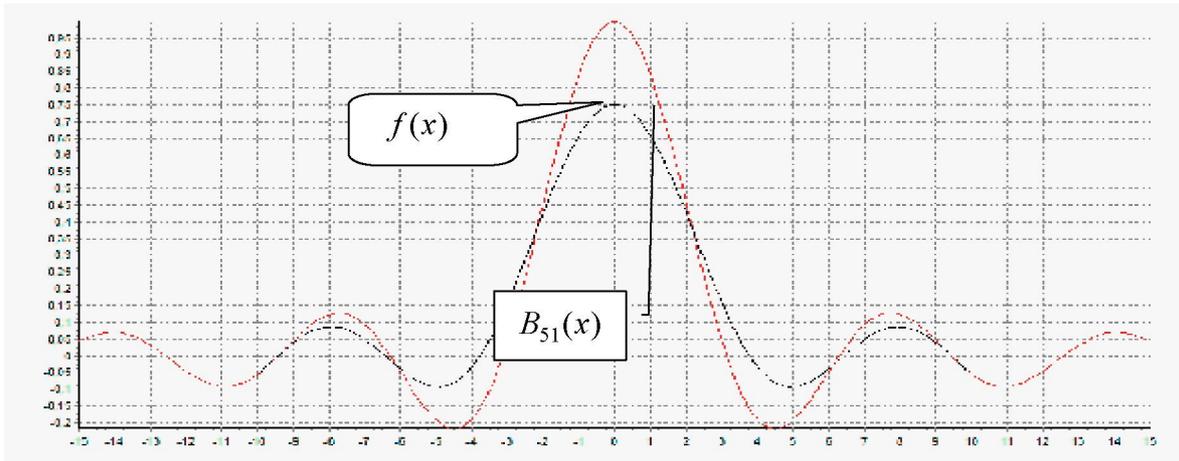


Рисунок 4 – Функция $f(x)$ и её полином $B_{51}(x)$ с погрешностью приближения $|f(x) - B_{51}(x)| \leq 0,25$, достигаемой в окрестности точки $x = 0$

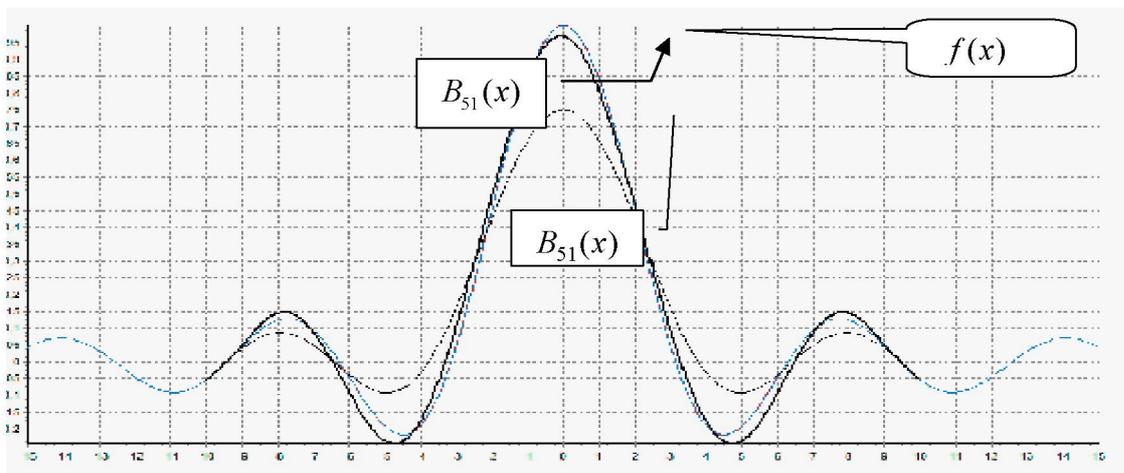


Рисунок 5 – Функция $f(x)$ и её скорректированный полином $B_{51}(x)$ с погрешностью приближения, равной $|f(x) - B_{51}(x)| \leq 0,05$

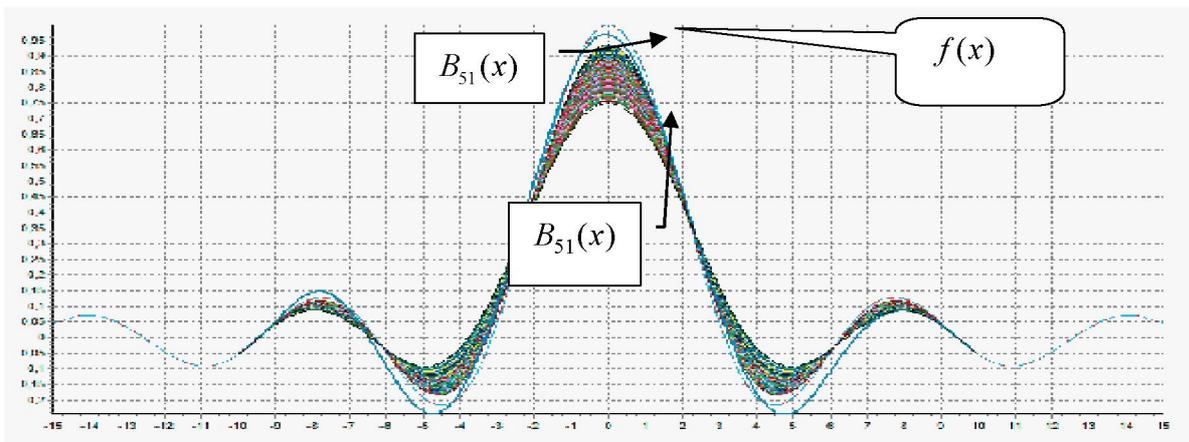


Рисунок 6 – Функция $f(x)$ и множество полиномов $B_{52}(x), B_{53}(x), \dots, B_{150}(x), B_{151}(x), \dots, B_{249}(x), B_{250}(x)$

Задавая «окно» шириной 2.8, нетрудно установить, что $\omega(2,8) \approx 1$ (вклад в промежутках $[-4,0]$ и $[0,4]$) и, следовательно, посредством полинома Бернштейна 51 степени можно получить погрешность не хуже, чем:

$$|f(x) - B_{51}(x)| \leq \frac{3}{2} \omega\left(\frac{|b-a|}{\sqrt{n}}\right) = \frac{3}{2} \cdot 1 = 1,5. \quad (33)$$

В реальности (рис. 4) погрешность равна 0,25, что действительно не хуже, чем полученная оценка (33). Однако нетрудно видеть (рис. 4), что построенный $B_{51}(x)$ (с коэффициентами Безье, представленными в колонках 2 и 3 таблицы 1) имеет значительные отклонения от заданной функции $f(x) = \frac{\sin(x)}{x}$ в окрестности точек с номерами 7,15,27,38,46 (табл. 1).

Для уменьшения этого отклонения скорректируем $B_{51}(x)$, используя замечание предыдущего пункта о роли взвешивания базисного многочлена $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$, $k = 0,1,\dots,n$ в точке $x = \frac{k}{n}$ в представлении (32).

Последовательно изменим пять значений коэффициентов Безье в точках 7,15,27,38 и 46 (столбцы 1,2,3 табл. 1) в формуле для $B_{51}(x)$ (столбцы 5 и 6 табл. 1), в результате чего получим новый полином Бернштейна $B_{51}(x)$ 51-ой степени (рис. 5) с величиной отклонения от заданной $f(x)$, меньшей, чем 0,05, что существенно меньше, чем отклонение у $B_{51}(x)$.

Таким образом, изменение значений коэффициентов Безье полиномом Бернштейна $B_{51}(x)$ и получение тем самым нового полинома Бернштейна такой же степени $B_{51}(x)$ позволило фактически существенно приблизить полином Бернштейна к заданной функции.

Попутно отметим, что полученный скорректированный полином $B_{51}(x)$ приближается к $f(x)$ лучше, чем даже серия полиномов $B_n(x)$ при $n = 52, 53, \dots, 250$ (рис. 6):

$$B_{52}(x), B_{53}(x), \dots, B_{150}(x), B_{151}(x), \dots, B_{249}(x), B_{250}(x). \quad (34)$$

Формулы полиномов $B_{51}(x)$ и $B_{51}(x)$ представлены соответственно в таблицах 2 и 3.

ВЫВОДЫ

1) Предложенная процедура оценки степени полинома Бернштейна посредством формулы профессора Этермана конструктивна, поскольку ориентирована только на использование модуля непрерывности.

2) Предложенная идея корректирования коэффициентов Безье в полиноме академика Бернштейна продуктивна при использовании информационных технологий (интерактивных программных средств) аппроксимации функций.

Таблица 1 – Коэффициенты Безье ($f(x)$) для исходного $B_{51}(x)$ в столбце 3 и для скорректированного в точках 7,15,27,38,46 полинома $B_{51}(x)$ в столбце 6

Номер точки	x	$f(x)$		x	$f(x)$
1	10,00000	-0,05440		10,00000	-0,05440
2	-9,60800	-0,01895		-9,60800	-0,01895
3	-9,21600	+0,02252		-9,21600	+0,02252
4	-8,82400	+0,06411		-8,82400	+0,06411
5	-8,43100	+0,09938		-8,43100	+0,09938
6	-8,03900	+0,12230		-8,03900	+0,12230
7	-7,64700	+0,12800	!!!	-7,64700	+0,50000
8	-7,25500	+0,11380		-7,25500	+0,11380
9	-6,86300	+0,07980		-6,86300	+0,07980
10	-6,47100	+0,02879		-6,47100	+0,02879
11	-6,07800	-0,03345		-6,07800	-0,03345
12	-5,68600	-0,09885		-5,68600	-0,09885
13	-5,29400	-0,15780		-5,29400	-0,15780
14	-4,90200	-0,20030		-4,90200	-0,20030
15	-4,51000	-0,21720	!!!	-4,51000	-1,50000
16	-4,11800	-0,20120		-4,11800	-0,20120
17	-3,72500	-0,14800		-3,72500	-0,14800
18	-3,33300	-0,05717		-3,33300	-0,05717
19	-2,94100	+0,06769		-2,94100	+0,06769
20	-2,54900	+0,21910		-2,54900	+0,21910
21	-2,15700	+0,38630		-2,15700	+0,38630
22	-1,76500	+0,55600		-1,76500	+0,55600
23	-1,37300	+0,71430		-1,37300	+0,71430
24	-0,98040	+0,84730		-0,98040	+0,84730
25	-0,58820	+0,94330		-0,58820	+0,94330
26	-0,19610	+0,99360		-0,19610	+0,99360
27	+0,19610	+0,99360	!!!	+0,19610	+3,00000
28	+0,58820	+0,94330		+0,58820	+0,94330
29	+0,98040	+0,84730		+0,98040	+0,84730
30	+1,37300	+0,71430		+1,37300	+0,71430
31	+1,76500	+0,55600		+1,76500	+0,55600
32	+2,15700	+0,38630		+2,15700	+0,38630
33	+2,54900	+0,21910		+2,54900	+0,21910
34	+2,94100	+0,06769		+2,94100	+0,06769
35	+3,33300	-0,05717		+3,33300	-0,05717
36	+3,72500	-0,14800		+3,72500	-0,14800
37	+4,11800	-0,20120		+4,11800	-0,20120
38	+4,51000	-0,21720	!!!	+4,51000	-1,50000
39	+4,90200	-0,20030		+4,90200	-0,20030
40	+5,29400	-0,15780		+5,29400	-0,15780
41	+5,68600	-0,09885		+5,68600	-0,09885
42	+6,07800	-0,03345		+6,07800	-0,03345
43	+6,47100	+0,02879		+6,47100	+0,02879
44	+6,86300	+0,07980		+6,86300	+0,07980
45	+7,25500	+0,11380		+7,25500	+0,11380
46	+7,64700	+0,12800	!!!	+7,64700	+0,50000
47	+8,03900	+0,12230		+8,03900	+0,12230
48	+8,43100	+0,09938		+8,43100	+0,09938
49	+8,82400	+0,06411		+8,82400	+0,06411
50	+9,21600	+0,02252		+9,21600	+0,02252
51	+9,60800	-0,01895		+9,60800	-0,01895
52	10,00000	-0,05440		10,00000	-0,05440

Таблица 2 – Аналитическая запись полинома $B_{51}(x)$

$$\begin{aligned}
 B_{51}(x) = & 1,00000 * (-0,05440) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^0 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{51} + \\
 & 51,00000 * (-0,01895) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^1 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{50} + \\
 & 1275,00000 * (0,02252) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^2 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{49} + \\
 & 20825,00000 * (0,06411) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^3 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{48} + \\
 & 2,499E5 * (0,09938) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^4 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{47} + \\
 & 2,3491E6 * (0,12226) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^5 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{46} + \\
 & 1,8009E7 * (0,12798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^6 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{45} + \\
 & 1,1578E8 * (0,11383) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^7 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{44} + \\
 & 6,3676E8 * (0,07980) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^8 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{43} + \\
 & 3,0423E9 * (0,02879) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^9 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{42} + \\
 & 1,2778E10 * (-0,03345) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{10} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{41} + \\
 & 4,7626E10 * (-0,09885) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{11} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{40} + \\
 & 1,5875E11 * (-0,15782) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{12} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{39} + \\
 & 4,7626E11 * (-0,20035) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{13} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{38} + \\
 & 1,2927E12 * (-0,21720) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{14} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{37} + \\
 & 3,1887E12 * (-0,20116) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{15} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{36} + \\
 & 7,1745E12 * (-0,14798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{16} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{35} + \\
 & 1,4771E13 * (-0,05717) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{17} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{34} + \\
 & 2,7901E13 * (0,06769) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{18} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{33} + \\
 & 4,8459E13 * (0,21910) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{19} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{32} + \\
 & 7,7535E13 * (0,38627) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{20} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{31} + \\
 & 1,1446E14 * (0,55605) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{21} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{30} + \\
 & 1,5608E14 * (0,71430) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{22} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{29} + \\
 & 1,9679E14 * (0,84733) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{23} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{28} + \\
 & 2,2959E14 * (0,94332) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{24} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{27} + \\
 & 2,4796E14 * (0,99360) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{25} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{26} + \\
 & 2,4796E14 * (0,99360) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{26} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{25} + \\
 & 2,2959E14 * (0,94332) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{27} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{24} + \\
 & 1,9679E14 * (0,84733) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{28} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{23} + \\
 & 1,5608E14 * (0,71430) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{29} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{22} + \\
 & 1,1446E14 * (0,55605) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{30} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{21} + \\
 & 7,7535E13 * (0,38627) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{31} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{20} + \\
 & 4,8459E13 * (0,21910) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{32} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{19} + \\
 & 2,7901E13 * (0,06769) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{33} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{18} + \\
 & 1,4771E13 * (-0,05717) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{34} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{17} + \\
 & 7,1745E12 * (-0,14798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{35} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{16} + \\
 & 3,1887E12 * (-0,20116) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{36} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{15} + \\
 & 1,2927E12 * (-0,21720) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{37} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{14} + \\
 & 4,7626E11 * (-0,20035) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{38} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{13} + \\
 & 1,5875E11 * (-0,15782) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{39} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{12} + \\
 & 4,7626E10 * (-0,09885) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{40} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{11} + \\
 & 1,2778E10 * (-0,03345) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{41} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{10} + \\
 & 3,0423E9 * (0,02879) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{42} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{9} + \\
 & 6,3676E8 * (0,07980) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{43} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{8} + \\
 & 1,1578E8 * (0,11383) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{44} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{7} + \\
 & 1,8009E7 * (0,12798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{45} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{6} + \\
 & 2,3491E6 * (0,12226) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{46} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{5} + \\
 & 2,499E5 * (0,09938) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{47} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{4} + \\
 & 20825,00000 * (0,06411) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{48} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{3} + \\
 & 1275,00000 * (0,02252) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{49} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{2} + \\
 & 51,00000 * (-0,01895) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{50} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{1} + \\
 & 1,00000 * (-0,05440) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{51} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{0}
 \end{aligned}$$

Таблица 3 – Аналитическая запись полинома $B_{51}(x)$

$$\begin{aligned}
B_{51}(x) = & 1,00000 * (-0,05440) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^0 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{51} + \\
& 51,00000 * (-0,01895) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^1 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{50} + \\
& 1275,00000 * (0,02252) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^2 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{49} + \\
& 20825,00000 * (0,06411) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^3 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{48} + \\
& 2,49955 * (0,09938) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^4 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{47} + \\
& 2,34916 * (0,12226) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^5 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{46} + \\
& 1,80097 * (0,50000) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^6 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{45} + \\
& 1,15788 * (0,11383) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^7 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{44} + \\
& 6,36768 * (0,07980) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^8 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{43} + \\
& 3,04239 * (0,02879) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^9 * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{42} + \\
& 1,27781 * (-0,03345) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{10} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{41} + \\
& 4,76261 * (-0,09885) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{11} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{40} + \\
& 1,58751 * (-0,15782) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{12} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{39} + \\
& 4,76261 * (-0,20035) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{13} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{38} + \\
& 1,29271 * (-1,50000) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{14} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{37} + \\
& 3,18871 * (-0,20116) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{15} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{36} + \\
& 7,17451 * (-0,14798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{16} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{35} + \\
& 1,47711 * (-0,05717) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{17} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{34} + \\
& 2,79011 * (0,06769) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{18} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{33} + \\
& 4,84591 * (0,21910) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{19} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{32} + \\
& 7,75351 * (0,38627) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{20} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{31} + \\
& 1,14461 * (0,55605) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{21} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{30} + \\
& 1,56081 * (0,71430) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{22} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{29} + \\
& 1,96791 * (0,84733) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{23} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{28} + \\
& 2,29591 * (0,94332) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{24} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{27} + \\
& 2,47961 * (3,00000) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{25} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{26} + \\
& 2,47961 * (0,99360) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{26} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{25} + \\
& 2,29591 * (0,94332) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{27} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{24} + \\
& 1,96791 * (0,84733) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{28} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{23} + \\
& 1,56081 * (0,71430) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{29} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{22} + \\
& 1,14461 * (0,55605) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{30} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{21} + \\
& 7,75351 * (0,38627) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{31} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{20} + \\
& 4,84591 * (0,21910) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{32} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{19} + \\
& 2,79011 * (0,06769) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{33} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{18} + \\
& 1,47711 * (-0,05717) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{34} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{17} + \\
& 7,17451 * (-0,14798) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{35} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{16} + \\
& 3,18871 * (-0,20116) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{36} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{15} + \\
& 1,29271 * (-1,50000) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{37} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{14} + \\
& 4,76261 * (-0,20035) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{38} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{13} + \\
& 1,58751 * (-0,15782) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{39} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{12} + \\
& 4,76261 * (-0,09885) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{40} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{11} + \\
& 1,27781 * (-0,03345) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{41} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{10} + \\
& 3,04239 * (0,02879) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{42} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^9 + \\
& 6,36768 * (0,07980) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{43} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^8 + \\
& 1,15788 * (0,11383) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{44} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^7 + \\
& 1,80097 * (0,50000) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{45} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^6 + \\
& 2,34916 * (0,12226) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{46} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^5 + \\
& 2,49955 * (0,09938) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{47} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^4 + \\
& 20825,00000 * (0,06411) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{48} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^3 + \\
& 1275,00000 * (0,02252) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{49} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^2 + \\
& 51,00000 * (-0,01895) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{50} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^1 + \\
& 1,00000 * (-0,05440) * ((x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^{51} * ((1 - (x - (-10,00000)) / (10,00000 - (-10,00000)))^0)
\end{aligned}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доступов Б.Г. Статистическая динамика систем автоматического управления. // Энциклопедия кибернетики // Отв. редактор акад. В.М. Глушков. – Киев: Гл. ред. Укр Сов. энциклопедии, 1975. – Том 2. – С.333-335.
2. Раков В.И. О системном характере потребности моделирования нелинейностей. // Известия ОрёлГТУ. – Орёл: ОрёлГТУ, 2006. – Серия: «Естественные науки». – № 9-10. – С.21-30.
3. Гончаров В.Л. Теория интерполирования и приближения функций. – М.: Гос. Изд. технико-теоретической литературы, 1954. – С.111-115.
4. Раков В.И. О некоторой неадекватности формальных методов приближений и процессов моделирования нелинейностей. // Известия ОрёлГТУ. – Орёл: ОрёлГТУ, 2005. – Серия: «Естественные науки». – № 7-8. – С.8-24.
5. Бернштейн С.Н. Собрание сочинений. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – Том 1. – С.105-106.
6. Бернштейн С.Н. Собрание сочинений. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – Том 3. – С.310-348.
7. Вороновская Е.В. Определение асимптотического вида приближения функций полиномами С.Н. Бернштейна // ДАН СССР (А), 1932. – Том 4. – С.79–85.
8. Тихомиров В.М. Некоторые вопросы теории приближений / М.: Изд-во МГУ, 1976. – С. 14-17 (304 с).
9. Этерман И.И. Аппроксимативные методы в прикладной математике.– Пенза: изд-во ППИ, 1973. – С.28-30 (264 с).
10. Борисов Н.О., Радченко О.С. Моделирование непрерывными функциями / Контрольная работа по дисциплине «Вычислительная математика»: рук. д.т.н. В.И. Раков. – ОрелГТУ: кафедра «Информационные системы», 2009. – 20 с.

Раков Владимир Иванович

Орловский государственный технический университет, Учебно-научно-исследовательский институт информационных технологий г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»

Тел.: + 7(4862) 76-19-10

E-mail: rakov2000@hotmail.ru

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

УДК 004.04

А.А. МОТИН, В.Н. ВОЛКОВ

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМА
МОНИТОРИНГА РУССКОЙ РЕЧИ**

Разработана автоматизированная интернет-система мониторинга, отличительной особенностью которой является ее адаптация к специфике данных, отражающих различные аспекты использования и развития русской речи.

Ключевые слова: интернет-система; мониторинг.

The automated Internet monitoring system which discriminating feature is its adaptation to specificity of the data reflecting various aspects of use and development of Russian speech is developed.

Keywords: internet-system; monitoring.

В настоящее время Правительством РФ предпринимаются меры по укреплению статуса русского языка и его популяризации в мире. С 2002 года реализуется Федеральная целевая программа «Русский язык». Изучение положительных и отрицательных тенденций, сложившихся в функционировании русского языка, оценка мероприятий (в том числе, и в рамках выполнения Федеральной целевой программы «Русский язык (2006-2010 годы)», направленных на обновление языковой политики и укрепления статуса русского языка, требует в научных и практических целях все большей детализации, конкретизации и уточнения информации и её научно обоснованного обобщения. При сборе информации, необходимой специалистам для анализа, требуется учесть такие факторы, как географическая распределенность ее источников, социальный, профессиональный и национальный аспекты. Таким образом, задача мониторинга состояния русской речи представляется достаточно трудоемкой, требующей комплексной автоматизации процессов сбора, обработки и вывода результатов.

Работа выполнялась в рамках проведения фестиваля русской речи «Русское слово». Для проведения мониторинга состояния русской речи была разработана интернет-система, учитывающая особенности предметной области. На рисунке 1 представлена обобщенная структура системы.

Основными составляющими системы являются: серверная и клиентская части и приложение администратора. Такое деление обусловлено тем, что было необходимо обеспечить распределенный сбор данных с централизованной обработкой. Система спроектирована в соответствии с клиент-серверной архитектурой (концепция тонкого клиента). При разработке интернет-системы мониторинга учтены требования разграничения прав доступа пользователей к той или иной информации и функциям по ее вводу и редактированию. Поэтому разработанная интернет-система мониторинга русской речи включает в себя два интерфейса – административный и пользовательский.

Приложение администратора состоит из модуля управления анкетами мониторинга и модуля формирования отчетов. Задачи модуля управления анкетами:

- создание, редактирование и удаление анкет, по которым осуществляется мониторинг;

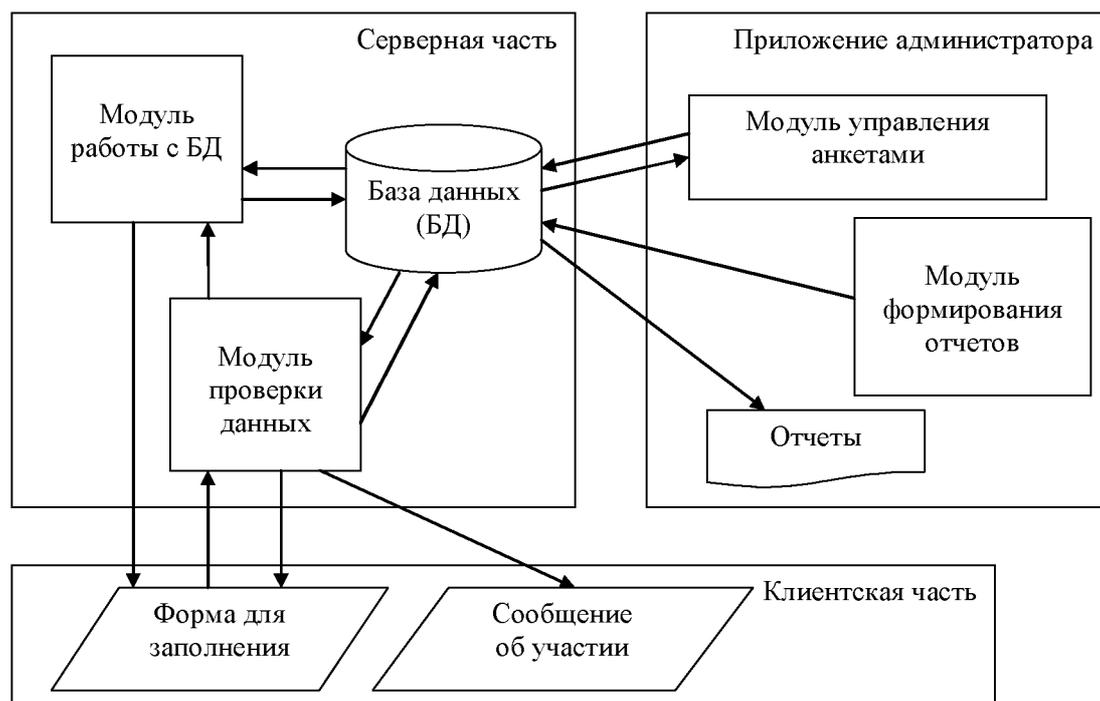


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга

- создание, редактирование и удаление вопросов для анкет;
 - создание, редактирование и удаление вариантов ответов для вопросов анкеты.
- Модуль формирования статистических отчетов предполагает:

- подсчет количества участников анкетирования в каждой из групп и их суммарное количество;
- подсчет количества регионов, представители которых приняли участие в мониторинге;
- подсчет количества участников из каждого региона, представители которого приняли участие в мониторинге;
- формирование сводных таблиц, каждая из которых соответствует одному из вопросов анкеты и отражает данные в процентах, полученные в результате выборок с учетом следующих признаков респондентов:
 - 1) регион (федеральные округа);
 - 2) социальная группа (учащаяся молодежь; учителя; другие группы населения);
 - 3) возрастная группа (до 16 лет; от 17 до 25 лет; старше 25 лет)
 - 4) без учета признаков респондентов.

В соответствии с концепцией «тонкого клиента» клиентская часть не имеет функциональных модулей, а служит лишь для отображения вопросов анкеты, передачи данных на сервер и показа сервисных сообщений.

Серверная часть предоставляет две основные функции: обеспечение целостности данных и чтение/запись в базу данных.

Целостность данных подразумевает, что информация будет находиться в непротиворечивом состоянии. В том числе, здесь выполняется проверка на уникальность респондента (каждый пользователь может участвовать в мониторинге только один раз) и заполненность ответов на все вопросы.

Структура разработанной базы данных представлена на рисунке 2.

Оказывает ли Интернет отрицательное влияние на грамотность?

Параметры	Да	Скорее да	Скорее нет	Нет	Затруднилась ответить	
Средний статистический показатель по всем группам и регионам	15 %	32%	27%	23%	3%	
Регионы	Дальневосточный ФО	7%	43%	29%	7%	14%
	Иркутский ФО	12%	32%	27%	22%	7%
	Северо-Западный ФО	20%	41%	15%	18%	6%
	Сибирский ФО	13%	29%	26%	27%	5%
	Уральский ФО	9%	41%	23%	36%	0%
	Центральный ФО	12%	36%	23%	27%	2%
	Южный ФО	19%	27%	29%	22%	3%
	Учащаяся молодежь	13%	25%	30%	29%	3%
	Учителя и преподаватели вузов	17%	35%	22%	23%	3%
Социальные группы	Центральные группы населения	13%	41%	22%	23%	1%
Возрастные группы	До 16 лет	11%	24%	30%	32%	3%
	От 17 до 25 лет	17%	34%	29%	17%	3%
	Старше 25 лет	16%	34%	25%	24%	3%

Рисунок 3 – Пример сводной таблицы

Каждая таблица соответствовала одному из вопросов анкеты и отражала данные в процентах, полученные в результате выборки с учетом:

- 1) региона (учитывался федеральный округ респондента);
 - 2) социальной группы (респонденты делились на следующие группы: учащаяся молодежь; учителя; другие группы населения);
 - 3) возрастной группы (респонденты представлены в трех возрастных категориях: до 16 лет; от 17 до 25 лет; старше 25 лет)¹;
- а также без учета федерального округа, социальной и возрастной групп респондентов.

Пример таблицы, которая иллюстрирует полученные в ходе мониторинга данные по одному из вопросов анкеты, приведен на рисунке 3.

В анкетировании приняли участие как зарегистрированные пользователи сайта www.rslovo.ru, так и незарегистрированные.

При регистрации посетители заполняли несколько полей формы, наибольший интерес для описания мониторинга имеют следующие данные:

- город пользователя, по нему определяется регион, который представляет пользователь;
- категория участника (предлагается выбрать одну из четырех категорий: школьники и студенты (в статистических данных эти категории были объединены в группу «учащаяся молодежь»); учителя-словесники; другие группы населения).

Кроме этого, пользователям предлагалось указать логин, пароль, отображаемое на сайте имя, e-mail, телефон и т.д.

Для того чтобы определить регион незарегистрированного посетителя, принявшего участие в мониторинге, используется база, содержащая диапазон IP адресов в числовом формате и их соответствие стране, городу, области и федеральному округу.

¹ Основание для выделения данных возрастных групп: «До 16 лет» - период формирования ценностных установок личности человека; «С 17 до 25 лет» - период формирования базовых профессиональных компетенций человека; «После 25 лет» - период основной профессиональной деятельности.

Для определения категории участника незарегистрированным пользователям предлагалось ответить на дополнительный вопрос «Ваш статус?», со следующим набором вариантов ответа: школьник, студент, учитель-словесник, другое.

Все вопросы анкеты с возможными вариантами ответа отображались в одной форме на странице сайта. Вопросы выбирались из специализированной базы данных, наполнение которой осуществляется через приложение администратора с участием специалистов-филологов. Фрагмент страницы сайта с формой социологического опроса представлен на рисунке 4:

20 Можно ли считать неграмотным выражение В ЭПИЦЕНТРЕ СОБЫТИЙ?

- да
- скорее, да
- скорее, нет
- нет
- затрудняюсь ответить

21 Имеет ли писатель право нарушать литературную норму?

- да
- скорее, да
- скорее, нет
- нет
- затрудняюсь ответить

22 Есть ли, по Вашему мнению, подтекст в словосочетании: «Всякое бывает»

- да
- скорее, да
- скорее, нет
- нет
- затрудняюсь ответить

Ответить

Рисунок 4 – Фрагмент сайта с формой социологического опроса

При открытии формы модулем проверки данных осуществлялся ряд проверок на доступность данного анкетирования.

Первая проверка заключалась в доступности данной анкеты для участников сайта. Чтобы анкета отображалась на сайте, должно быть выполнено несколько условий. Администратор должен установить статус, который причисляет анкету к списку отображаемых на сайте. С целью обеспечения временного окна проведения мониторинга текущая дата и время должны быть больше или равны дате и времени начала анкетирования и меньше даты и времени завершения анкетирования.

При выполнении данных условий осуществлялась проверка на участие данного пользователя в анкетировании ранее. Для этого в базу данных поступал запрос, который для зарегистрированных посетителей сайта подсчитывал число ответов на вопросы анкеты с идентификационным номером, равным идентификатору пользователя. Идентификация незарегистрированного пользователя производилась по уникальному ключу, который генерировался при первом обращении пользователя к сайту на основе данных о персональном компьютере или другого устройства, с которого осуществлялся вход на сайт, и сохранялся на 60 дней. Таким образом, обеспечивалось выполнение условия, согласно которому каждый человек может принять участие в анкетировании не более одного раза.

Если запрос возвращал число более 0, то посетителю отображалось сообщение «Вы ответили на вопросы анкеты. Спасибо!» (Сообщение об участии). В обратном

случае, участнику предлагалось ответить на 21 или 22 (в зависимости от статуса «пользователь»/«гость»).

На странице анкетирования в последовательности, заданной администратором, отображались вопросы с возможными вариантами ответов, множественный выбор не допускался. Все вопросы являются обязательными для заполнения. При нажатии на кнопку «Ответить», которая отправляет ответы участника на запись в базу данных, осуществлялась проверка на наличие ответов на все вопросы. В случае, если пользователь выбрал варианты ответа не на все вопросы, он возвращался на страницу с формой анкеты, где ему предлагалось ответить на недостающие вопросы. При валидном заполнении формы данные записывались в базу данных.

ВЫВОДЫ

В рамках Федеральной целевой программы «Русский язык (2006-2010 годы) в ходе выполнения проекта по проведению мониторинга состояния русской речи была разработана специализированная интернет-система, применение которой обеспечило повышение эффективности проведения социологического опроса за счет широкого охвата респондентов, а также позволило на основе полученных данных формировать сводные и частные отчеты по необходимым разрезам исследования.

Результаты, полученные по завершению социологического опроса, с помощью интернет-системы мониторинга, были проанализированы специалистами филологами, ими разработан ряд рекомендаций по формированию, совершенствованию и сохранению русской культуры.

Таким образом, система мониторинга позволяет проводить социологические опросы регулярно и отслеживать динамику изменения состояния русской речи по различным языковым аспектам, что позволит выявить тенденции в развитии русского языка и уровня языкового самоощущения граждан России.

Мотин Александр Алексеевич

Орловский государственный университет, г. Орел

Аспирант кафедры журналистики

Тел.: (4862) 752713

E-mail: mail@rslovo.ru

Волков Вадим Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: (4862) 409614

E-mail: vadimvolkov@list.ru

УДК 519.71, 658.51, 37.014

А.В. МОНОВСКАЯ, М.А. МАКЕЕВА, Т.А. СОКОЛ, Е.В. ОПАРИНА

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ВЫПУСКА РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье затрагивается проблема обеспечения кадрами потребностей экономики северных регионов на примере Ханты-Мансийского автономного округа. Научная новизна предложенного подхода заключается в совершенствовании управления структурой выпуска региональной сети профессионального образования в условиях традиционных ограничений на численность и состав абитуриентов.

Ключевые слова: региональная сеть учреждений профессионального образования; управление структурой выпуска.

The problem of the personnel support appropriate to needs of North region economics by an example of Khanty-Mansiysk autonomous region is touched in the paper. Scientific novelty of the proposed approach consists in control enhancement in relation to the output's structure of the regional vocational education system under conditions of traditional restrictions on number and composition of entrants.

Keywords: the regional vocational education system; control enhancement in relation to the output's structure.

ВВЕДЕНИЕ

Сеть учреждений профессионального образования (УПО) представляет собой совокупность начальных, средних и высших образовательных учреждений [1]. Цель ее функционирования – согласование, удовлетворение и опережающее формирование спроса на образовательные услуги и выпускников в рамках заданных институциональных ограничений и ресурсного обеспечения [2]. Эту цель не представляется возможным достичь при отсутствии инструмента для прогнозирования ежегодной структуры выпуска, учитывающей потребности региона и возможности УПО.

Общего формализованного решения данной задачи в настоящее время не существует, что обусловлено рядом факторов. К наиболее значимым следует отнести, во-первых, тот факт, что сеть УПО большая и сложная [2, 3]. Во-вторых, формирование ее модели вызывает затруднения в связи с тем, что сеть является динамической и имеет переменную структуру. В-третьих, наличие демографического кризиса в России в 90-х годах прошлого века привело к ежегодной нехватке ресурсов на входе сети УПО и, как следствие, отсутствию возможности обеспечить необходимое количество выпускников на ее выходе [2, 4, 5].

Дополнительно необходимо принимать во внимание региональные особенности сети УПО. В частности, по большинству основных показателей Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО – Югра) характеризуется самой высокой динамикой развития промышленного комплекса в РФ при сохранении этих перспектив и в дальнейшем. Однако в настоящее время состав и структура выпуска УПО не успевают за потребностями экономики. Помимо этого в ХМАО – Югре существует слабая связь между рынком образовательных услуг и рынком труда вследствие большой удаленности населенных пунктов друг от друга [3], что обуславливает региональные особенности структуры, состава и размещения элементов сети УПО.

В результате управление деятельностью сети УПО подразумевает решение множества взаимосвязанных задач. К ним, например, относятся: выбор аналога модели элемента сети УПО [2, 4]; учет динамики сети УПО при формировании ее модели [2, 3]; формирование базовой модели элемента сети УПО [6]; выявление параметра порядка для модели сети УПО [6]; прогнозирование входных данных для модели сети УПО; выявление ресурсной устойчивости сети УПО; прямое и обратное моделирование функционирования сети УПО и другие. Решение каждой из этих задач требует самостоятельного исследования. Данная статья посвящена проблеме регулирования структуры выпуска сети УПО.

МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Исследования, проведенные в [6] позволили привести модель региональной сети УПО к системе потоковых моделей на основе введения обоснованной системы допущений. Полученная система отображает динамику структуры выпуска сети УПО, каждый элемент которой представляет собой эквивалентную модель множества УПО одного уровня [6] и является базовым. Базовые элементы реализуют функции начального (БЭ НПО), среднего (БЭ СПО) и высшего (БЭ ВПО) образования и характеризуются следующими свойствами:

1. Дискретное функционирование (дискрет времени равен одному году).
2. Число поступающих студентов равно числу выпускаемых через число лет, равных периоду обучения.
3. Период обучения для студентов НПО равен трем годам, СПО – четырем годам, ВПО – пяти.

В настоящее время можно выделить одно- и многоуровневую модели образования. Одноуровневая модель (рисунок 1.а) является традиционной и подразумевает, что все студенты образовательного учреждения получают единственное из трех возможных уровней образования. Основной недостаток этой модели фактически блокирует возможность управления структурой выпуска вследствие жесткой ограниченности входных ресурсов.

Многоуровневая модель образования (рисунок 1.б) позволяет выпускникам СПО и ВПО получить несколько уровней образования (таблица 1) и обладает двумя основными преимуществами.

1. Возможностью варьирования коэффициентов управления сетью УПО (K_1, K_2, K_3) для оценки предельных значений числа выпускников всех уровней профессионального образования, которых можно подготовить в сети УПО в каждом календарном году.
2. Возможностью подбора коэффициентов K_2 и K_3 для реализации необходимой экономике округа структуры выпуска УПО.

Таким образом, многоуровневая модель включает в себя одноуровневую и является ее логическим развитием (таблица 1). Многоуровневая модель образования может быть рассмотрена с ограничениями и без ограничений. При моделировании с ограничениями учитывается необходимость сохранения кадрового состава УПО, который обеспечивает устойчивость его функционирования.

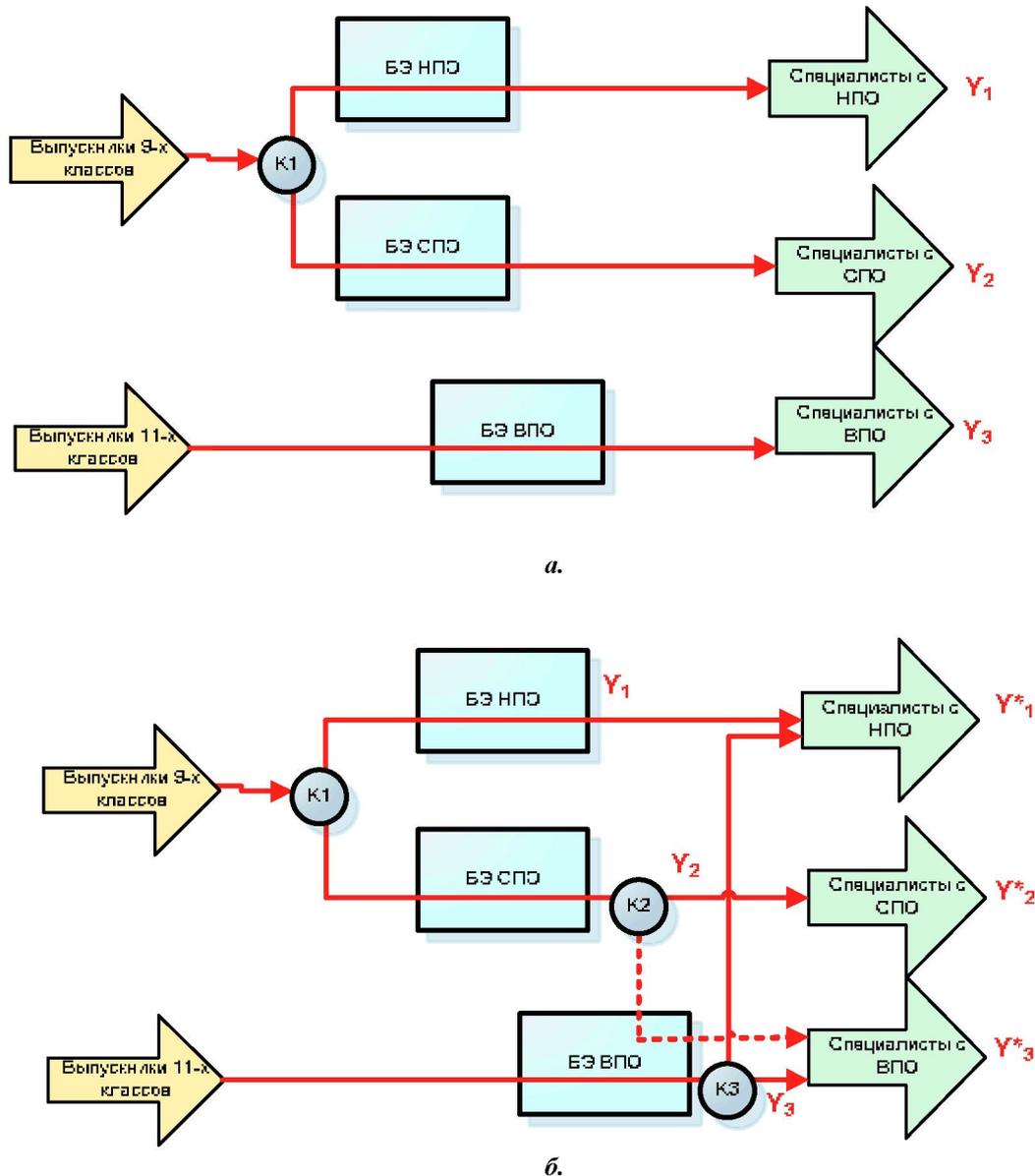


Рисунок 1 – Модель одноуровневого (а) и многоуровневого (б) образования

$K1$ – коэффициент распределения выпускников 9-х классов между начальным и средним образованием;

$K2$ – коэффициент, регулирующий поток выпускников СПО, получающих высшее образование;

$K3$ – коэффициент, регулирующий поток выпускников ВПО, получающих начальное образование.

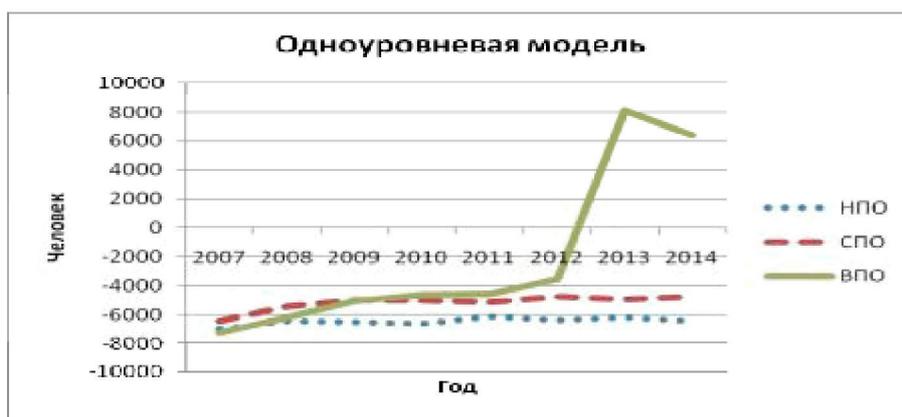
Проиллюстрируем возникновение преимуществ управления структурой выпуска с использованием модели многоуровневого образования на примере варьирования коэффициентов $K2$ и $K3$ и при постоянном значении $K1=0,436$. Фиксация коэффициента $K1$ основана на статистических наблюдениях набора в СПО и НПО в ХМАО – Югре с 1997 по 2006 года и означает, что 43,6% выпускников 9-х классов получают среднее образование, а остальные 53,7% – начальное. Диапазоны варьирования коэффициентов $K2$ и $K3$ принимаются в пределах $[0,2; 0,8]$, что исключает вырождение многоуровневой модели в одноуровневую. В качестве входных данных используется прогноз выпуска 9-х и 11-х классов средних образовательных школ [4] и прогноз потребности выпускников УПО, исходя из потребностей региональной экономики. Результат моделирования (рисунок 2) представляет собой разность между выпускниками УПО и спросом на них (по уровням образования), т.е. положительная разность означает, что недостатка в

выпускниках на рынке труда нет, отрицательная – существуют вакансии для специалистов данного уровня УПО.

Таблица 1 – Уровни образования одно- и многоуровневой моделей

Модели		Уровень образования	Выходы моделей	Свойства выпуска на выходах		
				НПО	СПО	ВПО
Многоуровневая	Одноуровневая	Начальное профессиональное	Y_1			+
		Среднее профессиональное	Y_2, Y_2^*		+	
		Высшее профессиональное	Y_3	+		
		Высшее профессиональное образование совмещенное с начальным (ВПО+НПО)	Y_1^*		+	+
		Высшее профессиональное образование, совмещенное со средним (ВПО+СПО)	Y_3^*	+		+

На рисунке 2.а приведены результаты расчетов одноуровневой модели, на рисунках 2.б и 2.в – многоуровневой модели при минимальных и максимальных значениях коэффициентов K_2 и K_3 , соответственно. Их сравнительный анализ показывает, что многоуровневая модель позволяет управлять изменением структуры выпуска в достаточно широком диапазоне. Например, в одноуровневой модели недостаток выпускников уровня НПО составляет 6422 человека, а в многоуровневой модели есть возможность варьировать это значение в интервале [-3030; 7145]. При этом необходимо отметить, что существует возможность косвенно управлять структурой выпуска СПО через варьирование коэффициентов K_2 и K_3 , которые непосредственно связаны только с выпусками ВПО и НПО, соответственно.



а.



б.



в.

Рисунок 2 – Разность между выпускниками УПО и спросом на них (по уровням образования)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проанализированы подходы к управлению структурой выпуска сети УПО на основе многоуровневой и одноуровневой моделей образования. Многоуровневая модель, в отличие от одноуровневой, позволяет студенту УПО получить профессиональное образование нескольких уровней. С точки зрения управления деятельностью сети УПО, использование этой модели предоставляет механизм для гибкой адаптации структуры выпуска при фиксированной численности набора. С точки зрения выпускников УПО, использование этой модели расширяет выбор возможных вариантов их трудоустройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков Д.А. Модели и механизмы управления развитием региональных образовательных систем (концептуальные предложения). М.: ИПУ РАН, 2001. – 83 с.
- Разработка прогноза и выработка рекомендаций по совершенствованию (расширению) сети учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования в разрезе муниципальных образований автономного округа с учетом развития рынка и региональных особенностей / науч. рук. Колоколов Ю.В., отв. исп. Моновская А.В., Моновская А.В., Мелихов А.Ю., Карминская Т.Д., Шапкина О.Ф. и др. // Итоговый отчет по контракту на выполнение НИР для государственных нужд № 10/08.0623/НУ-ЮГУ-294 от 29.10.2008/ Югорский государственный университет. Ханты-Мансийск, 2008
- Колоколов Ю.В., Карминская Т.Д., Моновская А.В., Макеева М.А. Моделирование деятельности сети учреждений профессионального образования с учетом региональных особенностей. Часть 1: постановка проблемы // Системы управления и информационные технологии. – 1.1(35). – С.164-168, 2009.

4. Профессиональное образование Югры: сборник информационно-аналитических материалов, статистической и справочной информации о состоянии системы профессионального образования в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и его соответствии рынку труда. – г. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2007. – 128 с.
5. Оценка состояния планирования и выполнения государственного задания учреждениями профессионального образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Материалы комплексного социологического исследования; под ред. С.Е. Пузырева. – г. Ханты-Мансийск. – Издательство ОАО «Информационный издательский центр», 2008. – 212 с.
6. Колоколов Ю.В., Карминская Т.Д., Моновская А.В., Макеева М.А. Моделирование деятельности сети учреждений профессионального образования с учетом региональных особенностей. – Часть 2: базовая модель // Системы управления и информационные технологии. 1.2(35). – С. 272-275, 2009.

Моновская Анна Владимировна

ГОУ ВПО «Югорский государственный университет» (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск
Кандидат технических наук, заведующая кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления»
института прикладной математики, информатики и управления ЮГУ
Тел.: (8-3467) 357-581
E-mail: anna.monovskaya@mail.ru

Макеева Марина Алексеевна

Югорский государственный университет (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск
Старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» института прикладной математики, информатики и управления ЮГУ
Тел.: 8-912-41-99-379
E-mail: sma@uriit.ru

Сокол Тамила Андреевна

ГОУ ВПО «Югорский государственный университет» (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск
Студентка 4 курса кафедры АСОИУ
Тел. 8-922-651-6631
E-mail: sokol.mila@gmail.com

Опарина Елена Владимировна

ГОУ ВПО «Югорский государственный университет» (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск
Студентка 4 курса кафедры АСОИУ
Тел. 8-922-429-8624
E-mail: oparinalena@rambler.ru

УДК 519.876.2

А.Н. СТРЕЛЬНИКОВ

ПИРАМИДА ПОТРЕБНОСТЕЙ ПО МАСЛОУ КАК МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ОНЛАЙНОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В статье приводится аналогия иерархической системы потребностей человека по Маслоу с иерархией потребностей пользователей онлайн-социальных сетей. Приводится краткий обзор развития профилированных онлайн-социальных сетей, программных интерфейсов и интеграции онлайн-социальных сетей под единый профиль, а также поднимаются связанные с этими явлениями проблемы. На основе проведенной аналогии делается вывод о том, что представленная иерархия потребностей пользователей онлайн-социальных сетей может быть взята в качестве одной из основ в вопросах решения задач управления онлайн-социальными сетями.

Ключевые слова: пирамида потребностей по Маслоу; социальные сети; социальный семантический веб; профилированные социальные сети; программный интерфейс; иерархия потребностей пользователей онлайн-социальных сетей; интеграция социальных сетей; самоорганизующиеся социальные сети; управление онлайн-социальными сетями.

The analogy of Maslow's hierarchy of needs is represented in the report with hierarchy of requirements of users of online social networks. The short review results the development of specified online social networks, application program interfaces and integration of online social networks under a unified profile also, and the issues connected with these phenomena are discussed. The conclusion can be made on the basis of the drawn analogy that the hierarchy of requirements of users of online social networks presented in the this report can be taken as one of bases in the questions concerned solving of issues of online social networks management.

Keywords: Maslow's hierarchy of needs social networks; social semantic web; specified social networks; application programming interface (api); hierarchy of requirements of users of online social networks; social network integration; self-organized social networks; online social networks management.

Иерархическая система потребностей человека по Маслоу [1] отражает эволюционный взгляд на развитие личности по мере удовлетворения ее потребностей. От физиологически детерминированных потребностей к трансцендентным (нуминозным). Маслоу были выделены следующие виды потребностей, представленных в виде пирамиды:

- Физиологические потребности
- Безопасность и защищенность
- Социальные потребности (принадлежность к группе)
- Уважение и признание
- Духовные (потребность в самовыражении)
- Трансцендентные потребности (нуминозные)

(Примечание: в разной литературе приводится разная классификация).

Высшей потребностью человека является трансцендентная (нуминозная), когда человек ничем не ограничен, кроме своей воли. Проводя аналогию, можно проследить некоторое соответствие развития потребностей человека и развитие онлайн-социальных сетей (рис. 1). При этом иерархия потребностей пользователей онлайн-социальных сетей может быть представлена следующим образом:

- Участие в социальной сети, так называемое «участие ради участия».
- Тенденция выбора тех социальных сетей, которые выбирают массы.
- Вступление в сообщества, группы, установление контактов с людьми (возможно, по слабым связям [2], например, в случае разделения одинаковых интересов), участие в различных обсуждениях.
- Участие в обсуждениях с озвучиванием личного опыта, тем самым добиваясь (часто несознательно) уважения собеседников.
- Развитие профилированных (или профессиональных) социальных сетей, где пользователь способен в соответствии со своими предпочтениями и навыками самореализоваться; а также развитие и внедрение программных интерфейсов конкретной социальной сети.
- Интеграция социальных сетей под так называемый единый профиль и использование микроформатов для построения социального семантического веба.



Рисунок 1 – соответствие уровней пирамиды потребностей по Маслоу и иерархии потребностей пользователей онлайн-социальных сетей

Согласно современным тенденциям, активное развитие прослеживается по двум заключительным пунктам. В первую очередь, это развитие профилированных социальных сетей, чья деятельность направлена на аккумуляцию и поддержание одной узкой тематики. Примером является «Российский научный портал AllScience.ru», объединяющий относительно узкий круг людей и ориентированный на научную тематику. Вовлеченность пользователей в подобные профилированные социальные сети обычно гораздо выше, чем в любых других (мэйнстрим) социальных сетях.

Программные интерфейсы позволяют сторонним разработчикам ПО внедрять свои приложения в конкретную социальную сеть, интегрировать социальную сеть в свои веб-сайты, принося пользователям больше сервисов без необходимости их разработки владельцем сайта. При получении широкого распространения интеграция социальной сети в собственный сайт, например, с помощью Facebook API [3], данный программный интерфейс может послужить аналогом технологии OpenID [4].

Интеграция социальных сетей под единый профиль подразумевает агрегирование данных с множества социальных сетей, тем самым давая толчок в

развитии открытых социальных сетей. Основным отличительным признаком открытой социальной сети является возможность формирования сервисов различных социальных сетей вокруг пользователя. Тем самым пользователь получает свободу выбора сервисов, имея при этом единую учетную запись. А это, в свою очередь, влечет за собой развитие самоорганизующихся социальных сетей. С точки зрения безопасности такой подход приемлем не всем пользователям, так как это подразумевает почти открытое хранение всей личной информации. И для архитекторов социальных сетей существует необходимость в лучшем понимании того, как адаптировать социальные сети для диверсификации пользователей и целей. В ряде случаев такие адаптации могут означать пересмотр категорий профилей пользователей для большего соответствия различным культурным и социальным контекстам. Однако с точки зрения удобства такой подход является несомненным преимуществом, так как пользователю необходимо иметь всего лишь одну учетную запись.

В большинстве своем владельцы крупных социальных сетей отказываются от применения идеи интеграции, так как это может повлечь существенное снижение их доходов ввиду того, что предполагается агрегация данных без рекламы, которая в большинстве случаев является приоритетным источником доходов социальной сети. Отказ также мотивируется вопросами безопасности [5]. Кроме того, для владельцев сети остается открытым вопрос, как поступать в случае, если пользователь выходит из одной социальной сети ввиду активности в других сетях. Это может привести как к росту числу пользователей, так и его уменьшению. Однако моделирование этого процесса зависит от большого числа факторов.

Как и в пирамиде потребностей по Маслоу, так и в иерархии потребностей пользователей онлайн-социальных сетей все уровни взаимосвязаны. Вместе с тем, это не означает всегда двухсторонней связи между потребностями разных уровней. Удовлетворяя верхние уровни пирамиды, предполагается, что нижние удовлетворены. Возможен и такой случай, при котором придется заново удовлетворить потребность более низкого уровня.

Социальные сети могут удовлетворять широкий круг потребностей пользователей, но для реализации этих потребностей необходимо их четкое понимание. Поэтому при моделировании и построении социальных сетей также (помимо каких-либо других аспектов) целесообразно опираться на представленную в настоящем докладе иерархию потребностей пользователей онлайн-социальных сетей. Кроме того, круг потребностей может быть расширен и спроецирован на реальность. Зная потребности целевой аудитории и определив концепцию онлайн-социальной сети, можно смоделировать ее развитие в зависимости от спроектированной архитектуры и выбранных критериев построения.

Таким образом, иерархия потребностей пользователей онлайн-социальных сетей может быть представлена в качестве одной из основ для поиска и фокусирования внимания архитекторов в вопросах решения задач управления онлайн-социальными сетями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maslow A.H. A Theory of Human Motivation, Psychological Review, 1943. – 50(4). – P.370-96.

2. Granovetter M. S. () «The strength of weak ties». American Journal of Psychology, 1973. – 78(6). – P.1360-1380.
3. Facebook API – программный интерфейс социальной сети Facebook [<http://developers.facebook.com/>].
4. OpenID – открытая децентрализованная система единого входа на сайты, порталы, блоги и форумы [<http://www.openid.net/>].
5. Thoughts on Privacy [<http://developers.facebook.com/news.php?blog=1&story=111>].

Стрельников Андрей Николаевич

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(Технический университет), г. Москва

Аспирант МГИРЭиА

E-mail: strelnikov@andryxa.com

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

УДК 004.78:656.13

И.С. КОНСТАНТИНОВ, Н.В. БАКАЕВА

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ
АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ
БИОСФЕРНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ***

Проанализирована экологическая ситуация на территориях поселений от воздействия автотранспортных систем. Сформированы концептуальные основы управления автотранспортной системой территории на основе парадигмы биосферной совместимости. В этом контексте автотранспортная система рассмотрена как природо-социо-техническая структура. Построена модель объекта управления и предложен критерий оценки состояния объекта в виде гуманитарного баланса.

Ключевые слова: окружающая среда; автотранспортная система; биосферная совместимость; модель объекта управления; гуманитарный баланс; критерий оценки состояния системы

The ecological situation will analysed on territory of the settlements from avtotransporting system influence. They are formed conceptual bases of management avtotransporting by system of the territory on base of the paradigm biosphere to compatibility. In this context avtotransporting system is considered as nature-social-technical structure. The built model of the object of management and is offered standard of judgment of the condition of the object in the manner of humanitarian balance.

Keywords: surrounding ambience; avtotransporting system; biosphere to compatibility; model of the object of management; humanitarian balance; standard of judgment of the condition of the system

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Для современного этапа развития поселений характерны динамичные изменения окружающей их среды (ОСП), связанные с возникновением и проявлением новых видов угроз преимущественно техногенного характера.

Автотранспортные системы (АТС) являются структурами, реализующими удовлетворение потребностей поселений в транспортных услугах при эффективном использовании автотранспорта и обеспечении дорожной безопасности в соответствии с уровнем приемлемого риска и экологически обоснованного качества ОСП в соответствии с действующей нормативно-правовой базой. На сегодняшний день именно автотранспорт создает порядка 70-80% всех загрязнений ОСП, а в мегаполисах и крупных городах – все 90% [1,2], превращая их в центры основных экологических проблем. В результате автотранспортного воздействия создается дискомфортное состояние ОСП по показателям атмосферного воздуха, акустической и водной сред, а также ее загрязнение ввиду вибраций, повышенного тепла и других факторов.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-08-13658.

Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в поселениях является следствием того, что чаще всего критерием эффективности функционирования АТС служит максимум прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не сбалансированность и устойчивость среды обитания на основе приоритетов ресурсосбережения, экологичности и безопасности. Как результат – проявление системных отрицательных последствий: рост потребления невозобновляемых природных ресурсов, вредных выбросов и не утилизируемых отходов, увеличение ущерба от этих воздействий и, соответственно, рост затрат на содержание и развитие объектов автотранспортной инфраструктуры. Экологическое регулирование в настоящее время является, пожалуй, одной из наименее реформированных областей взаимоотношений государства и различных субъектов предпринимательства, в том числе, и АТС.

Существующая среди некоторых ученых точка зрения о том, что переход к рыночной модели экономического развития автоматически позволит решить все экологические проблемы, оказалась несостоятельной [3]. Рынок плохо приспосабливается к действиям, имеющим перспективную направленность, затрагивающим интересы будущих поколений и связанным с использованием ресурсов, находящихся в общественной собственности. Рынок функционирует, в основном, в соответствии с краткосрочными интересами общества. Отечественный опыт полностью подтверждает данный тезис, и не только в экологической сфере.

Учитывая ежегодный экологический ущерб (5-7 млрд у.е.) от воздействия АТС [1], возникает проблема их безопасного функционирования и устойчивого развития, связанная, в первую очередь, с обеспечением экологической безопасности, а поисковые исследования, направленные на создание эффективных методов управления воздействием автотранспорта на ОСП, представляются актуальными.

ПОСТАНОВКА (КОНКРЕТИЗАЦИЯ) ЗАДАЧИ

В настоящее время ситуация, связанная с обеспечением экологической безопасности от воздействия АТС реализуется соблюдением требований ряда правовых и нормативных документов [4,5 и др.]. В основе этих документов лежит концепция нормирования загрязняющих веществ и мониторинга ОСП, основанная на сравнении концентраций поллютантов в различных объектах экосистемы и выбросах от автотранспортных предприятий и от двигателей внутреннего сгорания с предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Именно эта концепция лежит в основе принятия управленческих решений при отклонении параметров ПДК от нормативных значений.

Однако в современных условиях увеличения количества источников загрязнения ОСП при воздействии на нее элементов АТС (как передвижных, так и стационарных), их концентрации на ограниченной территории синергетический эффект от воздействия загрязняющих веществ на организм человека приводит к тому, что концептуальный подход, строившийся на основе ПДК как элементе экологического нормирования, не позволяет оценить интегральное воздействие выбросов на человека и, соответственно, разработать адекватные управленческие решения.

На этом основании встает задача формирования новых концептуальных основ (принципов) управления воздействием АТС на ОСП. Следует отметить, что в теоретическом плане эта задача пока находится в стадии постановки и имеется мало примеров ее практической реализации в части построения систем управления.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В основу решения поставленной задачи предлагается принять парадигму биосферной совместимости поселений, предложенную Российской академией архитектуры и строительных наук, основное содержание которой заключается в том, что «Биосфера со всеми сложными процессами в ней протекающими, ..., должна находиться в состоянии ... экологического самообеспечения, согласованного в законами природы и, одновременно, с потребностями развивающего общества» [6]. Согласно предлагаемой парадигмы, биосфера является глобальным объектом экологической безопасности, наличие которой делает возможным существование на земле современных форм жизни, включая человека. Человек воздействует на биосферу через функции удовлетворения своих потребностей во времени, при этом может не только сокращать или увеличивать ее размеры, но и изменять, таким образом, потенциал биосферы. В свою очередь, состояние биосферы отражается как на каждом человеке непосредственно (через изменение состояния здоровья), так и на развитии общества в целом (через снижение потенциала работоспособности, ухудшение состояния основных фондов, увеличение общественных затрат на воспроизводство рабочей силы и средств труда), изменяя, тем самым, человеческий потенциал [7].

В рамках обозначенной парадигмы можно сформулировать концептуальные основы (принципы) функционирования территориальной автотранспортной системы (ТАТС) и управления ее воздействием на ОПС в следующем виде.

Основополагающим принципом будет являться идея, заключающаяся в «экологизации» сознания людей, их сосуществовании в Единстве с окружающей средой [6], и определяющая применительно к ТАТС генеральную цель – биосферосовместимое функционирование. Эта идея дает основание рассматривать ТАТС в едином пространстве и взаимодействии с внешней природной средой, т.е. как природо-техническую структуру.

Следующим принципом реализации предлагаемого подхода является процесс Сопоставления внешнего воздействия и внутреннего взаимодействия [6]. Внешнее воздействие ТАТС на ОПС рассматривается как изъятие природных и производственных ресурсов из биосферы (кислород воздуха, пресная вода, энергоресурсы, отчуждение земель), а также как преобразование их в разнообразные отходы и выбросы, которые, несомненно, являются небезопасными. Определенная оценка этого воздействия будет заключаться в установлении так называемого «экологического следа системы», восстанавливающей способности природы или потенциала биосферы к регенерации от воздействия ТАТС.

Результатом внутреннего взаимодействия элементов ТАТС может служить оценка состояния среды обитания, основным показателем которой может служить уровень заболеваемости и продолжительность жизни людей, другими словами, так называемый человеческий потенциал.

В рамках этого принципа проведено значительное количество научных исследований, посвященных неблагоприятному воздействию АТС на окружающую среду и оценке экологического ущерба от воздействия автотранспорта [8 и др.], для территориальных АТС разработаны рекомендации рационального использования различных видов ресурсов, минимизации негативного воздействия, при этом в

качестве критерия выхода на траекторию экологического развития автомобильного транспорта чаще всего расценивается экологический ущерб.

В области управления работы ученых, в основном, посвящены использованию технических средств автоматизированного сбора, передачи и обработки данных при организации экологического мониторинга, а также связаны с преобразованием полученной экоинформации в системах поддержки принятия решений [9,10 и др.]. В то же время главный недостаток существующих моделей заключается в том, что они не обеспечивают управление с учетом синергетики внешнего воздействия и внутреннего взаимодействия. Поэтому необходимы новые подходы к управлению воздействием различных систем на окружающую среду, в том числе, и АТС, базирующиеся на уже известных критериальных оценках и элементах парадигмы биосферной совместимости.

С позиции предлагаемой парадигмы в качестве интегрального критерия оценки состояния ТАТС можно рассматривать баланс между элементами ТАТС как местами удовлетворения потребностей с определенным результатом от их функционирования (негативным воздействием на ОСП, неудовлетворением потребностей в транспортных услугах и т.п.), человеческим потенциалом и потенциалом биосферы. Результатом установления такого баланса будет либо прогрессивное развитие (сохранение, восстановление) биосферы и человека, как составной ее части, либо регрессивное развитие с деградацией биосферы и снижения качества жизни населения. Такие балансы получили название гуманитарных [6]. Этот принцип позволяет рассматривать ТАТС в единстве и взаимодействии не только с внешней природной средой, но и социальной, т.о. ТАТС можно рассматривать уже как природо-социо-техническую структуру.

Реализация принципов биосферосовместимого функционирования ТАТС невозможна без их законодательного и нормативного закрепления в различного уровня документах, причем в отношении рассчитанных балансов эти документы необходимо разработать впервые. Другими словами, необходима поэтапная модернизация действующей и создание элементов новой нормативно-правовой базы.

Одним из важнейших принципов рассматриваемого концептуального подхода являются знания как необходимое условие принятия управленческих решений, отвечающие парадигме биосферной совместимости и базирующиеся на достоверной и своевременной информации, профессионализме, интеллекте, науке [6]. Применительно к ТАТС этот принцип обеспечивает инновационную составляющую проектов, формирование целевых программ и реализацию мероприятий в области эксплуатации автомобильного транспорта с использованием программно-целевых подходов. Здесь уместно заметить, что с позиции биосферной совместимости «инновационными» можно считать только те проекты, которые увеличивают потенциал биосферы, а не технологии, использующие патологию в качестве ресурса развития, какими являются большинство современных технологий, применяемых на транспорте.

Необходимым условием для принятия решений будет являться сочетание рыночных механизмов управления с государственными, поскольку экологическое регулирование плохо совместимо с рыночными отношениями. Природные ресурсы являются общественными благами. Шум, загрязнение воды или воздуха и другие негативные последствия функционирования ТАТС проецируются на общество в целом, от которых нельзя избавить отдельного человека. Поэтому к тем, кто не

бережет блага, принадлежащие всем, и уклоняется от участия в общих затратах по обеспечению экологической безопасности ОСП, необходимо вмешательство государства с его правом применять санкции. Результатом такого взаимодействия может служить установление частно-государственного партнерства, способствующего снижению коррупционности, достижению положительного социально-экономического эффекта, оздоровлению ОСП и, как следствие, развитию потенциала жителей конкретного поселения, где реализуется предлагаемый подход.

Применение вышеназванных принципов позволит обеспечить прогресс, т.е. определенные достижения в развитии человека и в восстановлении природы на основе гармоничного их взаимодействия [6]. В приложении к ТАТС этот принцип подразумевает проверку прогрессивного или регрессивного ее функционирования с помощью критериев симбиотического развития, в качестве которых могут выступать гуманитарные балансы.

Следующий принцип конкретизирует функции ТАТС с позиции удовлетворения потребностей поселений в транспортных услугах на основе биосферосовместимых технологий. Под биосферосовместимыми технологиями будем понимать новые технологии, направленные на сохранение и увеличение потенциала биосферы. С их учетом представляется возможным решение ряда важных для ТАТС задач на качественно новом уровне:

- развитие системы инвестирования и ресурсного обеспечения ее объектов;
- совершенствование нормативно-правовой базы функционирования;
- развитие объектов автотранспортной инфраструктуры и рациональное размещение их на территории поселения;
- обеспечение надежной и безопасной эксплуатации автотранспортных средств в течение всего жизненного цикла;
- минимизация рисков для участников дорожного движения;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Последовательное выполнение вышеизложенных принципов обеспечит как результат надежность и познание [6]. Эти два принципа являются основой биосферосовместимого функционирования и развития ТАТС, т.е. функционирования на основе контроля со стороны власти и администрации поселений и баланса потребностей и возможностей.

Таким образом, принимая основные положения парадигмы биосферной совместимости поселений, можно сформировать новый концептуальный подход, который будет использоваться для решения задачи управления не только территориальными АТС, но и, учитывая общность проблемы обеспечения безопасности ОСП, к любой системе. С этих позиций целевой функцией АТС как одной из систем жизнеобеспечения территории будет являться не только обеспечение комплексной безопасности среды обитания человека в контексте ее устойчивого развития, но и создание условий экологического самообеспечения, согласованного одновременно с потребностями развития общества и законами природы.

МОДЕЛЬ ТАТС КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

На основе предлагаемого концептуального подхода рассмотрим ТАТС как объект управления и построим модель объекта управления.

Во многих исследованиях [11 и др.] в области транспортных и транспортно-технологических систем АТС территории рассматриваются традиционно как

организационно-техническая система, назначением которой является «согласование действий целеустремленных частей (социальных групп и личностей) и нецелеустремленных (средств и предметов деятельности) с глобальной целью получения основного конечного продукта». Проанализировав известные типовые модели транспортных систем (модель транспортной системы как совокупности различных видов транспорта, модель транспортной системы как участника социально-экономической деятельности, класс многоуровневых моделей транспортной системы, включая административно-территориальную модель и др.), нельзя не заметить ограниченность их использования для целей обеспечения безопасности среды обитания и комфортности сосуществования, так как конечной целью большинства из них является повышение экономической эффективности, получение прибыли и извлечение доходов.

Используя вышеприведенные принципы биосферосовместимого функционирования ТАТС, а также, принимая во внимание разнообразие отношений, связей и взаимодействий между функционально самостоятельными подсистемами разного происхождения (технической, социальной, природной), выделим в составе объекта управления следующие составляющие:

- природную составляющую как часть внешней среды, устойчиво взаимодействующую с объектами ТАТС и подвергающуюся негативному воздействию по отдельным параметрам (атмосферный воздух, вода, почва), накапливающим и распространяющим загрязнения;

- социальную составляющую как часть внешней среды, также взаимодействующую с объектами ТАТС и ожидающую удовлетворения своих потребностей в транспортных услугах на основе приоритетов их безопасности. Кроме того, человек как представитель социума, являясь частью природной среды, испытывает на себе негативное воздействие от объектов ТАТС;

- транспортную составляющую (составляющую АТС), которая представляет собой сложную динамическую организационно-техническую систему, оказывающую влияние (силовое воздействие) на природную и социальную среды и определяющую возможность формирования неблагоприятной экологической обстановки на определенной территории.

В соответствии с предлагаемым концептуальным подходом к управлению, построенному на парадигме биосферной совместимости, а также с учетом модели экологической безопасности, предложенной в работах [12,13,14], территориальную АТС следует рассматривать как единую природо-социально-техническую структуру, расширив, таким образом, границы объекта управления и включив в него части внешней среды: не только природную, но и социальную. Принципиальная разница в построении модели объекта управления в этом случае заключается в том, что внутри объекта управления действуют другие специфические законы, основывающиеся на взаимном влиянии составляющих объекта и определяющие в любой момент времени его состояние. Этот подход дает основание рассматривать объект управления с позиции биосферной совместимости.

Основой функционирования ТАТС как объекта управления, отвечающего рассматриваемой парадигме, будет являться процесс самоорганизации (по аналогии с эволюцией сложных открытых неравновесных систем), для реализации которого необходимыми условиями являются: готовность внутренней среды к перестройке и достаточность внешних условий.

Для описания объекта управления воспользуемся теоретико-множественным подходом. На его основе и с учетом выявленных информационных потоков между составляющими анализируемой системы построим модель объекта управления (рис. 1).

Определим введенные на схеме параметры.

X – множество состояний природной среды. Состояние природной среды зависит от воздействия на нее: объектов ТАТС, человека как части природы и внешней среды. Определяется показателями качества ее параметров, например: уровнем загрязнения атмосферного воздуха, уровнем шума, уровнем загрязнения водной среды, почвы и др. Изменение этих параметров оказывает непосредственное влияние на гомеостаз природной среды как системы.

Z – множество состояний ТАТС. Состояние ТАТС будет определяться состоянием объектов, входящих в систему.

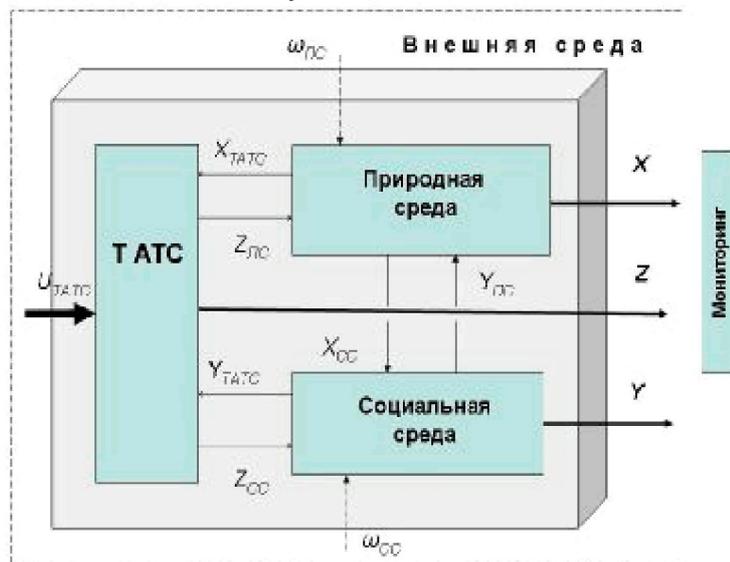


Рисунок 1 – Общий вид модели объекта управления – ТАТС как природо-социо-технической системы

С точки зрения обеспечения безопасного функционирования АТС на определенной территории при удовлетворении потребностей населения в транспортных услугах среди многообразия ее объектов можно выделить наиболее значимые: автотранспортные предприятия (АТП), автотранспортные средства (АТ), пути сообщения (ПС). Первые функционируют по оказанию транспортных услуг городу и услуг технического сервиса населению и обеспечивают надлежащее техническое состояние вторых, от которого зависит их безопасная эксплуатация. Автотранспортные средства участвуют в процессе оказания транспортных услуг и их безотказное техническое состояние достигается в процессе производственной деятельности автотранспортных предприятий. Пути сообщения и их пропускная способность активным образом влияют на распространение загрязнений, их концентрацию на определенной территории и т.д. При этом состояние внутренней среды системы ТАТС Z будет определяться, в первую очередь, показателями состояния производственной среды автотранспортных предприятий и показателями технического состояния автотранспортных средств: $Z = \{Z_{АТП}, Z_{АТ}\}$.

Y – множество состояний социальной среды. Состояние социальной среды характеризует человеческий потенциал в структуре биосферосовместимой ТАТС.

Контролируемыми параметрами могут служить, например: уровень заболеваемости и продолжительности жизни населения от воздействия объектов ТАТС на территории конкретного поселения, уровень дорожной безопасности транспортных услуг, связанный с техническим состоянием автотранспортных средств, а также уровень удовлетворенности в транспортных услугах, их надежности, качества, информированности, реализация прав и гарантий потребителей.

Внутри объекта управления выделим информационные потоки, характеризующие воздействия природной среды на ТАТС и социальную среду $X_{ТАТС}$, $X_{СС}$ ($X_{ТАТС}$, $X_{СС} \subset X$), воздействия социальной среды на объекты ТАТС и природную среду $Y_{ТАТС}$, $Y_{ПС}$ ($Y_{ТАТС}$, $Y_{ПС} \subset Y$) и, в свою очередь, воздействия транспортной составляющей на природную и социальную среды: $Z_{ПС}$ и $Z_{СС}$.

Внешняя среда оказывает влияние на составляющие рассматриваемого объекта в следующем виде:

$\omega_{ПС}$ – множества внешних воздействий на компоненты природной среды, которые влияют на распространение и накопление загрязнений, поступающих от объектов ТАТС. К ним относятся, например, природно-климатические факторы;

$\omega_{СС}$ – множества внешних воздействий на социальную среду. Уровень развития общества, например, уровень его образования и культуры будет определять возможность сотрудничества с биосферой и управления человеческой деятельностью в гармонии с природой.

Исходя из изложенного, состояние компонента природной среды можно записать как функцию: $X = f(Z_{ПС}, Y_{ПС}, \omega_{ПС})$. С позиции рассматриваемой парадигмы это состояние будет определять потенциал биосферы к восстановлению от воздействия ТАТС. Аналогичным образом, состояние компонента социальной среды Y есть функция: $Y = f(Z_{СС}, X_{СС}, \omega_{СС})$, и состояние ТАТС – $Z = f(X_{СС}, Y_{ПС})$.

Реально управляемыми с точки зрения возможности выработки конкретных управляющих воздействий являются параметры состояния ТАТС, определяющие результат функционирования системы как проекцию на природную и социальную среды. Поэтому вектор управляющих воздействий U является единственным входом для ТАТС. Тогда $Z = f(X_{СС}, Y_{ПС}, U)$.

Критерием оценки состояния объекта управления будет являться совокупность множеств X , Y и Z , находящаяся в состоянии некоторого баланса. Баланс множеств X , Y и Z в данный момент времени t характеризует текущее состояние объекта управления. Одновременно и целевое состояние тоже определяется этой совокупностью, но значения вектора целевого состояния должны соответствовать не только нормативам безопасности ОСП, но и критерию ее прогрессивного развития, воспроизводства, экологического самообеспечения в контексте предложенных концептуальных основ управления. Другими словами, целевое состояние должно соответствовать значению так называемого гуманитарного баланса в соответствии с принятой парадигмой, чтобы обеспечить в будущем устойчивое развитие (самоподдерживающее состояние) ТАТС на определенной территории.

Для определения баланса между состояниями X , Y и Z можно использовать различные подходы. Поскольку рассматриваемая система включает природные и социальные элементы, состояние которых зависит от множества факторов и меняется в течение времени, вследствие чего вектора X , Y и Z не всегда будут поддаваться количественной оценке, то применение строгих математических методов для анализа и моделирования системы будет затруднено. В этом случае целесообразно

использовать, например, нечеткий подход, основанный на использовании лингвистических переменных [15] для оценки состояния ТАТС и выработки управляющих воздействий в сочетании с применением методологии математического моделирования для построения моделей исследуемой системы и апробации выбранных управляющих воздействий.

ВЫВОДЫ

Сформированы концептуальные основы управления территориальной автотранспортной системой на основе парадигмы биосферной совместимости поселений. С этих позиций ТАТС следует рассматривать как единую природо-социотехническую структуру, причем рассмотренный вариант модели ТАТС не следует считать единственным вариантом, так как набор причинно-следственных связей, описывающих «поведение» участников транспортных процессов и процессов оказания транспортных услуг, может быть различным.

Предложена модель объекта управления, отвечающего парадигме биосферосовместимости поселений, в составе которого на основе теоретико-множественного подхода выделены множества состояний: природной и социальной сред и непосредственно ТАТС. Выявлены информационные потоки взаимодействия составляющих в составе рассматриваемой структуры.

В качестве критерия оценки состояния объекта управления может выступать баланс между множествами состояний его компонентов. Расчет такого баланса и определение его как гуманитарного для рассматриваемой системы является перспективной как с теоретической, так и с практической точек зрения задачей дальнейшего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие транспортного комплекса РФ на состояние окружающей среды и здоровье населения: Аналитический доклад/ сост. В.А. Петрухин; ФГУП НИИАТ – М.:НПСТ «Трансколсатинг», 2008.– 68с.
2. Донченко В.К. Актуальные проблемы изучения техногенного загрязнения окружающей среды // Экологическая безопасность. Методологические проблемы экологической безопасности, 2007.– № 1-2(17-18).
3. Тульчинский Г.Л. Обессиленное общество. – М.: Знамя, 2010. – № 1.
4. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
5. ОНТП-01-91. Отраслевые нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта / Росавтотранс. – М.: Гипроавтотранс, 1991. – 184 с.
6. Ильичев В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека. – М.: Градостроительство, 2009. – № 3. – С.20-30.
7. Ильичев В.А. Динамика современных экологических вызовов и некоторые предложения по совершенствованию критериев развития человека с позиции архитектурно-градостроительного комплекса / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, С.А. Воробьев, А.Л. Поздняков // Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2007 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2 т. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. – Т. 2. – С. 367-374.
8. Трофименко Ю.В. Актуальные проблемы инженерной экологии и обеспечения техносферной безопасности автотранспортного комплекса // Техносферная безопасность, 2007. – № 2. – С.46-55.
9. Юрчик П.Ф. Формализация задач принятия решений при управлении проектами обеспечения жизненного цикла автодорожных объектов / П.Ф. Юрчик, А.В. Остроух, А.Г.

- Соленов, И.Н. Акиншина // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2007. – № 3. – С.13 - 15.
10. Федоров В.Ю. К вопросу эффективности управления развитием транспортной системы города // Транспорт: наука, техника, управление, 2007. – № 6. – С.41-44.
 11. Ларин О.Н., Миротин Л.Б. Интегрированная модель транспортной системы регионов Российской Федерации // Транспорт: наука, техника, управление, 2008. – № 1. – С.37-40.
 12. Иващук О.А. Управление экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии, 2009. – № 1/51(562). – С.16-22.
 13. Иващук О.А., Константинов И.С. Теоретические основы построения автоматизированной системы управления экологической безопасностью промышленно- транспортного комплекса. – М: Машиностроение, 2009. – 205 с.
 14. Иващук О.А., Константинов И.С. Обеспечение адаптивного управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2009. – Выпуск 25. – С.96-115.
 15. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений // М.: Мир, 1976. – 166 с.

Константинов Игорь Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы»
Тел.: +7 (4862) 40-96-14
E-mail: konstantinov@ostu.ru

Бакаева Наталья Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: natbak@mail.ru

Г.И. ЛИНЕЦ

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Для двух линий связи представлена геометрическая интерпретация выбора оптимальных пропускных способностей, минимизирующих среднюю задержку сети.

Ключевые слова: оптимизация; пропускные способности; потоки; средняя задержка; стоимость линий связи.

For two communication lines the geometrical interpretation of a choice of optimum throughputs, minimizing an average delay of a network is submitted.

Keywords: optimization; throughputs; flows; average delay; cost of communication lines.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании сетей связи на этапе синтеза структурно-сетевых параметров возникает задача выбора оптимальных пропускных способностей и распределения потоков в линиях связи. В этой задаче переменными являются как пропускные способности линий связи, так и потоки в них. Увеличение пропускных способностей уменьшает среднюю задержку в сети, но увеличивает стоимость, и это является основной особенностью задачи оптимизации. Для каждой линии связи существует зависимость между ее стоимостью и пропускной способностью. Необходимо найти такие значения пропускных способностей и потоков в линиях связи, при которых будут минимальными средняя задержка и стоимость сети. В статье в качестве аналитической модели сети используется система массового обслуживания типа М/М/1.

Дано:

1. Топологическая структура сети, заданная в виде графа $G^* = G(X_B, Y)$, где X_B – множество вершин, Y – множество ребер;
2. Матрица требований J_c , характеризующая тяготения узлов коммутации сети;
3. Вектор потоков в линиях связи $\bar{F} = (F_{1,2}, F_{1,3}, \dots, F_{ij})$, $ij = 1, n$.

Найти:

1. Оптимальные пропускные способности линий связи $\bar{V}_{\text{опт}} = (V_{1,2\text{опт}}, V_{1,3\text{опт}}, \dots, V_{ij\text{опт}})$, минимизирующие среднюю задержку сети

$$T_{\text{cp}}(\bar{V}, \bar{F}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничении функции стоимости линий связи $C_1(\bar{V}) \leq C_{1\text{зад}}$.

2. Представить геометрическую интерпретацию выражения (1).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Ввиду того, что в геометрической форме можно представить исследуемые зависимости только в трехмерном пространстве, определим основные оптимизационные показатели сети для двух линий связи. Будем полагать, что $V_{1,2}$, $V_{1,3}$ – пропускные способности двух линий связи, а $F_{1,2}$, $F_{1,3}$ – их информационные потоки. Проведем совместное решение уравнений, определяющих среднюю задержку T_{cp} и стоимость аренды линий связи C_1 для случая, когда $C_1 \leq C_{1\text{зад}}$ и $T_{\text{cp}} \rightarrow \min$.

С учетом введенных обозначений, T_{cp} определяется зависимостью [1]

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{F_{1,2}}{V_{1,2} - F_{1,2}} + \frac{F_{1,3}}{V_{1,3} - F_{1,3}} \right) \quad (2)$$

при ограничении стоимости аренды линий связи

$$V_{1,2} + V_{1,3} = \frac{C_{1зад}}{k} = b, \quad (3)$$

где: k – коэффициент пропорциональности, характеризующий стоимость аренды линий связи в зависимости от их длины; γ – суммарный поток всех линий связи (трафик сети).

Функция T_{cp} представляет некоторую поверхность в трехмерном пространстве с осями координат: T_{cp} , $V_{1,2}$, $V_{1,3}$. Получим аналитическое выражение линии пересечения, плоскости стоимости с использованием выражения (3), с поверхностью, определяющей среднюю задержку, и которая использует выражение (2). Обозначим $V_{1,2} = x$; $V_{1,3} = y$. Тогда выражения (2) и (3) принимают соответственно вид

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{F_{1,2}}{x - F_{1,2}} + \frac{F_{1,3}}{y - F_{1,3}} \right), \quad (4)$$

$$x + y = b. \quad (5)$$

В плоскости XOY уравнение (5) описывает проекцию прямой, которая пересекает оси X и Y в точках $(0, b)$ и $(b, 0)$ под углом 45° . Для получения аналитического выражения линии пересечения функций (4) и (3) в истинном масштабе, осуществим преобразование координат X и Y в координаты X' и Y'

$$x = x' \cos \alpha - y' \sin \alpha + b = \frac{1}{\sqrt{2}}(x' - y') + b, \quad (6)$$

$$y = x' \sin \alpha + y' \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}(x' + y'), \text{ где угол } \alpha = 45^\circ.$$

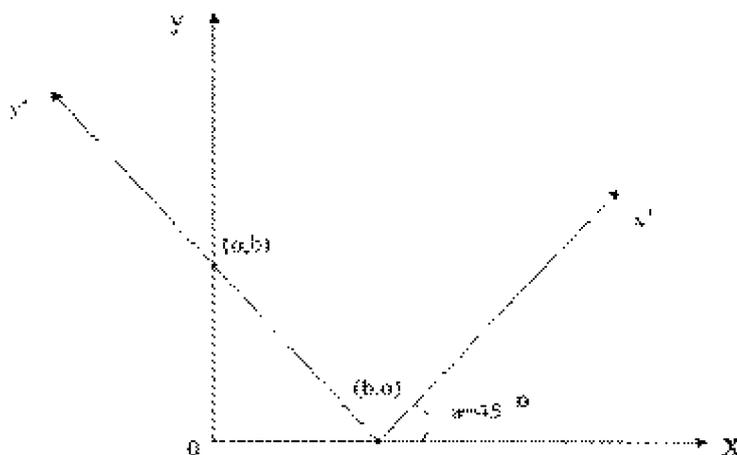


Рисунок 1 – Преобразование системы координат XOY в систему $X'O'Y'$

Старые координаты связаны с новыми координатами выражением (6), смещены относительно начала координат по оси X в положительном направлении на величину b и повернуты в пространстве против часовой стрелки на 45° . Взаимное расположение старых и новых координат представлено на рисунке 1.

Подставим выражение (6) в выражение (4), получим

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{F_{1,2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}(x' - y') + b - F_{1,2}} + \frac{F_{1,3}}{\frac{1}{\sqrt{2}}(x' + y') - F_{1,3}} \right). \quad (7)$$

Зафиксируем значение $x' = 0$. Так как линия пересечения функций (4) и (5), с учетом проведенного преобразования координат, лежит в плоскости $(T_{cp}, 0, y')$, выражение (7) принимает вид

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{F_{1,3}}{\frac{1}{\sqrt{2}}y' - F_{1,3}} + \frac{F_{1,2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}y' - (b - F_{1,2})} \right). \quad (8)$$

Для упрощения вычислений обозначим $z = \frac{1}{\sqrt{2}}y'$. Тогда средняя задержка сети T_{cp} определяется зависимостью

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{F_{1,3}}{z - F_{1,3}} + \frac{F_{1,2}}{z - (b - F_{1,2})} \right). \quad (9)$$

Найдем экстремум функции $\frac{dT_{cp}}{dz} = 0$.

$$(F_{1,3} - F_{1,2})z^2 - 2zF_{1,3}(b - 2F_{1,2}) - F_{1,2}F_{1,3}(F_{1,3} - F_{1,2}) + F_{1,3}b(b - 2F_{1,2}) = 0 \quad (10)$$

Выражение (10) является квадратным уравнением. Определим его корни

$$z_{1,2opt} = \frac{F_{1,3}(b - 2F_{1,2}) \pm \sqrt{F_{1,2}F_{1,3}(b - F_{1,2} - F_{1,3})}}{(F_{1,3} - F_{1,2})}. \quad (11)$$

Переходя к истинным координатам, получим

$$y'_{opt} = \sqrt{2} \frac{F_{1,3}(b - 2F_{1,2}) \pm \sqrt{F_{1,2}F_{1,3}[b - (F_{1,2} + F_{1,3})]}}{(F_{1,3} - F_{1,2})}. \quad (12)$$

Знак «+» в выражении (12) соответствует максимальному значению этой функции за пределами области допустимых решений (y'_{opt2} рис. 2).

Проведя преобразование выражения (12), получим

$$y'_{opt1} = \sqrt{2} \sqrt{F_{1,3}} \frac{\frac{C_{1зад}}{k} + \sqrt{F_{1,2}F_{1,3}} - F_{1,2}}{(\sqrt{F_{1,2}} + \sqrt{F_{1,3}})}. \quad (13)$$

Оптимальное значение y'_{opt1} (13) зависит от стоимости и величины потоков в линиях связи. Для построения линии пересечения функций (4) и (5) в координатах $T_{cp}, 0, y'$ выражение (8) приведем к виду

$$T_{cp} = \frac{\sqrt{2}}{\gamma} \frac{y'(F_{1,3} - F_{1,2}) - \sqrt{2}F_{1,3} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - 2F_{1,2} \right)}{y'^2 - \sqrt{2}y' \left(\frac{C_{1зад}}{k} - F_{1,2} + F_{1,3} \right) + 2F_{1,3} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - F_{1,2} \right)}. \quad (14)$$

Вертикальные асимптоты определим из решения квадратного уравнения

$$y'^2 - \sqrt{2}y' \left(\frac{C_{1зад}}{k} - F_{1,2} + F_{1,3} \right) + 2F_{1,3} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - F_{1,2} \right) = 0,$$

$$y'_{1a} = \sqrt{2} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - F_{1,2} \right); \tag{15}$$

$$y'_{2a} = \sqrt{2} F_{1,3}. \tag{16}$$

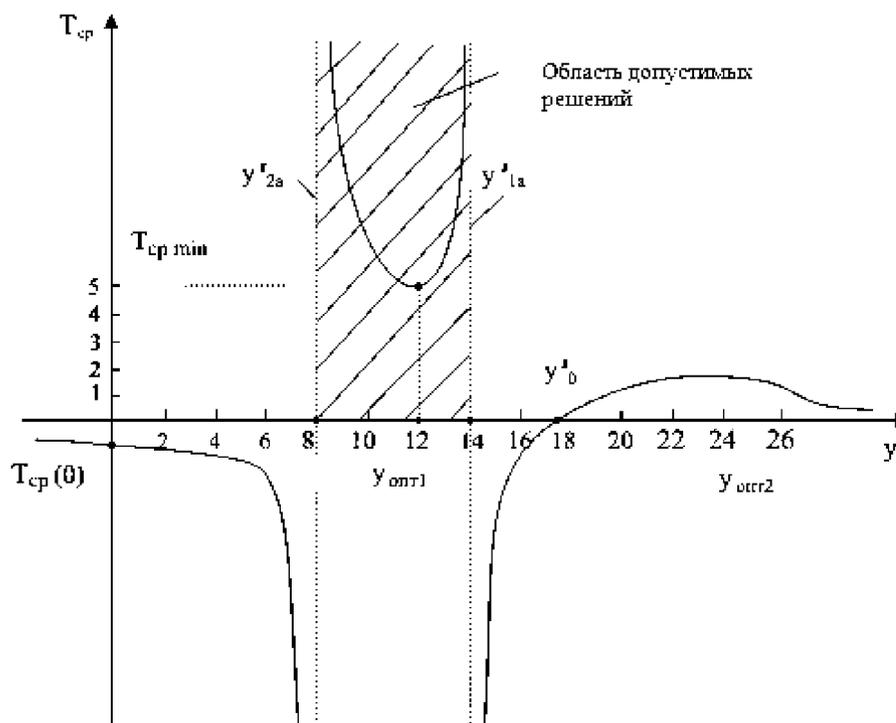


Рисунок 2 – Область допустимых решений для случая $F_{1,2} \neq F_{1,3}$

Исследуемой областью является область между асимптотами y'_{1a} и y'_{2a} , задаваемые выражениями (15) и (16). Определим точки пересечения поверхности T_{cp} выражения (14) с осями координат y' и T_{cp} . При $T_{cp} = 0$

$$y' (F_{1,3} - F_{1,2}) - \sqrt{2} F_{1,3} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - 2F_{1,2} \right) = 0; \tag{17}$$

$$y'_0 = + \frac{\sqrt{2} F_{1,3} \left(\frac{C_{1зад}}{k} - 2F_{1,2} \right)}{F_{1,3} - F_{1,2}}.$$

Отсюда следует, что для исключения насыщения линий связи необходимо выполнить условие $F_{1,2} + F_{1,3} < \frac{C_{1зад}}{k}$.

Кривые зависимости выражения (9) с учетом всех особых точек (17) и область допустимых решений для значений $F_{1,2} = 4$; $F_{1,3} = 9$; $\frac{C_{1зад}}{k} = 18$ представлены на рисунке 2.

Получим геометрическую интерпретацию выбора оптимальных пропускных способностей линий связи, когда $F_{1,2} = F_{1,3}$. Определим среднюю задержку сети

$$\begin{aligned}
 T_{\text{cp}} &= \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2} \left(\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - V_{1,2} - F_{1,2} \right) + F_{1,2} (V_{1,2} - F_{1,2})}{(V_{1,2} - F_{1,2}) \left(\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - V_{1,2} - F_{1,2} \right)} = \\
 &= \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\frac{F_{1,2} C_{1\text{зад}}}{k} - F_{1,2} V_{1,2} - F_{1,2}^2 + F_{1,2} V_{1,2} - F_{1,2}^2}{\frac{V_{1,2} C_{1\text{зад}}}{k} - V_{1,2}^2 - V_{1,2} F_{1,2} - \frac{F_{1,2} C_{1,2}}{k} + F_{1,2} V_{1,2} + F_{1,2}^2} = \\
 &= \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2} C_{1\text{зад}} - k F_{1,2} V_{1,2} - k F_{1,2}^2 + k F_{1,2} V_{1,2} - k F_{1,2}^2}{V_{1,2} C_{1\text{зад}} - k V_{1,2}^2 - k V_{1,2} F_{1,2} - F_{1,2} C_{1,2\text{зад}} + k F_{1,2} V_{1,2} + k F_{1,2}^2} = \\
 &= \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2} C_{1\text{зад}} - 2k F_{1,2}^2}{V_{1,2} C_{1\text{зад}} - k V_{1,2}^2 + k F_{1,2}^2 - F_{1,2} C_{1,2\text{зад}}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{C_{1\text{зад}} F_{1,2} - 2k F_{1,2}^2}{C_{1\text{зад}} (V_{1,2} - F_{1,2}) - k (V_{1,2}^2 - F_{1,2}^2)}. \\
 \end{aligned}$$

Таким образом, получим выражение при $y' = 0$; $T_{\text{cp}}(0) = -\frac{1}{\gamma} \frac{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - 2F_{1,2}}{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - F_{1,2}}$.

Значение минимальной средней задержки определяется из соотношения

$$T_{\text{cp min}} = \frac{1}{\gamma} \frac{(\sqrt{F_{1,2}} + \sqrt{F_{1,3}})^2}{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - (F_{1,2} + F_{1,3})}.$$

Найдем оптимальные значения пропускных способностей линий связи $V_{1,2}$ и $V_{1,3}$

$$V_{1,2\text{опт}} = F_{1,2} + \sqrt{F_{1,2}} \frac{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - (F_{1,2} + F_{1,3})}{\sqrt{F_{1,2}} + \sqrt{F_{1,3}}}; \quad V_{1,3\text{опт}} = F_{1,3} + \sqrt{F_{1,3}} \frac{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} - (F_{1,2} + F_{1,3})}{\sqrt{F_{1,2}} + \sqrt{F_{1,3}}}.$$

Для исключения насыщения линий связи необходимо выполнить условие

$$V_{1,2\text{опт}} > F_{1,2}; \quad V_{1,3\text{опт}} > F_{1,3}.$$

Но, исходя из выражения (3) $V_{1,2\text{опт}} + V_{1,3\text{опт}} = \frac{C_{1\text{зад}}}{k}$, необходимо, чтобы

суммарные потоки в исследуемых линиях связи не превышали величину $\frac{C_{1\text{зад}}}{k}$, получим

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2} (C_{1\text{зад}} - 2k F_{1,2})}{C_{1\text{зад}} (V_{1,2} - F_{1,2}) - k (V_{1,2}^2 - F_{1,2}^2)}. \quad (18)$$

Для нахождения экстремума выражения (18) вычислим частную производную

$$\frac{\partial T_{\text{cp}}}{\partial V_{1,2}} = 0, \text{ получим}$$

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2} (C_{1\text{зад}} - 2kF_{1,2}) (C_{1\text{зад}} - 2kV_{1,2})}{[C_{1\text{зад}} (V_{1,2} - F_{1,2}) - k(V_{1,2}^2 - F_{1,2}^2)]^2} = 0. \quad (19)$$

Выражение $-\frac{1}{\gamma} F_{1,2} (C_{1\text{зад}} - 2kF_{1,2})$ не зависит от $V_{1,2}$ и является постоянной величиной, поэтому $C_{1\text{зад}} - 2kV_{1,2} = 0$. Отсюда

$$V_{1,2\text{опт}} = \frac{C_{1\text{зад}}}{2k}. \quad (20)$$

Подставим (20) в (4) и определим минимальную среднюю задержку

$$T_{\text{ср min}} = \frac{F_{1,2} (C_{1\text{зад}} - 2kF_{1,2})}{C_{1\text{зад}} \left(\frac{C_{1\text{зад}}}{2k} - F_{1,2} \right) - k \left(\frac{C_{1\text{зад}}^2}{4k^2} - F_{1,2}^2 \right)}. \quad (21)$$

Проведя преобразование выражения (21), получим

$$T_{\text{ср min}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{4F_{1,2}}{\frac{C_{1\text{зад}}}{k} + 2F_{1,2}}. \quad (22)$$

Таким образом, выражения (20) и (22) определяют оптимальное значение пропускной способности линии связи $V_{1,2\text{опт}}$ и минимальную среднюю задержку $T_{\text{ср min}}$ сети.

Геометрическая интерпретация исследуемых показателей качества структуры сети представлена на рисунке 3.

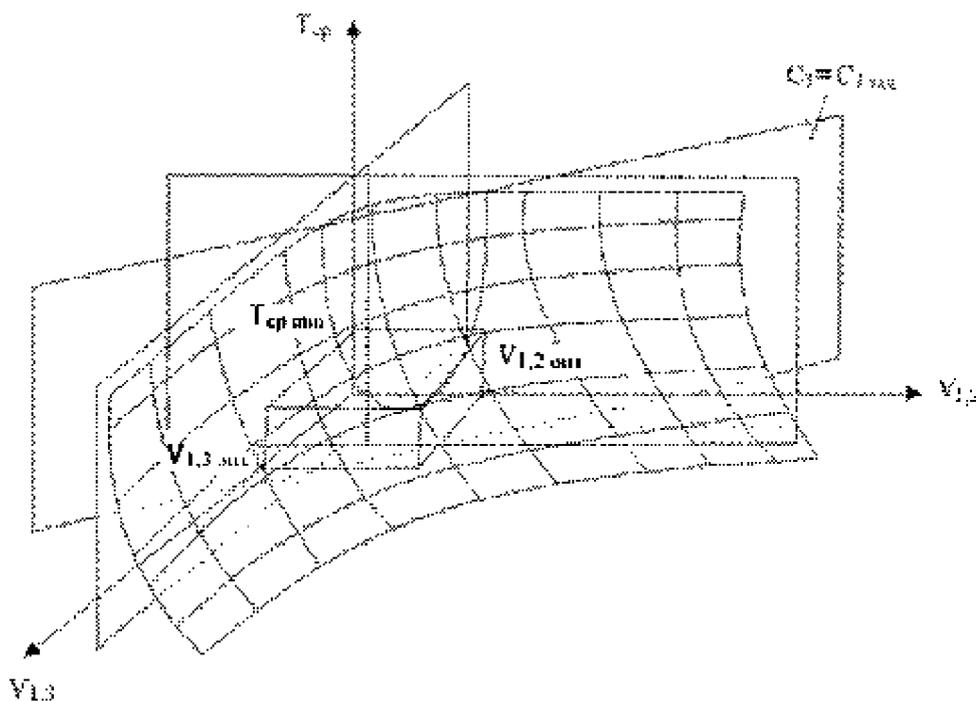


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация показателей качества структуры сети

Определим область допустимых решений исследуемой функции. Приравнивая к нулю знаменатель выражения (19), определим координаты вертикальных асимптот (область изменения $V_{1,2}$) $k(V_{1,2}^2 - F_{1,2}^2) - C_{1\text{зад}}(V_{1,2} - F_{1,2}) = 0$. Отсюда

$$k(V_{1,2} - F_{1,2})(V_{1,2} + F_{1,2}) - C_{1\text{зад}}(V_{1,2} - F_{1,2}) = 0.$$

Тогда

$$(V_{1,2} - F_{1,2})[k(V_{1,2} - F_{1,2}) - C_{1\text{зад}}] = 0. \quad (23)$$

Выражение (23) обращается в нуль в случаях, если:

$$V_{1,2} - F_{1,2} = 0, \quad (24)$$

$$k(V_{1,2} + F_{1,2}) - C_{1\text{зад}} = 0. \quad (25)$$

Соотношения (24) и (25) описывают асимптоты и определяют область изменения $V_{1,2}$. Экстремум функции (18) определяется выражением (22), а область допустимых решений находится между асимптотами выражений (24) и (25). Из выражений (24) и (25) находим граничные координаты, где $T_{\text{ср}}$ претерпевает разрыв

(рис. 4) $V_{1,2a} = F_{1,2}$; $V_{1,2б} = \frac{C_{1\text{зад}}}{k} - F_{1,2}$.

Горизонтальной асимптотой выражения (18) является ось $V_{1,2}$, так как

$$\lim_{V_{1,2} \rightarrow \pm\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{F_{1,2}(C_{1\text{зад}} - 2kF_{1,2})}{C_{1\text{зад}}(V_{1,2} - F_{1,2}) - k(V_{1,2}^2 - F_{1,2}^2)} = 0.$$

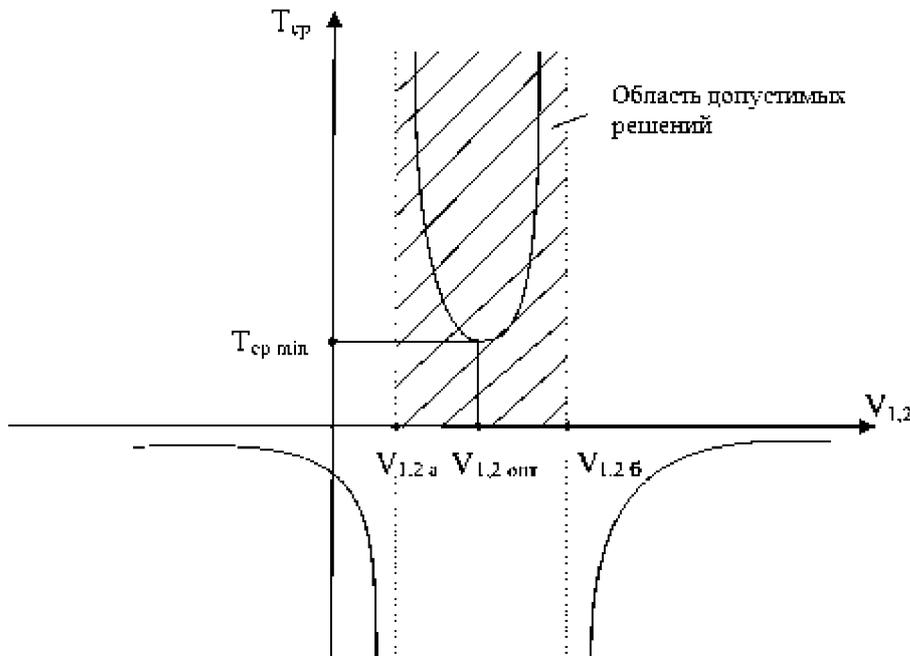


Рисунок 4 – Область допустимых решений для случая $F_{1,2} = F_{1,3}$

ВЫВОДЫ

Таким образом, в статье получена геометрическая интерпретация оптимизации пропускных способностей двух линий связи в случаях разных и равных потоков при ограничении их стоимости и минимизации средней задержки сети. Она позволяет определить область допустимых решений и выбрать оптимальные пропускные способности линий связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линец Г.И., Фомин Л.А. Определение оптимальных пропускных способностей линий связи вторичной сети: сборник научных трудов // Информационные системы. – Вып. 1(12). – Национальная академия наук Украины, Петровская академия наук и искусств. – Харьков: Харьковский военный университет, 1999. – 121 с.

Линец Геннадий Иванович

Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизированные системы
обработки информации и управления»
Тел.: (8652) 72-52-24
E-mail: kbytw@mail.ru

УДК 510.54, 514.115, 514.172, 519.147, 519.651, 519.682.6

Е.Ю. МАШИНСКАЯ

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ ОХРАННОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ПЕРИМЕТРУ ОБЪЕКТА

Статья посвящена оптимизации размещения камер по периметру объекта. Представлены разработанные автором алгоритмы для оптимального, с точки зрения покрываемой площади, размещения камер по периметру контролируемого объекта при определенных вариантах его геометрии. Используются следующие математические методы – аналитическая геометрия, кубические сплайны, задача о покрытии множества, комбинаторная геометрия.

Ключевые слова: охрана территории; оптимальное расположение; камера; максимальная площадь покрытия; область обзора камеры; аппроксимация; интерполяция; аналитическая геометрия; сплайны; задача о покрытии множества.

The article is devoted to optimizing the placement of cameras along the object's perimeter. The algorithms developed by the author generate an optimal camera arrangement pattern for area coverage depending on the object's geometry are presented. The following mathematical methods: analytic geometry, cubic splines, the task of covering the set, combinatorial geometry has been used.

Keywords: patrolling; optimal arrangement; camera; maximum area coverage; surveillance camera coverage area; approximation; interpolation; analytic geometry; splines; set covering problem.

ВВЕДЕНИЕ

В задачах наблюдения за объектом, идентификации нарушителя территории и дальнейшего отслеживания развития ситуации с высокой степенью информативности необходимо найти компромисс между набором необходимых компонентов системы охранной телевизионной (СОТ) и возможностями выбираемого оборудования. В условиях ограниченного бюджета СОТ должна являться инструментом, предоставляющим адекватное решение задач принятого для объекта уровня обеспечения безопасности, в первую очередь – задач противодействия противоправным действиям предполагаемого нарушителя [1].

Вопросы оптимального размещения камер и задачи покрытия (Set Cover Problem, SCP) исследуются большим кругом специалистов. Эти задачи являются актуальными на сегодняшний день и разрабатываются во всех возможных направлениях. Впервые задачу картинной галереи (The Art Gallery Problem, AGP) сформулировал Виктор Кли (Victor Klee), которая заключается в определении минимального числа камер достаточного для покрытия внутренней площади картинной галереи, ограниченной n -стенами. Позже были введены некоторые изменения в AGP, например, размещение камер ограничивается вершинами полигона и камеры имеют угол обзора 360 градусов. В области вычислительной геометрии значительный прогресс был достигнут в решении оптимального покрытия многоугольной области. Хотя и существуют эффективные алгоритмы [2, 3, 4], точное решение оказалось NP-трудным. Задача размещения камер в [5] решается с учетом траектории движения объекта по охраняемой территории. Траектория движения объектов рассчитывается по собранным статистическим данным перемещений по

охраняемой территории. Существует достаточно много приложений, реализующих описанные алгоритмы и представляющих решения размещения камер как на плоскости, так и в пространстве [6, 7, 8].

Автор предлагает новые подходы повышения эффективности использования СОТ посредством оптимального размещения камер по периметру объекта. Решение задачи достигается путем минимизации площадей пересечений областей обзора камер и минимизации площадей «мертвых» зон. Это позволит уменьшить количество используемого оборудования и улучшить работу системы посредством максимального покрытия периметра объекта обзорами камер.

СОТ является основной системой, в большей или меньшей мере интегрирующей все составляющие комплексной системы безопасности. Определения основных терминов, используемых в статье, содержатся в ГОСТ Р 51558-2000, который принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 26 января 2000 г. № 16-ст. Данный стандарт распространяется на вновь разрабатываемые и модернизируемые охранные телевизионные системы, предназначенные для использования в целях защиты людей и имущества на охраняемых объектах от преступных посягательств, и устанавливает общие технические требования и методы испытаний.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим постановку задачи установки СОТ для защиты объекта по периметру. Объект в общем случае представляет собой неограниченную территорию с расположенными на ней устройствами или строениями (например, промышленные трубопроводы, железнодорожные пути, складские помещения и т.п.). На этой территории или границе периметра необходимо расставить оборудование для покрытия максимально возможной площади вне объекта произвольно заданным набором камер.

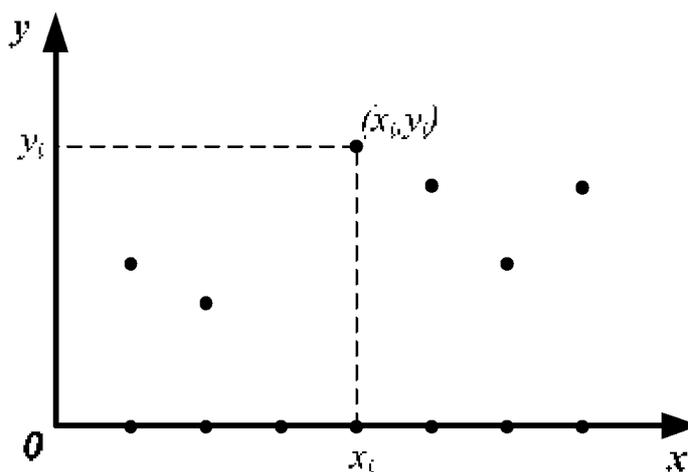


Рисунок 1 – Представление набора опорных точек на плоскости

Математическая часть задачи заключается в следующем: граница территории представляется в виде некоторой кривой, представленной в виде набора опорных точек, вдоль которой размещаются камеры.

Получение искомой гладкой кривой, описываемой массивом выделенных опорных точек, разбивается на следующие этапы: задание подходящего набора

опорных точек (рис.1) и разработка универсального способа построения кривой. Выбор элементарных фрагментов, представляющих собой отрезки гладких кривых, должен быть таким, чтобы их описание было простым, геометрически наглядным и универсальным.

Можно использовать два подхода к построению кривой. Первый способ предполагает использование элементов аналитической геометрии. Рассматриваются три находящиеся рядом точки K, L и M (рис.2). Для векторов \vec{a} и \vec{b} точка L является общей точкой. Вектор \vec{c} максимально приближен к искомой кривой и вычисляется как сумма векторов \vec{a} и \vec{b} . Необходимо найти середину вектора \vec{c} – координаты точки N. Середина вектора \vec{c} вычисляется по формуле (1):

$$\vec{c} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b}) \quad (1)$$

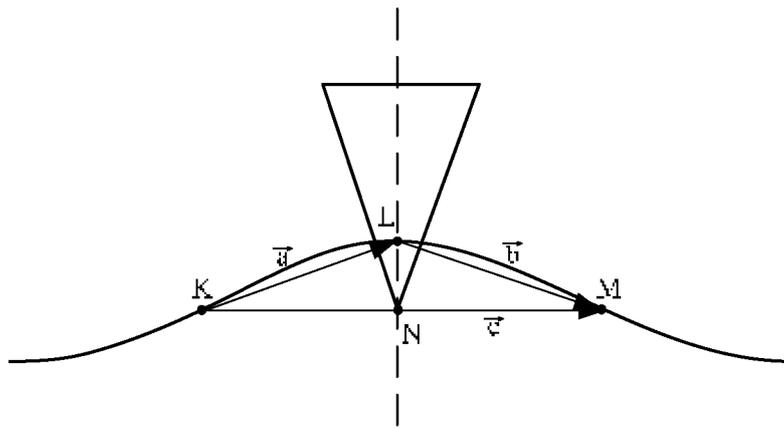


Рисунок 2 – Получение вектора \vec{c} и построение проекции области обзора камеры

Перпендикуляр является высотой треугольника (в т.ч. определяет задаваемый параметр – дистанция распознавания камеры). В декартовой прямоугольной системе координат вектор \vec{c} с компонентами $((x_M - x_K); (y_M - y_K))$ перпендикулярен прямой, заданной уравнением $Ax + By + C = 0$. Для нахождения коэффициента C подставим в это выражение координаты полученной точки N [9]. Использование методов аналитической геометрии не всегда является оптимальным в связи со значительным объемом производимых вычислений.

Второй способ построения кривой, рассматриваемый для решения поставленной задачи – метод с применением кубических сплайнов.

Выбор граничных (краевых) условий является одной из основных задач при интерполяции функций, когда необходимо обеспечить высокую точность аппроксимации функции сплайном вблизи концов отрезка с учетом угла наклона [10,11]. Основной характеристикой камеры является область обзора, которая зависит от таких параметров, как угол обзора камеры (α) и дистанции распознавания (d).

Поставленную задачу можно решить двумя способами: как задачу в пространстве и задачу на плоскости. В первом случае при рассмотрении расположения камеры в пространстве зона проекции наблюдения из треугольника сначала преобразуется в трапецию или в прямоугольник в зависимости от высоты (h), на которую поднимается камера (рис. 3). Во втором случае высота (h) не учитывается, поэтому задача в пространстве сводится к задаче на плоскости, что значительно

упрощает ее решение. Следовательно, за область обзора камеры принимается треугольник, вершина которого лежит на кривой.

После вычисления координат вершин треугольников рассчитываются площади каждого из них. Область обзора при расположении опорных точек на одинаковом расстоянии имеет следующий вид (рис. 4):

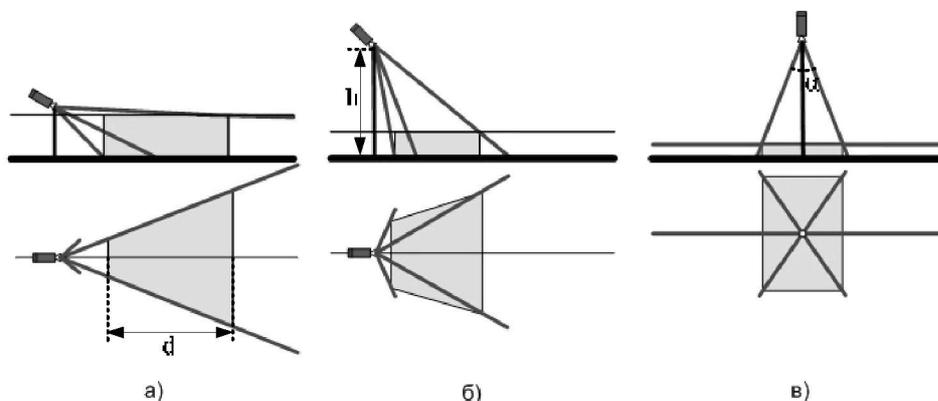


Рисунок 3 – Проекция областей обзора камер

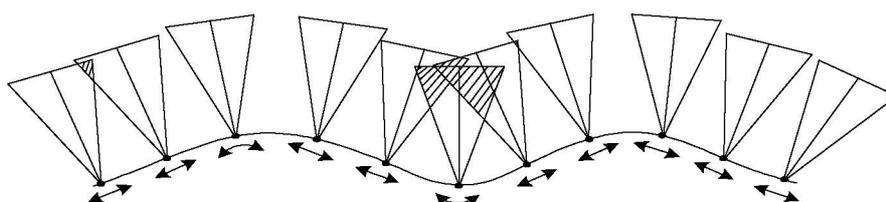


Рисунок 4 – Область обзора

Расчет площади покрытия при пересечении двух треугольников выполняется по формуле (2):

$$S_{общ} = 2 \cdot S_{тр-ка} - S_{пересеч.} \quad (2)$$

Общая площадь покрытия представляет собой сумму площадей треугольников с учетом их пересечений [12].

1. Поиск максимального покрытия площади. Поиск оптимального расположения камер реализуется способом случайного поиска опорных точек (рис.4).

2. Сравнение всех получившихся общих площадей покрытия при различных вариантах расположения опорных точек для определения максимальной из них.

Результаты работы алгоритма по шагам представлены на рисунке 5 (а, б).

На рисунке 5,а представлено размещение треугольников по заданным опорным точкам, приняты условные единицы измерения по осям координат, расчет площади покрытия и мертвой зоны. На рисунке 5,б представлено оптимальное расположение треугольников для заданного периметра объекта при максимально покрытой площади. В результате оптимального расположения камер площадь покрытия увеличилась при сокращении площади мертвой зоны.

Рассмотрим объект, который представляет собой охраняемую территорию, ограниченную выпуклой кривой. Требуется охватить максимально возможную площадь заданным набором треугольников разных размеров и минимизировать количество используемых камер.

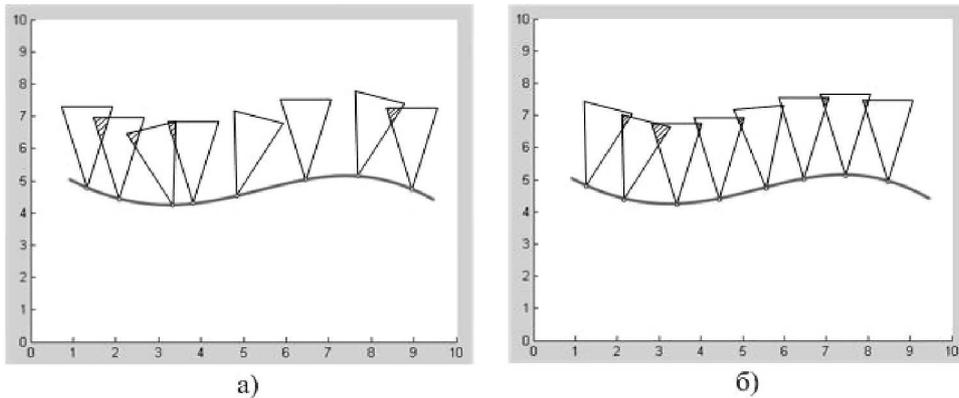


Рисунок 5 – Покрывание области

Решение поставленной задачи определяется с помощью использования алгоритмов дискретной оптимизации.

Из рассмотренных задач о покрытии в [10] используется жадный алгоритм. Выбираются множества, руководствуясь следующим правилом: на каждом этапе выбирается множество, покрывающее максимальное число ещё не покрытых элементов. Для задач, решаемых жадными алгоритмами, характерны две особенности: во-первых, к ним применим принцип жадного выбора, а во-вторых, они обладают свойством оптимальности для подзадач [13].

Решение задачи состоит из следующих этапов:

1. Алгоритм поиска диаметра области.

В первую очередь, выпуклая область произвольным образом разбивается на множество точек $A(x_i; y_i)$. Диаметр исследуемой области можно вычислить следующим способом:

- из массива данных $A(x_i; y_i)$ выбираем наименьшее значение x ;
- фиксируем координаты точки с выбранным x : $O(x_{min}; y_i)$;
- рассчитываем длину отрезка между выбранной точкой $O(x_{min}; y_i)$ и оставшимися точками массива $A(x_i; y_i)$. Наибольшее значение длины отрезка является диаметром данной области.

2. Алгоритм покрытия площади выпуклой области наибольшим из имеющихся треугольников.

Выбирается наибольший по размеру треугольник из имеющегося набора для покрытия выпуклой области (рис.6 а, б, в).

После первого полного прохода цикла алгоритмов получаем две новые выпуклые области. К каждой полученной новой области применяется полный цикл алгоритмов, выполненных для заданной области. Результаты работы алгоритма по шагам (три первые расчета) представлены на рисунке 6 (а, б).

Отметим, что для получения достоверных видеоданных нужно вести наблюдение из двух или более точек обзора. Для этого необходимо располагать камеры друг напротив друга. Поэтому расположение камер из одной точки не всегда является оптимальным. На рисунке 6,в представлен вариант расположения камер друг

напротив друга, что увеличивает площадь покрытия, следовательно, приводит к уменьшению количества использованных треугольников (камер).

Задача покрытия области ограниченной невыпуклой кривой сводится к ее разбиению на подобласти, ограниченные выпуклыми кривыми с применением алгоритма для каждой из них, описанного выше.

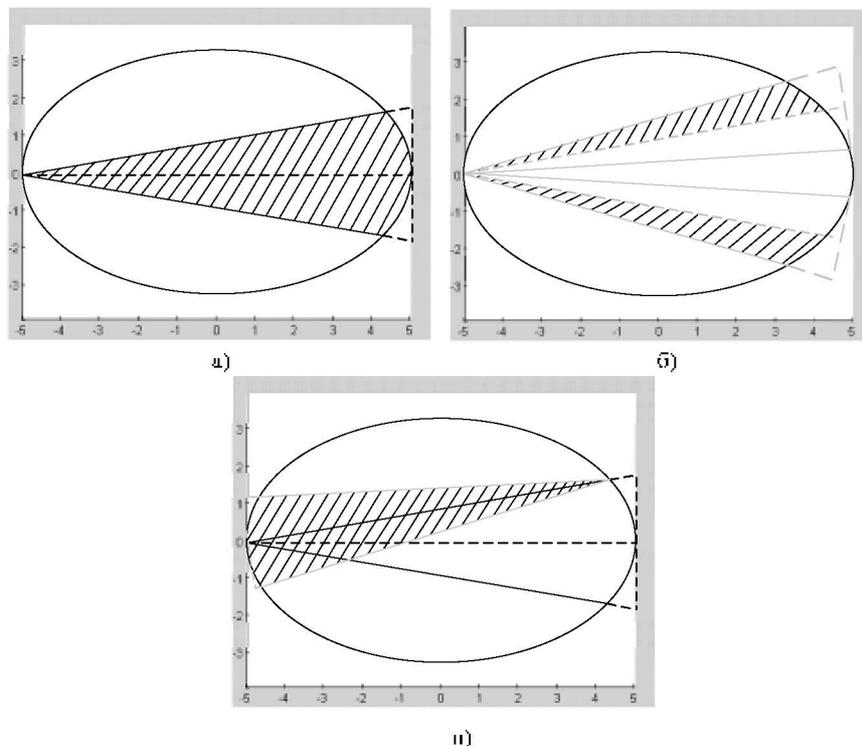


Рисунок 6 – Покрытие выпуклой области

ВЫВОДЫ

Алгоритмы имеют следующие ограничения:

- площадь обзора ограничивается техническими возможностями камер, например, дистанцией распознавания;
- расположение камер только с одной стороны периметра объекта приводит к увеличению непокрытой площади объекта или к увеличению количества камер;
- для невыпуклой области возникает проблема разбиения на выпуклые подобласти.

В результате проведенных исследований для решения поставленных задач были разработаны математические модели, на основе которых создано алгоритмическое и программное обеспечение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51558-2000 «Системы охранные телевизионные. Общие технические требования и методы испытаний» от 26 января 2000 г. № 16-ст. – 15 с.
2. Marcelo C. Couto, Cid C. de Souza, Pedro J. de Rezende Strategies for Optimal Placement of Surveillance Cameras in Art Galleries. – GraphiCon, 2008.
3. Ugur Murat Erdem, Stan Sclaroff Automated Placement of Cameras in a Floor plan to Satisfy Task-Specific Constraints. – Department of Computer Science, Boston University, 2003.
4. Joseph O'Rourke Art Gallery Theorems and Algorithms. – Oxford University Press, New York, 1987.
5. Bodor Robert, Schrater Paul, Papanikolopoulos Nikolaos. Optimal Camera Placement for Automated Surveillance Tasks. – Journal of Intelligent and Robotic Systems 50(3): 257-295, 2007.

6. Eleanor G. Rieffel, Andreas Girgensohn, Don Kimber, Trista Chen, Qiong Liu Geometric Tools for Multicamera Surveillance Systems. – ICDSC 2007: 132-139, 2007.
7. J. Williams and W.-S. Lee Interactive virtual simulation for multiple camera placement. – in Harpic Audio Visual Environments and their Applications: 124-129, 2006.
8. Yang T., Chen F., Kimber D. and Vaughan Robust J. people detection and tracking in a multi-camera indoor visual surveillance system. – ICME 2007, 2007.
9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
10. Еремеев А.В., Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования. Дискретный анализ и исследование операций. Сер.2. 2000. Т.7, N 2 – С.22-46.
11. Томас Х. Кормен и др. Алгоритмы: построение и анализ. – 1-е изд.– М.: Московского центра непрерывного математического образования, 2001. – 889-892 с.
12. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. – 464 с.
13. Розен В.В. Цель, оптимальность, решение. Математические модели принятия решений. – М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.

Машинская Елена Юрьевна

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск

Аспирант кафедры «Автоматика и системы управления», научный руководитель: Файзуллин Р.Т.

E-mail: ElenaM13@gmail.com

УДК 004.491.22

М.Ю. КОНЫШЕВ, А.В. ПАНКРАТОВ, С.В. ШИНАКОВ, Е.М. УТЯНСКИЙ

МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНОГО ИСТОЧНИКА ОШИБОК В ЦИФРОВЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Дан краткий обзор существующих моделей цифровых каналов связи, предложен способ описания цифрового канала связи на основе дискретного источника ошибок, приведены результаты эксперимента по исследованию распределения ошибок в реальном канале спутниковой связи, предложен способ уменьшения объема вычислений для описания реальных цифровых каналов связи.

Ключевые слова: дискретный канал связи; источник ошибок; распределение вероятностей векторов ошибок; интервальное описание цифровых последовательностей.

A basic review of existing models of digital communication channels is given. A method of description of digital communication channels based on discrete mistake source is casted. Products of experiment in real satellite channels are given. And a method of computing volume reduction is given which is using for description of digital communication channels.

Keywords: discrete communication channel; errors source; error vectors distribution of probability; interval description of the digital sequences.

Для современного этапа развития систем передачи информации характерно увеличение пропускной способности и помехоустойчивости при одновременном снижении требуемого отношения сигнал/(шум+помеха). Однако в некоторых случаях приемник находится в условиях худших, чем минимально необходимые для данных систем связи. При этом для обеспечения требуемого качества приема возникает необходимость разработки адекватных математических моделей процессов, протекающих и реализуемых в системах радиоприема и применяемых на их основе алгоритмов обработки.

Рассмотрим дискретный канал, образуемый между выходом кодера канала и выходом демодулятора модели СПИ, представленной на рисунке 1. Функции элементов данной модели достаточно подробно описаны в литературе [1].

При использовании m -ичных блоковых (n, k) -кодов на вход кодера канала последовательно поступают сообщения a_i длиной k символов из множества $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{m^k}\}$ с заданным на нем распределением вероятностей $p(A) = \{p(a_0), p(a_1), \dots, p(a_{m^k})\}$. Кодер канала, в соответствии с законом формирования помехоустойчивого кода, преобразует каждое поступающее сообщение в соответствующую разрешенную комбинацию кода x_j из n символов из множества $X = \{x_0, x_1, \dots, x_{m^k}\}$ с распределением вероятностей $p(X) = \{p(x_0), p(x_1), \dots, p(x_{m^k})\}$. Поскольку преобразование сообщения в код является взаимно-однозначным отображением, распределения вероятностей кодовых комбинаций источника сообщений и разрешенных кодовых комбинаций на выходе кодера равны $p(A) = p(X)$.

При передаче кодированного сообщения по каналу связи на него действуют шумы и помехи, которые можно представить в виде векторов ошибки из n символов

из множества $E = \{e_0, e_1, \dots, e_{m^n}\}$ с заданным на нем распределением вероятностей $p(E) = \{p(e_0), p(e_1), \dots, p(e_{m^n})\}$.

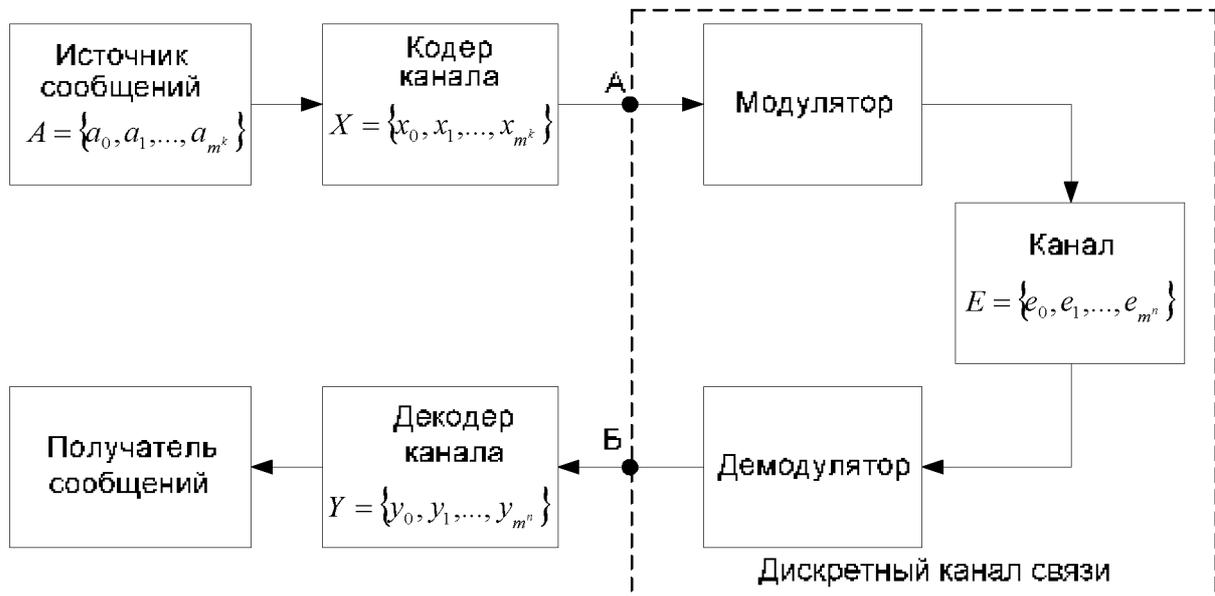


Рисунок 1 – Общая схема системы передачи информации

Вариант обобщенной эквивалентной схемы дискретного канала связи при таком описании представлен на рисунке 2. Здесь цифровой канал связи ограничен точками А – вход модулятора и Б – выход демодулятора.

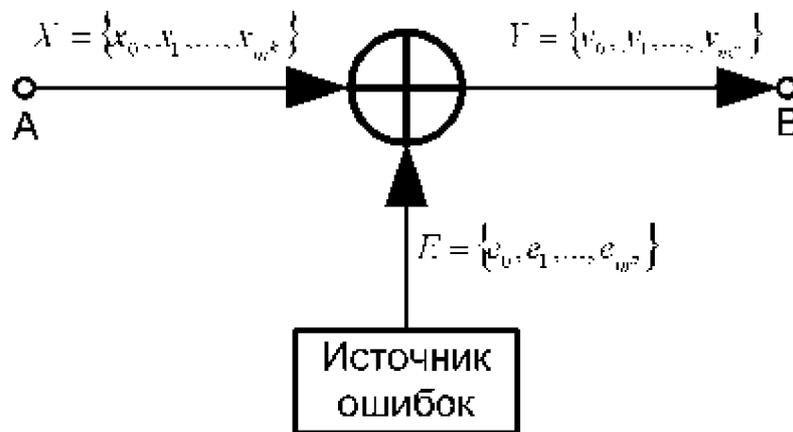


Рисунок 2 – Обобщенная эквивалентная схема дискретного канала связи

В результате искажений, возникающих при передаче сообщения по непрерывному каналу, на вход декодера поступает множество сообщений $Y = \{y_0, y_1, \dots, y_{m^n}\}$ из n символов, с распределением вероятностей

$$p(Y) = \left\{ \sum_{d=0}^{d=m^n-1} p(y_d) \right\}, \quad (1)$$

где

$$p(y_d) = \sum_i^{i=m^k-1} p(x_i, e_s = y_d \oplus x_i), \quad (2)$$

где \oplus – операция сложения по модулю m ;

e_s – вектор ошибки, переводящий разрешенную комбинацию x_i в принятую комбинацию y_d .

В случае, когда источник сообщения и источник помех независимы

$$p(y_d) = \sum_{i=0}^{i=m^k-1} p(x_i)p(e_s = y_d \oplus x_i). \quad (3)$$

В [1], [2], [3], [4] достаточно подробно изложены различные подходы к описанию дискретных каналов связи и соответствующие им модели. В настоящее время в качестве универсальной модели дискретного спутникового канала связи в большинстве случаев принимается модель постоянного симметричного канала без памяти [1], [3]. В таком канале каждый переданный символ может быть ошибочно принят с фиксированной вероятностью p и правильно с вероятностью $1-p$. Подобная модель с допустимой точностью подходит для каналов связи с высокой энергетикой без замираний, в которых основной вклад вносит аддитивный белый гауссовский шум, а не помехи [4]. Вероятность того, что произошло l ошибок различной конфигурации в последовательности длиной n символов, определяется формулой Бернулли:

$$P(l) = C_n^l p^l (1-p)^{n-l}, \quad (4)$$

где $C_n^l = \frac{n!}{l!(n-l)!}$ – биномиальный коэффициент, т.е. число различных сочетаний из l ошибок в последовательности, длиной n символов. Поэтому такой канал часто называют биномиальным.

Однако в настоящее время большую роль в помеховой обстановке играют замирания, различного рода помехи (в т.ч., взаимные) и другие и дискретным отображением большинства радиоканалов является дискретный канал с памятью. Такие каналы, как правило, описываются с помощью марковской модели, которую полностью описывает матрица переходных вероятностей

$$M = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mm} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где p_{ij} – вероятность появления j -го символа при условии, что перед ним был i -й символ, m – количество слов в выходном алфавите канала. При этом для двоичных каналов $m = 2^n$, где n – количество символов в слове. Отсюда следует основной недостаток данной модели: с увеличением длины слова n их количество m , следовательно, и вычислительная сложность, растет по показательному закону. Это делает практически невозможным применение данной модели на практике.

Несколько более успешно используются модели Гильберта и Пуртова [1], однако для большинства реальных каналов связи они обладают недостаточной адекватностью.

Наиболее адекватной моделью дискретного канала связи можно считать табличное задание вероятностей появления векторов ошибок различной конфигурации. Имея такую таблицу можно найти и условные вероятности $P(\hat{X}_j / X_i)$ приема кодовой комбинации \hat{X}_j при условии, что передавалась кодовая комбинация X_i . Но сложности при реализации подобной модели такие же, как и в случае марковской. Кроме того, нахождение подобных вероятностей требует передачу по каналу связи известных тестовых последовательностей, что не всегда возможно.

Для исследования реального распределения ошибок в цифровом канале, входящем в спутниковый канал связи, был проведен следующий эксперимент.

Канал связи организовывался модулятором *ComStream DMD-15* и демодулятором *ComStream CDM-600* в режиме *test-2047*. Вид модуляции – *QPSK-64000*, дифкодирование включено. Отношение сигнал/(шум+помеха) (ОСШ) менялось путем отклонения приемной антенны. Были записаны реализации тестового сигнала при ОСШ 4,1 дБ, 2,8 дБ, 2,4 дБ и 1,5 дБ объемом ≈ 2 МБ каждая. При скорости 64 кБит/с это соответствует длительности сигнала около 4,2 мин. Для каждой из реализаций получен вектор ошибок путем сложения по mod2 с исходной тестовой последовательностью. Средняя по реализациям вероятность ошибки $p_{\text{ош ДМ}}$ на выходе демодулятора была, соответственно, $p_{\text{ош ДМ4,1}} = 0,0255$, $p_{\text{ош ДМ2,8}} = 0,0536$, $p_{\text{ош ДМ2,4}} = 0,0617$ и $p_{\text{ош ДМ1,5}} = 0,0903$.

В качестве оценки вероятности появления векторов ошибок различных весов было взято отношение

$$P_{E_S}^* = \frac{m_{E_S}}{n}, \quad (6)$$

где $P_{E_S}^*$ – статистическая вероятность появления вектора ошибки E_S весом S , m_{E_S} – количество векторов ошибки с данным весом, n – объем выборки.

Согласно [5], необходимо определить необходимый объем n выборки для оценки P_{E_S} с требуемой надежностью $\beta \langle P_{E_S} \rangle$ и точностью $\varepsilon \langle P_{E_S} \rangle$. При анализе качества статистического оценивания обычно принимают $\beta \in [0,9; 0,99]$ [12]. Было взято $\beta = 0,95$. Выбор значения $\varepsilon \langle P_{E_S} \rangle$ зависит от требуемой точности оценки вероятностей. Т.к. вероятности появления векторов ошибки с весами меньше 3 являются величинами 10^{-3} и большего порядка малости, выбрано $\varepsilon = 0,001$. Для

обеспечения выбранных надежности и точности из справочных данных, приведенных в [6], было определено $n \geq 345744$.

Для каждой из реализаций было сделано по 14 непересекающихся выборок, объемом 400000 бит каждая. Для каждой выборки, согласно (6), получены распределения частот появления векторов ошибок различного веса. Гистограмма распределений частот появления векторов ошибок, полученная при анализе всей реализации для ОСШ 4,1 дБ, показана на рисунке 3. В качестве примера на рисунке 4 приведена гистограмма распределения частот появления векторов ошибок, полученная при анализе одной из четырнадцати выборок.



Рисунок 3 – Гистограмма частот появления векторов ошибок, полученная при анализе всей реализации

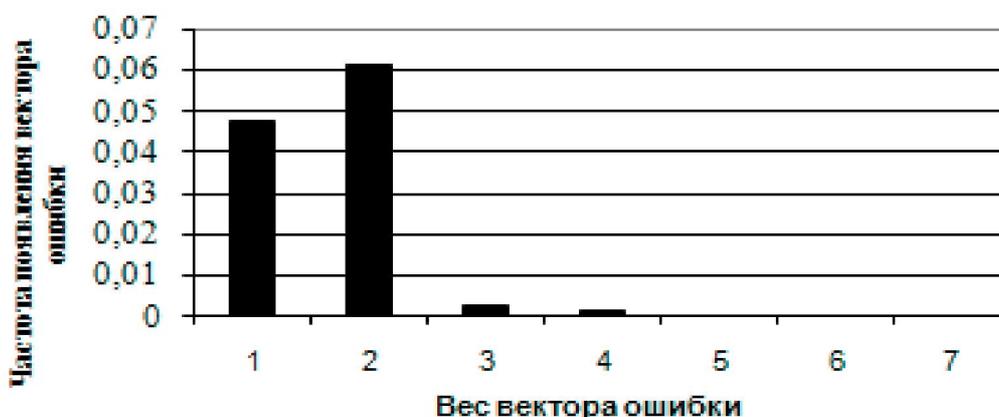


Рисунок 4 – Гистограмма частот появления векторов ошибок, полученная при анализе одной выборки

Кроме того, на рисунке 5 представлен график квадратов отклонений оценок вероятностей векторов ошибок в выборках от вероятностей во всей последовательности, построенный по формуле

$$\Delta P = \sum_{l=0}^7 (p(e_l) - p(e_l^*))^2, \quad (7)$$

где $p(e_l)$ – статистическая вероятность появления вектора ошибки весом l , вычисленная по всей реализации, $p(e_l^*)$ – статистическая вероятность появления вектора ошибки весом l , вычисленная по отдельной выборке.

На основе этого графика можно сделать вывод о неизменности распределения (по крайней мере, на периоде наблюдения сигнала). Т.е. по статистике выборки можно говорить о статистике всего сигнала.

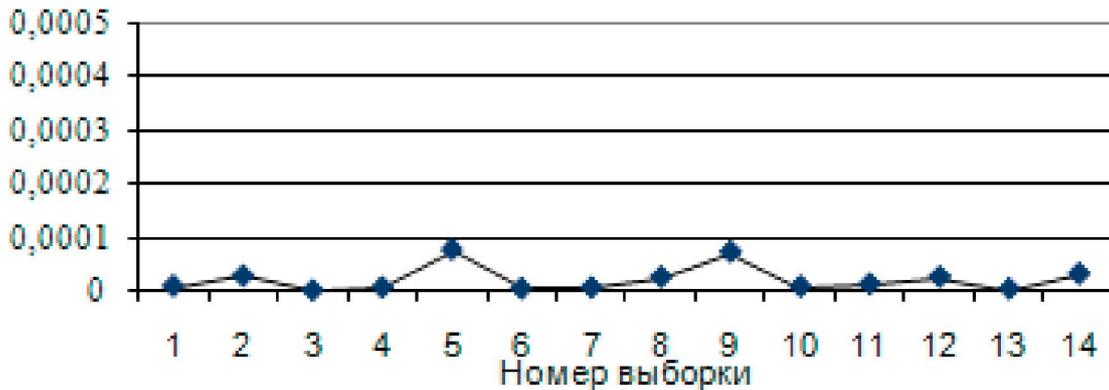


Рисунок 5 – Отклонения распределений векторов ошибок в выборках от полной реализации

Из полученных распределений видно, что они отличаются от биномиального (показанного для той же вероятности ошибки на рисунке 6) не только вероятностями, но и общим видом закона распределения. При проверке соответствия полученного распределения биномиальному по критерию согласия χ^2 [7] вычисленные значения на порядок превышали максимальное значение χ^2 для семи степеней свободы. Следовательно, полученное распределение соответствует биномиальному с уровнем значимости $\alpha \ll 0.001$, что позволяет утверждать, что биномиальный закон распределения не выполняется. Это справедливо и для распределений, полученных при других ОСШ.



Рисунок 6 – Распределение вероятностей появления векторов ошибок различного веса в случае биномиального распределения.

Следовательно, декодер, построенный по правилу МП и минимизирующий вероятность ошибки декодирования в условиях биномиального распределения ошибок и в указанных условиях являющийся оптимальным, на практике не будет таковым.

Получить статистику распределения векторов ошибок можно на основе передачи известных тестовых последовательностей (при тестировании канала связи). При отсутствии такой возможности оценку можно проводить на априорно известных участках передаваемой информации (например, синхροкомбинации, служебные слова, биты заполнения и т.д.)

Основная проблема такого описания в экспоненциальном возрастании объема вычисляемых данных при увеличении длины оцениваемых векторов ошибок.

В [2] предложен интервальный способ описания двоичных последовательностей, при котором двоичная последовательность разбивается на отрезки, состоящие только из нулей и только из единиц. Числа нулей и единиц в этих отрезках можно обозначить соответственно α и β . Тогда любая цифровая последовательность может быть представлена последовательностью пар чисел, указывающих длины серий нулей и единиц.

Например, для последовательности 001000000000001000000110100001 распределение интервалов: 2(1)12(1)6(2)1(1)4(1) (в скобках – длины единиц). Использование такого представления позволит, кроме сжатия объема исходных данных, существенно сократить количество оцениваемых векторов ошибок. Например, если во всей последовательности отсутствуют серии единиц длиной больше k , то из оценки можно исключить векторы ошибок, в конфигурации которых присутствуют k и более подряд идущих единиц. Рассуждая подобным образом, можно составить список векторов ошибок, отсутствующих в исходной цифровой последовательности.

Полученные результаты можно использовать для создания новых статистических алгоритмов обработки цифровых последовательностей, например, для алгоритма декодирования по критерию минимального среднего риска. Также можно модифицировать и существующие алгоритмы декодирования с учетом полученных распределений (произвести перераспределение наиболее вероятных запрещенных кодовых комбинаций в сферах декодирования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зюко А. Г. Теория электрической связи / Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М. В.; под ред. Кловского Д. Д. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
2. Блох Э.Л. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации / Попов О. В., Турин В. Я. – М.: Связь, 1971. – 312 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
4. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – Советское радио, 1970. – 728 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. школа, 1977. – 478 с.
6. Юсупов В.М. Статистические методы обработки результатов наблюдений / Петухов Г. Б., Сидоров В. Н., Городецкий В. И., Марков В. М. – Министерство обороны СССР, 1984. – 563 с.

7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВУЗов / Семендяев К. А. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Коньшев Михаил Юрьевич

Академия ФСО России, г. Орел
Старший научный сотрудник Академии ФСО России
Тел.: 8-4862-419922

Панкратов Алексей Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел
Преподаватель Академии ФСО России
Тел.: 8-4862-419922

Шинаков Сергей Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел
Адъюнкт Академии ФСО России
Тел.: 8-4862-419922

Утянский Евгений Михайлович

Академия ФСО России, г. Орел
Адъюнкт Академии ФСО России
Тел.: 8-4862-419922

А.П. ФИСУН, Ю.А. БЕЛЕВСКАЯ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРАВО КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННОМУ ТЕРРОРИЗМУ

Доказана необходимость развития теоретического базиса информационной науки, а также информационного права с целью обеспечения глубокого и всестороннего изучения основных объектов общественных отношений современного общества – информации, информационных систем, процессов и их свойств, эффективного регулирования информационных прав и свобод человека и гражданина, противодействия информационному терроризму и обеспечения информационной безопасности информационного общества.

Ключевые слова: информационная безопасность; информационное общество; информационное право; информационный терроризм.

This is necessity of development of theoretical basis of an information science and also the information right for the purpose of purposely of deep and all-round studying of the basic objects of public relations of a modern society - information, information systems, processes and their properties, for effective regulation of the information rights and freedom of the person and the citizen, counteraction to information terrorism and maintenance of information safety of an information society.

Keywords: information safety; information society; information right; information terrorism.

Актуальность решения проблемы противодействия одной из глобальных угроз современного информационного общества – терроризму, обуславливается рядом факторов [1-22]:

– переходом задач противодействия терроризму в качестве одного из основных направлений государственной политики, правовую основу которой составляет действующее отечественное и общепризнанное зарубежное законодательства и, прежде всего, Конституция Российской Федерации;

– расширением сфер и видов деятельности личности, общества и государства, тенденция их глобализации обуславливающих появление новых опасных видов и форм террора и соответствующее расширение спектра террористических атак;

– развитием информационного общества и глобального информационного пространства, охватывающего все развитые страны, а также их политическую, военную, экономическую, социальную, научную, образовательную и другие сферы и виды деятельности и другим.

Рассматривая основную сущность терроризма как идеологию насилия и практики воздействия на принятие решения органами публичной власти международными организациями, связанные с устрашением населения, иными формами противоправных насильственных действий и учитывая информационную природу личности, общества и государства, можно выделить в рамках известного

правового определения содержания террористической деятельности информационные составляющие терроризма:

- организация, планирование, подготовка террористического акта;
- подстрекательство к террористическому акту;
- организация преступного сообщества (преступной организации), организованной группы для реализации террористического акта;
- вербовка, обучение террористов;
- информационное или иное пособничество в планировании, подготовке или реализации террористического акта;
- пропаганду идей терроризма, распространение материалов или информации, призывающих к осуществлению террористической деятельности либо обосновывающих, либо оправдывающих необходимость осуществления такой деятельности.

Рассмотренные и ряд других значимых составляющих терроризма [1-22], позволяют говорить о его фактически информационной природе, о важности информационных составляющих, об их существенной доле, а зачастую, и о самостоятельности реализации, обеспечивающей достижение конечных целей и приводящей к тяжким последствиям.

С учетом этого, а также других характеристик и форм реализации современного терроризма, выделяют один из его видов – информационный терроризм. Последний в условиях широкого применения новых информационных технологий и, прежде всего, современных автоматизированных систем обработки информации и управления информационно- телекоммуникационных систем различных классов не менее опасен, а в ряде случаев, является более опасным по сравнению с другими видами терроризма и несет угрозу безопасному существованию личности, общества и государства во всех их сферах и видах деятельности.

В силу информационной природы практически всех материально-энергетических сфер и видов деятельности современного общества, независимо от его состояний, можно утверждать, что развитие и достижения общества, его успехи в материально-энергетических сферах достигаются не в собственно этих сферах, а в сознании его граждан. Оно формируется под воздействием качественной (своевременной, достоверной, полной, безопасной) информации, которая, как известно, является источником целеполагания, целенаправленности, целеустремленности, целесообразности поведения. Эти элементы, в свою очередь, состоят из информации и представлены в виде информации.

Таким образом, информационный терроризм своей целью ставит уничтожение этих качеств информации. Информация, являясь основой общественных отношений, одновременно, при снижении или уничтожении своих качеств несет в себе опасность манипуляции общественным сознанием, воздействия на психику человека, что является еще более опасным в рамках целого общества и государства.

С учетом этого, безопасность информации и информационная безопасность современных информационных систем и технологии становятся сегодня важными факторами обеспечения эффективного развития личности, общества и государства, их безопасности, стабильности международных отношений и международной безопасности государств в целом.

Именно поэтому развитые государства уделяют большое внимание созданию, прежде всего, различного рода правовых и организационных механизмов, которые должны обеспечить их эффективное социально-экономическое, политическое, информационное и научное развитие, что является сегодня необходимым условием прогресса и безопасности человечества.

В связи с этим, проблема своевременного получения, распространения и использования достоверной, полной, объективной и безопасной информации приобретает особое значение, и ее решение позволит противодействовать одному из основных общественно опасных деяний – информационному терроризму и, в целом, мировому терроризму и его видам, распространение которого в последнее время не позволяет эффективно решать проблемы и задачи современного общества.

Общеизвестно, что основным критерием демократического, правового государства является эффективное правовое регулирование и обеспечение конституционных прав и свобод человека и гражданина, которое, в свою очередь, будет зависеть от качества информации, включенной в контур субъект-объектных отношений и циркулирующей в информационных системах.

При этом изменение социально-экономического и политического развития общества и государства требует постоянного совершенствования системы сбора, обработки, передачи, хранения информации при неизменном обеспечении ее важнейших качеств и, прежде всего, безопасности. В то же время наличие нерешенных вопросов обеспечения безопасности информации в условиях закономерного роста открытости общества создает предпосылки несанкционированного доступа к информационным ресурсам, в том числе, и в сфере безопасности.

Поскольку Россия становится активным субъектом мировой политики и экономики, то это влечет за собой необходимость надежного обеспечения безопасности значительных объемов информации ограниченного доступа, включенной в систему противодействия различным угрозам личности, обществу и государству, в том числе, информационным угрозам и терроризму.

Задача состоит в том, чтобы обеспечить такой уровень безопасности информации, который гарантировал бы, помимо военной безопасности, сохранение и укрепление российской демократической государственности, политической и социальной стабильности общества; защиту прав и свобод граждан; эффективное функционирование экономики; сохранение национальных ценностей и традиций; максимальное снижение возможности распространения недостоверных и ложных сведений.

В связи с этим осуществление противодействия информационному терроризму должно включать обеспечение безопасности информации, циркулирующей в современных информационных системах и технологиях (социотехнических системах), информационную безопасность самих систем, а также защиты субъектов правоотношений от негативных информационных воздействий, разрушающего воздействия информации.

В рамках решения этих проблем [1-11] одним из основных направлений развития информационного общества и противодействия информационному терроризму является развитие и совершенствование законодательной базы информационной сферы, в том числе, и сферы информационной безопасности, обеспечивающей эффективное регулирование и обеспечение конституционных прав и

свобод человека и гражданина, в части предоставления и обеспечения полной, достоверной своевременной и безопасной информации как основы обеспечения безопасности личности, общества и государства. Решение проблемы надлежащего обеспечения этих прав и их защита являются одним из условий и необходимых признаков существования и развития информационного общества, основой которого выступает личность, которой гарантированы все права человека и гражданина, и, прежде всего, информационные.

В рамках решения этой задачи государство должно исходить из следующих принципов:

- 1) правовое равенство всех участников процесса информационного взаимодействия вне зависимости от их политического, социального и экономического статуса;
- 2) совершенствование существующего законодательства, в том числе, самой методики толкования нормативных правовых актов;
- 3) определение важных интересов всех участников правоотношений в информационной сфере;
- 4) координация деятельности органов государственной власти в информационной сфере;
- 5) совершенствование условий для активного участия государства в процессах создания и развития информационных телекоммуникационных систем.

Поэтому ответом на чрезвычайно высокие требования такого общества и правового государства, в которых человек, его права и свободы должны являться высшей ценностью государства, должна быть переоценка существующих подходов, концепций к пониманию места и значимости теоретического базиса информационной науки, и в частности, информатики и информационной безопасности социотехнических систем (СТС), обеспечивающих глубокое изучение основного объекта общественных отношений – информации, информационных систем, процессов и их свойств, а также отраслей права и их способности своевременно и эффективно осуществлять регулирование основных прав и свобод личности в информационной сфере, которые принято называть (и будем называть) информационными правами.

Это, в свою очередь, предполагает необходимость развития информационного права как науки, отрасли и законодательства как основного инструментария, позволяющего адекватно реагировать на опережающий различные правоотношения, рост новых информационных технологий. И одним из основных инструментов такого регулирования, безусловно, является развитие такого института информационного права и законодательства, как обеспечение информационной безопасности искомых субъектов общественных отношений.

Организация обеспечения информационной безопасности как важнейшего института информационного права [1-11] предполагает уточнение содержания соответствующих задач, методов, средств их решения. Их выбор направлен на создание системы защиты информации, которая гарантировала бы признание и защиту основных прав и свобод граждан; формирование и развитие правового государства, политической, экономической, социальной стабильности общества; сохранение национальных ценностей и традиций.

При этом такая система должна обеспечивать защиту информации различной и заданной степени конфиденциальности, в том числе, государственной, коммерческой, служебной тайны и иной, охраняемой законом, с учетом особенностей защищаемой информации в области регламентации, организации и осуществления защиты и известных подходов комплексного, регулярного использования средств и методов, принятие мер и осуществление мероприятий с целью системного обеспечения требуемой безопасности информации, в основе которых лежит правовое регулирование защиты информации.

Учитывая вышесказанное, все множество задачи правового регулирования можно разделить на две основные группы, в части:

1) своевременного и полного удовлетворения информационных потребностей, возникающих в процессе различных видов деятельности личности, общества и государства, и, прежде всего, органов государственной власти конфиденциальной информацией;

2) ограждения конфиденциальной информации от несанкционированного доступа к ней, модификации, копирования, блокирования других субъектов.

При решении первой группы задач – обеспечение специалистов информацией – необходимо учитывать, что специалисты могут использовать как открытую, так и конфиденциальную информацию. Обеспечение открытой информацией ничем не ограничивается, кроме ее фактического наличия. При обеспечении конфиденциальной информацией действуют ограничения, предусматривающие разграничение и/или исключение допуска к ней по соответствующей степени конфиденциальности. Анализ действующей практики и нормативных правовых актов, определяющих порядок такого доступа и разграничения, позволил выделить ряд противоречий. С одной стороны, максимальное ограничение доступа к засекреченной информации уменьшает вероятность утечки этой информации, с другой – для обоснованного и эффективного решения служебных задач необходимо наиболее полное удовлетворение потребностей специалиста в информации. В обычных, не режимных условиях, специалист имеет возможность использовать в целях решения стоящей перед ним проблемы разнообразную информацию. При обеспечении его конфиденциальной информацией возможности доступа к ней ограничиваются двумя факторами: его служебным положением и решаемой специалистом в настоящее время проблемой.

Вторая группа задач предполагает выработку адекватных и эффективных правовых механизмов, регулирующих общественные отношения в части защиты конфиденциальной информации от несанкционированного доступа к ней посторонних лиц, и является общей для всех органов государственной власти [1-11]. В этой части можно выделить направления развития правового инструментария, который должен обеспечивать:

1) защиту информационного суверенитета страны и расширение возможности государства по укреплению своего могущества за счет формирования и управления развитием своего информационного потенциала;

2) создание условий эффективного использования информационных ресурсов общества и государства;

3) обеспечение безопасности защищаемой информации: предотвращение хищения, утраты, несанкционированного уничтожения, модификации, блокирования информации;

4) сохранение конфиденциальности информации в соответствии с установленными правилами ее защиты, в том числе, предупреждения утечки и несанкционированного доступа к ее носителям, предотвращение ее копирования, модификации и др.;

5) сохранение полноты, достоверности, целостности информации и ее массивов и программ обработки, установленных собственником информации или уполномоченными им лицами;

6) обеспечение конституционных прав граждан на сохранение личной тайны и конфиденциальной персональной информации, в том числе, накапливаемой в банках данных;

7) недопущение безнаказанного растаскивания и незаконного использования интеллектуальной собственности, принадлежащей государству, предприятиям и фирмам, частным лицам.

Для решения рассмотренных задач, с учетом применения известных методов и средств защиты информации, можно выделить и соответствующие направления развития правового базиса, направленного на эффективное регулирование обеспечения информационной безопасности на основе использования принятых на практике методов, средств и мероприятий защиты информации, информационных систем, в том числе, скрытия, ранжирования, дезинформации, дробления, страхования, морально-нравственных, учета, кодирования, шифрования и других [1-11].

Целью применения указанных методов является, с одной стороны, обеспечение конституционных прав граждан – защита информации о частной жизни лица, с другой – защита информации, циркулирующей в органах государственной власти и не подлежащей распространению.

Решение актуальной проблемы развития правового института обеспечения информационной безопасности личности, общества и государства, требует создания правового инструментария, обеспечивающего эффективное регулирование общественных отношений при создании и использовании системы защиты информации, современных информационных систем, гарантирующего обеспечение и защиту основных прав и свобод личности в информационной сфере и сфере информационной безопасности. В свою очередь, содержание такого инструментария определяется уровнем развития, совершенствование содержания теоретической информатики и информационной безопасности социотехнических систем, их принципов, функций, методов, средств, мер и мероприятий как важнейшего инструментария противодействия информационному терроризму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисун А.П., Минаев В.А., Саблин В.Н. и др. Теоретические основы информатики и информационная / Монография.– М.: Радио и связь, 2000.– 468 с.
2. Фисун А.П., Минаев В.А., Гинзбург В.В. и др. Безопасность информационных систем в условиях глобализации/Монография.– М.: Изд. "Радио и связь", 2003.– 249 с.
3. Фисун А.П., Минаев В.А., Касилов А.Н. и др. Развитие методологических основ информатики и информационной безопасности систем: Монография. /Под ред. д.т.н. А.П.

- Фисуна Орловский государственный университет. – Орел, 2004. – 253 с.: ил. – Библиогр.: 112 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 07.07.04. № 1165 – В2004.
4. Фисун А.П., Белевская Ю.А., Митяев В.В. Теоретико-правовое регулирование конституционных прав и свобод человека и гражданина в информационной сфере: Монография / Под ред. д.т.н. А.П. Фисуна/Монография. – Орел: Изд. ГОУ ВПО «Орловский государственный университет», 2008.– 231 с.
 5. Фисун А.П., Белевская Ю.А., Митяев В.В., Ноздрина Т.В. Актуальные задачи развития государственной службы в условиях формирования информационного общества: Монография/ Под ред. д.т.н. А.П. Фисуна, к.ю.н. Ю.А. Белевской.– Орел: Изд. «Орловский государственный университет», 2008.– 124 с.
 6. Фисун А.П., Белевская Ю.А., Минаев В.В., Еременко В.Т. и др. Правовое обеспечение информационной безопасности объектов информатизации и регулирование конституционных прав личности в информационной сфере: Монография./Под ред. д.т.н. А.П. Фисуна, к.ю.н. Ю.А. Белевской.– Орел: ОГУ, ОрелГТУ, 2008. – 428 с.
 7. Фисун А.П., Белевская Ю.А., Грушина А.А. Информационный терроризм и правовое регулирование конституционных прав личности в информационной сфере: проблемы, соотношения // Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции «Правовые и социально-экономические проблемы современной России: теория и практика». – Пенза: РИО ПГСХА, 2009.– С. 81-83.
 8. Фисун А.П., Белевская Ю.А. Постановка проблемы развития структуры теоретических основ информационного права как одного из направлений совершенствования правового регулирования в информационной сфере // Журнал «Закон и право». № 5-2009. – М.: Издательство «ЮНИТИ-ДАНА».
 9. Фисун А.П., Белевская Ю.А. К проблеме развития методологии теоретических основ информационного права // Журнал «Закон и право». № 6-2009. – М.: Издательство «ЮНИТИ-ДАНА».
 10. Фисун А.П., Белевская Ю.А. Информационное право – критерий эффективности государственного управления в России // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Государство, политика, социум: вызовы и стратегические приоритеты развития» 26-27 ноября 2009 г. Секция 1. «Новое государственное управление: реформы в контексте кризиса» Екатеринбург: Уральская академия государственной службы, 2009
 11. Фисун А.П., Белевская Ю.А. Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности личности, как важнейшего института информационного права // Журнал «Современное право». № 8-2009. – М.: ЗАО Издательство «Новый индекс», 2009.
 12. Машлыкин В.Г. Информационный терроризм как угроза международной безопасности XXI века. – http://evartist.narod.ru/text10/82.htm#з_01
 13. Расторгуев С.П. Терроризм как элемент информационной операции. – http://evartist.narod.ru/text10/82.htm#з_02
 14. Хачатуров К.А. Обеспечение внешнеполитических позиций России в свете доктрины информационной безопасности Российской Федерации. – <http://evartist.narod.ru/text10/81.htm>
 15. Панарин И.Н. Информационные войны и Россия. – http://evartist.narod.ru/text10/79.htm#_top
 16. Кулибаба А.Н. Информационный терроризм.– <http://www.law.edu.ru/doc/document.asp?docID=1252544>
 17. Газизов Р.Р. Проблемы противодействия преступности в современных условиях// Материалы международной научно-практической конференции 16-17 октября 2003г. Часть I.- Уфа: РИО БашГУ, 2003. - 280с. – <http://www.kalinovskiy-k.narod.ru/b/ufa20034/30.htm>
 18. Тюгашев Е. Феноменология террора: аналитический доклад. – http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Polit/Article/Tugash_FenTerr.php
 19. Кефели И.Ф., Бойцева Е.А. Международный терроризм как фактор геополитического влияния.– <http://ibci.ru/AGP/conferencia/statya15.htm>
 20. Бондаренко Е.А. Сотрудничество в борьбе против международного терроризма. Право,

политика, дипломатия.– <http://www.humanities.edu.ru/db/msg/34258>
21.Петухов В.Б. Интернет и информационный терроризм//Свободная мысль. – 2008. – № 1. –
С. 169–180. – <http://i-r-p.ru/page/stream-exchange/index-19141.html>

Фисун Александр Павлович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры электроники, вычислительной техники
и информационной безопасности
Тел.:8-9103070081
E-mail: fisun01@orel.ru

Белевская Юлия Александровна

Орловская региональная академия государственной службы, г. Орел
Кандидат юридических наук, доцент,
доцент кафедры конституционного и муниципального права
Тел.: (4862) 421556 дом,
E-mail: furiya_ua@mail.ru