

№ 1 (75) январь-февраль 2013

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

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

Редакционный совет

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

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

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

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

*Сдано в набор 15.12.2012 г.
Подписано в печать 26.12.2012 г.*

*Формат 60x88 1/8.
Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.
Заказ № _____
Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

*Подписной индекс 15998
по объединенному каталогу*

«Пресса России»

**Материалы статей печатаются в авторской редакции.
Право использования произведений предоставлено
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части
ГК РФ.**

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

Рубрики номера

1. Математическое
и программное обеспечение
вычислительной техники
и автоматизированных систем.....5-21
2. Математическое и компьютерное
моделирование.....22-59
3. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах60-105
4. Телекоммуникационные системы
и компьютерные
сети.....106-117
5. Информационная безопасность и защита
информации.....118-134
6. Информационно-измерительные
системы135-142

Редакция

*О.И. Константинова
А.А. Митин*

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

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

*Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций.
Св-во о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.*

№ 1 (75) January-February 2013

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

Editorial council

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

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

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial board

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

*It is sent to the printer's on 15.12.2012,
26.12.2012 is put to bed
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies
The order № _____*

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

*Index on the catalogue
«Pressa Rossii» 15998*

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

In this number

1. Software of the computer facilities
and the automated systems.....5-21
2. Mathematical modeling
and computer simulation.....22-59
3. An information technologies in socio-
economic and organizational-technical
systems.....60-105
4. Telecommunication systems
and computer
networks.....106-117
5. Information and data
security.....118-134
6. Information and measuring
systems.....135-142

The editors

Konstantinova O.I.
Mitin A.A.

The address of the founder of journal

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

The address of the editorial office

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

Journal is registered in Federal Service for
Supervision in the Sphere of Telecom, Information
Technologies and Mass Communications.
The certificate of registration
ПИ № ФС77-47350 from 03.11.2011.

© State University – ESPC, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

<i>Е.Г. ЖИЛЯКОВ, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ</i> Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений.....	5-11
<i>А.В. САВЧЕНКО</i> Результаты натуральных испытаний метода фонетического декодирования слов в задачах распознавания и диаризации разговорной русской речи.....	12-21

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Г.В. БАРАНОВА, А.А. БАРАНОВ</i> Структурно-функциональная модель информационной системы анализа протестной активности населения регионов России.....	22-29
<i>К.А. БАТЕНКОВ</i> Синтез структурной схемы нелинейного демодулятора на основе функционального ряда.....	30-35
<i>С.В. БЕЛОКУРОВ, О.В. БАГРИНЦЕВА, В.П. БЕЛОКУРОВ</i> Структурная модель принятия решений при организации охраны удаленных объектов на базе технических средств вневедомственной охраны.....	36-40
<i>А.Б. СИЗОНЕНКО</i> Использование свойств сверточных кодов для устранения рассинхронизации при расшифровании сообщений, зашифрованных синхронными поточными шифрами.....	41-46
<i>В.Е. ФИСЕНКО, А.П. ФИСУН</i> Концепция моделирования распределенных оперативно-реконфигурируемых систем обмена данных.....	47-53
<i>Д.С. ХАБАРОВА</i> Решение трехкритериальной задачи оптимизации информационной системы.....	54-59

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>П.П. АВРАШКОВ, А.В. КОСЬКИН, А.И. ФРОЛОВ</i> Моделирование динамики интеллектуальных ресурсов интегрированных образовательных комплексов.....	60-74
<i>Д.А. ДАВЫДОВ, Н.Д. ВОСТРИЛОВ, М.А. МЕЛЕНЦОВА</i> Обзор задач и вопросов, возникающих при проектировании систем класса Electronic Data Interchange.....	75-79
<i>В.Г. ГРИШАКОВ</i> Виртуализация системы административного управления ИТ-инфраструктурой на основе рекурсивно- иерархического подхода.....	80-88
<i>И.Н. ГРЫЗЛОВ</i> Методика формирования индексов социальной напряженности на основе использования статистической информации.....	89-97
<i>Ю.В. КОЛОКОЛОВ, А.В. МОНОВСКАЯ, А.В. ГУСАКОВ</i> Автоматизированное исследование экспериментальных бифуркационных диаграмм.....	98-105

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

<i>В.Т. ЕРЕМЕНКО, С.В. ЕРЕМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ, С.А. ЧЕРЕПКОВ, А.А. ЛЯКИШЕВ</i> Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS.....	106-112
<i>Ю.А. КРОПОТОВ</i> Повышение отношения сигнал/внешний акустический шум в системе обмена речевой информацией.....	113-117

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

<i>Д.Э. БЕЛЯКОВА, И.А. ЕРЕМЕНКО</i> Моделирование управления и противоборства в социальных сетях.....	118-123
<i>А.В. ГУСАРОВ, Н.И. ГУСАРОВА</i> Об одном способе оценки параметров криптографических ключей.....	124-128
<i>В.В. КОМАШИНСКИЙ, Г.М. САЗОНОВ</i> Методика оценки защищенности речевого сигнала от утечки по акустическим и виброакустическим каналам.....	129-134

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<i>А.А. БЕЛОВ, А.Ю. ПРОСКУРЯКОВ</i> Прогнозирование уровней концентраций в телекоммуникационной системе газового контроля промышленных и коммунальных объектов.....	135-142
---	---------

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

<i>E.G. ZHILYAKOV, A.A. CHERNOMORETS</i> Optimal separation of image subband components.....	5-11
<i>A.V. SAVCHENKO</i> Experimental study results of the phonetic words decoding method in Russian speech recognition and diarization problems.....	12-21

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

<i>G.V. BARANOVA, A.A. BARANOV</i> Structurally-functional model of information system of the analysis of protest population activity in Russian regions.....	22-29
<i>K.A. BATENKOV</i> Nonlinear demodulator structural diagram synthesis from functional series.....	30-35
<i>S.V. BELOKUROV, O.V. BAGRINCEVA, V.P. BELOKUROV</i> The structural model of adoption the decisions under organization of securance of isolated objects on basis of technical means of state board.....	36-40
<i>A.B. SIZONENKO</i> Using the properties of convolutional codes to correct desync when deciphering messages encrypted with synchronous stream cipher.....	41-46
<i>V.E. FISENKO, A.P. FISUN</i> A new approach to mathematical modeling of distributed systems operative reconfigurable exchange data.....	47-53
<i>D.S. KHABAROVA</i> A solution of the three-criteria optimization problem of an information system.....	54-59

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

<i>P.P. AVRASHKOV, A.V. KOSKIN, A.I. FROLOV</i> Modeling of the dynamics the intellectual resources of the integrated educational complexes.....	60-74
<i>D.A. DAVYDOV, N.D. VOSTRILOV, M.A. MELENCZOVA</i> overview of the issues arising in the creating of EDI-systems.....	75-79
<i>V.G. GRISHAKOV</i> Administrative management system virtualization based on recursive approach.....	80-88
<i>I.N. GRYZLOV</i> Method of forming indexes of social tension on the basis of statistical information.....	89-97
<i>YU.V. KOLOKOLOV, A.V. MONOVSKAYA, A.V. GUSAKOV</i> Automated research of experimental bifurcation diagrams.....	98-105

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

<i>V.T. EREMENKO, S.V. EREMENKO, D.V. ANISIMOV, S.A. CHEREPKOV, A.A. LYAKISHEV</i> Analysis of models traffic in the networks cam technology based MPLS.....	106-112
<i>YU.A. KROPOTOV</i> Increase the signal/external speaker noise in the information speech exchange system.....	113-117

INFORMATION AND DATA SECURITY

<i>D.E. BELYAKOVA, I.A. EREMENKO</i> Modeling of control and confrontation in social networks.....	118-123
<i>A.V. GUSAROV, N.I. GUSAROVA</i> About one way of cryptographic keys parameters evaluation.....	124-128
<i>V.V. KOMASHINSKIY, G.M. SAZONOV</i> Methods of security assessment of the speech signal from the leakage through acoustic and vibroacoustic channels.....	129-134

INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS

<i>A.A. BELOV, A.YU. PROSKURYAKOV</i> Questions of prediction concentration levels in the telecommunications industrial and municipal facilities gas control system.....	135-142
---	---------

УДК 621.397

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ВЫДЕЛЕНИИ СУБПОЛОСНЫХ КОМПОНЕНТ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данной статье для выделения субполосных компонент изображений, соответствующих заданным подобластям пространственных частот, сформулирована оптимизационная задача и предложен метод ее решения на основе системы линейных уравнений. Показано, что матрица системы является кронекеровским произведением субполосных матриц. Исследованы свойства полученной матрицы системы линейных уравнений.

Ключевые слова: изображение; субполосные компоненты; подобласть пространственных частот; кронекеровское произведение.

С развитием средств компьютерных технологий роль изображений как одной из наиболее естественных для человека форм информационного обмена существенно выросла. При этом интенсивное развитие получили методы компьютерной обработки изображений, основными целями которой является либо анализ их характеристик с позиций решаемой прикладной задачи, либо синтез на основе придания изображениям некоторых полезных с той или иной точки зрения качеств.

Опыт показывает, что для многих задач обработки изображений адекватной математической основой служат частотные представления,

$$f_{ik} = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(x, y) \exp(jx(i-1)) \exp(jy(k-1)) dx dy / 4\pi^2, \quad (1)$$

где j – мнимая единица ($j^2 = -1$), F – частотная характеристика, в качестве которой наиболее часто используется трансформанта Фурье

$$F^{\Phi}(x, y) = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N f_{ik} \exp(-jx(i-1)) \exp(-jy(k-1)); \quad (2)$$

f_{ik} , $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$ – значения изображения $\Phi = \{f_{ik}\}$ в соответствующих пикселях; x, y – пространственные частоты (ПЧ).

При этом многие задачи анализа и синтеза можно решать, используя разбиение области определения трансформант Фурье на ряд подобластей пространственных частот (ПОПЧ) [1], так что (1) принимает вид

$$f_{ik} = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \iint_{(x,y) \in V_{sr}} F^{\Phi}(x, y) \exp(jx(i-1)) \exp(jy(k-1)) dx dy, \quad (3)$$

где

$$V_{sr} = \left\{ (x \in [-\Omega_{s2}, -\Omega_{s1}] \cup [\Omega_{s1}, \Omega_{s2}]) \cap (y \in [-\Omega_{r2}, -\Omega_{r1}] \cup [\Omega_{r1}, \Omega_{r2}]) \right\}, \quad (4)$$

$$\Omega_{11} = 0, \Omega_{R1,2} = \pi; \Omega_{11} = 0, \Omega_{R2,2} = \pi; \Omega_{s+1,1} = \Omega_{s2}; \Omega_{r+1,1} = \Omega_{r2}.$$

Имеется в виду, что переменная x принимает значения из интервала (субполосы) оси абсцисс плоскости ПЧ $D_s = [-\Omega_{s2}, -\Omega_{s1}] \cup [\Omega_{s1}, \Omega_{s2}]$, тогда как одновременно переменная y попадает в следующий интервал (субполосу) оси ординат $G_r = [-\Omega_{r2}, -\Omega_{r1}] \cup [\Omega_{r1}, \Omega_{r2}]$. Подобласть V_{sr} схематично изображена на рисунке 1.

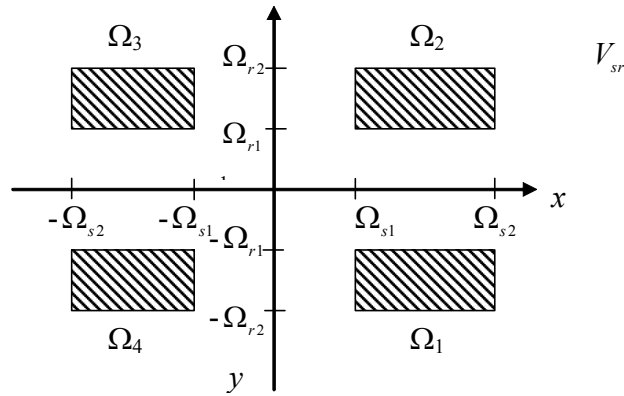


Рисунок 1 – Двухмерная подобласть ПЧ V_{sr}

Рассмотрим задачу разделения изображения на аддитивные компоненты.

$$\Phi = Y + \Phi_0. \quad (5)$$

Первая из них $Y = (y_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$ должна иметь трансформанту Фурье

$$F^Y(u, v) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N y_{ik} e^{-ju(i-1)} e^{-jv(k-1)}, \quad -\pi \leq u, v < \pi, \quad (6)$$

которая в «идеальном» случае удовлетворяет условию

$$F^Y(u, v) = F^\Phi(u, v), \quad (u, v) \in V_{sr}, \quad (7)$$

$$F^Y(u, v) = 0, \quad (u, v) \notin V_{sr}, \quad (8)$$

где V_{sr} – заданная ПОПЧ вида (4).

Поскольку отрезки конечной длины не могут иметь трансформанты Фурье с финитными областями определения, то удовлетворить условиям (7) и (8) «идеальной» фильтрации в области ПЧ не представляется возможным. Вместе с тем можно предложить вариант оптимального решения сформулированной задачи разделения изображения на аддитивные составляющие (выделение субполосных компонент), когда в некотором смысле наилучшим образом эти условия аппроксимируются. Ясно, что в качестве критерия целесообразно использовать меру погрешностей приближения к идеальному случаю. Очевидно, что такой подход соответствует постановке задачи оптимальной фильтрации изображений в соответствии с выбранной ПОПЧ.

В качестве такого критерия предлагается использовать функционал следующего вида:

$$W_{sr}(Y, \gamma) = (1 - \gamma) \iint_{(u, v) \in V_{sr}} |F^\Phi(u, v) - F^Y(u, v)|^2 dudv / 4\pi^2 + \gamma \iint_{(u, v) \notin V_{sr}} |F^Y(u, v)|^2 dudv / 4\pi^2, \quad (9)$$

где γ определяет весомость соответствующих интегралов, причем предполагается выполнение неравенства

$$0 < \gamma < 1. \quad (10)$$

Очевидно, что первый из интегралов в (10) определяет меру отклонения получаемой трансформанты Фурье от трансформанты Фурье исходного изображения в заданной ПОПЧ, тогда как второй из них характеризует близость получаемой трансформанты Фурье к нулю вне этой ПОПЧ.

Таким образом, функционал (33) может служить мерой погрешности аппроксимации идеального условия, задаваемого соотношениями (7) и (8). Следовательно, естественным принципом оптимизации является следующее вариационное условие:

$$W_{sr}(Y, \gamma) = \min, \quad (11)$$

где минимум ищется по всем изображениям размерности $(M \times N)$ в предположении, что параметр γ является постоянной величиной.

Докажем следующее утверждение. При фиксированном значении параметра γ с выполнением условия (10) решением вариационной задачи (11) является изображение, компоненты которого удовлетворяют системе линейных уравнений:

$$y_{lp} = \gamma^{-1}(1-2\gamma) \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{mn} a_{ml}^s b_{pn}^r + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{mn} a_{ml}^s b_{pn}^r; \quad l = 1, \dots, M, \quad p = 1, \dots, N, \quad (12)$$

где a_{ml}^s, b_{pn}^r – элементы субполосных матриц A_s и B_r [2].

В основе доказательства справедливости этого утверждения используется представление части энергии $P_{sr}(y)$ [1], попадающей в заданную ПОПЧ,

$$P_{sr}(y) = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{ik} y_{mn} a_{im}^s b_{kn}^r. \quad (13)$$

При этом учтено вытекающее из равенства Парсевеля соотношение:

$$\iint_{(u,v) \notin V_{sr}} |F^Y(u,v)|^2 dudv / 4\pi^2 = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{mn}^2 - P_{sr}(y),$$

а также получаемое с использованием определения трансформанты Фурье изображений равенство

$$\iint_{(u,v) \in V_{sr}} |F^\Phi(u,v) - F^Y(u,v)|^2 dudv / 4\pi^2 = P_{sr}(f - y).$$

Здесь в качестве аргумента в правой части имеется в виду некоторое разностное изображение $f - y$.

После подстановки в (9) правых частей последних двух соотношений и учета (13) нетрудно получить представление для меры погрешностей аппроксимации совокупности идеальных условий (7) и (8):

$$W(Y, \gamma) = (1-\gamma) \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f_{ik} - y_{ik})(f_{mn} - y_{mn}) a_{im}^s b_{kn}^r + \\ + \gamma \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{mn}^2 - \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{ik} y_{mn} a_{ik}^s b_{mn}^r \right].$$

Дальнейший шаг заключается в приравнивании к нулю частных производных правой части по компонентам искомого изображения, что определяет необходимые условия экстремума. В результате получается система уравнений (12). Так как ищется экстремум квадратичного функционала, указанная система уравнений является достаточным условием достижения его минимума. Таким образом, утверждение доказано.

Очевидно, что для решения системы уравнений (12) можно применять итерационные методы. В частности, методу простых итераций начальному приближению вида

$$y_{mn}^0 = 0, \quad m = 1, \dots, M; \quad n = 1, \dots, N$$

соответствует следующее приближение:

$$y_{lp}^1 = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{mn} a_{ml}^s b_{pn}^r, \quad l = 1, \dots, M; \quad p = 1, \dots, N. \quad (14)$$

Совокупность последних соотношений нетрудно представить в матричной форме

$$Y^1 = A_s \Phi B_r. \quad (15)$$

Иными словами, компонента вида (15) может быть использована в качестве начального приближения.

С другой стороны, при следующем значении параметра

$$\gamma = 0,5, \quad (16)$$

что соответствует выбору в (9) равных весомостей компонент меры погрешности искомой аппроксимации, система уравнений (12) снова преобразуется к виду (14). Следовательно, представление (15) определяет аддитивную частотную компоненту (субполосную компоненту), оптимальную в смысле выполнения вариационного условия (11) при равной

важности величины меры отклонения искомой трансформанты Фурье от нуля вне заданной ПОПЧ и её отклонения от трансформанты Фурье исходного изображения в этой ПОПЧ.

Возникает естественный вопрос выбора метода решения системы уравнений (12), матричная запись которой имеет вид,

$$\gamma Y + (1 - 2\gamma)A_s Y B_r = (1 - \gamma)A_s \Phi B_r. \quad (17)$$

Если ввести векторы $\vec{w} = (w_1, \dots, w_{MN})^T$, $\vec{v} = (v_1, \dots, v_{MN})^T$, компоненты которых формируются на основе строк матриц Y и Φ следующим образом –

$$w_{(i-1)N+k} = y_{ik} \quad v_{(i-1)N+k} = f_{ik} \quad i = 1, \dots, M; k = 1, \dots, N \quad (18)$$

и блочную матрицу

$$C^{sr} = \{C_{ik}^{sr}\}, \quad i, k = 1, \dots, M \quad (19)$$

с блоками вида

$$C_{ik}^{sr} = a_{ik}^s B_r, \quad i, k = 1, \dots, M,$$

то уравнение (17) можно преобразовать к системе линейных алгебраических уравнений:

$$(\gamma I + (1 - 2\gamma)C^{sr})\vec{w} = (1 - \gamma)C^{sr}\vec{v}, \quad (20)$$

$$I = \text{diag}(1, \dots, 1).$$

Здесь I -единичная матрица соответствующей размерности.

Отметим, что введенная матрица C^{sr} является кронекеровским произведением [3] субполосных матриц A_s и B_r , обозначаемым следующим образом:

$$C^{sr} = A_s \otimes B_r, \quad (21)$$

$$C^{sr} = \begin{pmatrix} a_{11}^s B_r & a_{12}^s B_r & \dots & a_{1M}^s B_r \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1}^s B_r & a_{M2}^s B_r & \dots & a_{MM}^s B_r \end{pmatrix}.$$

Далее будет показано, что матрица в левой части уравнения (20) является неособенной. Поэтому искомое решение имеет вид:

$$\vec{w} = (1 - \gamma)(\gamma I + (1 - 2\gamma)C^{sr})^{-1} C^{sr}\vec{v}. \quad (22)$$

Для получения субполосной компоненты Y следует выполнить следующее преобразование:

$$y_{ik} = w_{(i-1)N+k}, \quad i = 1, \dots, M; k = 1, \dots, N.$$

Представляет интерес определение значений собственных чисел μ_{nl}^{sr} и соответствующих собственных векторов $\vec{\eta}_{nl}^{sr}$ матрицы C^{sr} , для которых справедливо следующее равенство:

$$C^{sr}\vec{\eta}_{nl}^{sr} = \mu_{nl}^{sr}\vec{\eta}_{nl}^{sr}, \quad (23)$$

$$n = 1, 2, \dots, M, \quad l = 1, 2, \dots, N.$$

Собственный вектор $\vec{\eta}_{nl}^{sr}$ представим в виде:

$$\vec{\eta}_{nl}^{sr} = (q_{1n}^s (\vec{q}_l^r)^T, q_{2n}^s (\vec{q}_l^r)^T, \dots, q_{Mn}^s (\vec{q}_l^r)^T)^T,$$

где q_{in}^s , $i = 1, 2, \dots, M$, – элементы произвольного собственного вектора \vec{q}_n^s , $n = 1, 2, \dots, M$, субполосной матрицы A_s ; \vec{q}_l^r , $l = 1, 2, \dots, N$, – произвольный собственный вектор субполосной матрицы B_r .

Подстановка (21) в выражение (23) позволяет получить представление для собственных чисел и собственных векторов матрицы C^{sr} :

$$\mu_{nl}^{sr} q_{in}^s \vec{q}_l^r = \sum_{k=1}^M a_{ik}^s B_r q_{kn}^s \vec{q}_l^r = (B_r \vec{q}_l^r) \left(\sum_{k=1}^M a_{ik}^s q_{kn}^s \right) =$$

$$= (\lambda_i^r \bar{q}_i^r)(\lambda_n^s q_{in}^s) = \lambda_n^s \lambda_i^r \cdot q_{in}^s \bar{q}_i^r, \quad i = 1, 2, \dots, M.$$

Таким образом, собственным числам λ_n^s, λ_i^r и собственным векторам \bar{q}_n^s, \bar{q}_i^r субполосных матриц A_s и B_r соответствуют собственные числа и собственные векторы матрицы C^{sr} :

$$\mu_{ni}^{sr} = \lambda_n^s \lambda_i^r, \quad (24)$$

$$\bar{\eta}_{ni}^{sr} = \begin{pmatrix} q_{1n}^s \bar{q}_i^r \\ q_{2n}^s \bar{q}_i^r \\ \dots \\ q_{Mn}^s \bar{q}_i^r \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Так как собственные числа субполосных матриц удовлетворяют следующим неравенствам [4]

$$0 < \lambda_n^s < 1, \quad 0 < \lambda_i^r < 1,$$

то значения собственных чисел матрицы C^{sr} находятся в следующем диапазоне:

$$0 < \mu_{ni}^{sr} < 1. \quad (26)$$

Покажем, что матрица $\gamma I + (1-2\gamma)C^{sr}$ в левой части уравнения (20) является неособенной. Матрица C^{sr} является симметрической по построению. Следовательно, справедливо следующее представление:

$$C^{sr} = D \cdot LL \cdot D^T,$$

где D – матрица, столбцы которой образованы собственными векторами (25) матрицы C^{sr} .

$$D = (\bar{\eta}_1^{sr}, \bar{\eta}_2^{sr}, \dots, \bar{\eta}_{MN}^{sr}),$$

$$\bar{\eta}_{(i-1)N+k}^{sr} = (q_{1i}^s (\bar{q}_k^r)^T, q_{2i}^s (\bar{q}_k^r)^T, \dots, q_{Mi}^s (\bar{q}_k^r)^T)^T, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N,$$

LL – диагональная матрица, элементами которой являются собственные числа (24) матрицы C^{sr} :

$$LL = \text{diag}(\mu_1^{sr}, \mu_2^{sr}, \dots, \mu_{MN}^{sr}),$$

$$\mu_{(i-1)N+k}^{sr} = \lambda_i^s \lambda_k^r, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

Поскольку столбцы матрицы D образуют систему ортонормированных векторов, то выполняется соотношение

$$D \cdot D^T = I.$$

Теперь можно выполнить следующие преобразования:

$$\begin{aligned} \gamma I + (1-2\gamma)C^{sr} &= \gamma I + (1-2\gamma)D \cdot LL \cdot D^T = \\ &= D(\gamma I + (1-2\gamma)LL)D^T. \end{aligned}$$

Очевидно, что матрица $Z = (z_{ik}) = \gamma I + (1-2\gamma)LL$ является диагональной с элементами вида

$$z_{kk} = \gamma + (1-2\gamma)\mu_k^{sr}, \quad k = 1, 2, \dots, MN,$$

Так как величины γ и μ_k^{sr} принимают значения из диапазона [0,1] (10), (4), то

$$z_{kk} > 0.$$

Таким образом, матрица

$$D \cdot Z \cdot D^T = \gamma I + (1-2\gamma)C^{sr}$$

является неособенной.

Можно показать, что

$$(D \cdot Z \cdot D^T)^{-1} = D \cdot Z^{-1} \cdot D^T.$$

Данное равенство следует из справедливости преобразования следующего выражения:

$$D \cdot Z \cdot D^T \cdot D \cdot Z^{-1} \cdot D^T = D \cdot Z \cdot Z^{-1} \cdot D^T = D \cdot D^T = I.$$

Следовательно, выражение (22) может быть записано в следующем виде:

$$\begin{aligned}\bar{w} &= (1-\gamma)(\gamma I + (1-2\gamma)C^{sr})^{-1}C^{sr}\bar{v} = (1-\gamma)D(\gamma I + (1-2\gamma)LL)^{-1}D^T D \cdot LL \cdot D^T \bar{v} = \\ &= (1-\gamma)D(\gamma I + (1-2\gamma)LL)^{-1}LL \cdot D^T \bar{v}.\end{aligned}\quad (27)$$

Матрица ZZ

$$ZZ = (\gamma I + (1-2\gamma)LL)^{-1}LL$$

в выражении (27) является диагональной матрицей с элементами вида

$$zz_{kk} = \frac{\mu_k^{sr}}{\gamma + (1-2\gamma)\mu_k^{sr}}, \quad k = 1, 2, \dots, MN.$$

Таким образом, значение вектора \bar{w} определяется следующим соотношением:

$$\begin{aligned}\bar{w} &= (1-\gamma)D \cdot ZZ \cdot D^T \bar{v} = (1-\gamma)D\bar{\beta}, \\ \bar{\beta} &= ZZ \cdot D^T \bar{v}.\end{aligned}\quad (28)$$

Свойства субполосных матриц позволяют снизить вычислительную сложность решения задачи (28). В работе [4] было показано, что значения собственных чисел субполосных матриц A_s и B_r удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{aligned}\lambda_i^s &\approx 0, \quad i \geq J_s = M \frac{\Omega_{s2} - \Omega_{s1}}{\pi} + 2, \\ \lambda_k^r &\approx 0, \quad k \geq J_r = N \frac{\Omega_{r2} - \Omega_{r1}}{\pi} + 2,\end{aligned}$$

где $\Omega_{s2}, \Omega_{s1}, \Omega_{r2}, \Omega_{r1}$ – границы ПОПЧ (4). Тогда

$$\mu_k^{sr} \approx 0, \quad k \geq J_s \cdot J_r. \quad (29)$$

С учетом выражения (29) вектор \bar{w} может быть вычислен на основании следующего выражения:

$$\bar{w} = (1-\gamma) \sum_{i=1}^{J_s} \sum_{k=1}^{J_r} \beta_{(i-1)J_r+k} \bar{\eta}_{(i-1)J_r+k},$$

что значительно снижает объем вычислительных затрат на выделение субполосной компоненты изображения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00257-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жилияков Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ, 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.
2. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А. О частотном анализе изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 2010. – Вып. 1. – С. 94-103.
3. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
4. Жилияков Е.Г. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии, 2009. – № 2/52 (563). – С. 12-22.

Жилияков Евгений Георгиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: 8 (4722) 30-13-92

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Черноморец Андрей Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики

Тел.: 8 (4722) 30-13-56

E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

E.G. ZHILYAKOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Informative and Telecommunication Systems and Technologies*)

A.A. CHERNOMORETS (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Informatics*)
Belgorod State National Research University, Belgorod

OPTIMAL SEPARATION OF IMAGE SUBBAND COMPONENTS

In this paper for separation of image subband components corresponding to a given subregion of spatial frequencies the optimization task was formulated and the method of its decision based on the system of linear equations was proposed. It's shown the matrix of this system is a kronecker product of subband matrices. The properties of the matrix of the system of linear equations were analyzed.

Keywords: *image; subband components; subregion of spatial frequencies; kronecker product.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zhilyakov E.G. Metod opredeleniya tochny'x znachenij dolej e'nergii izobrazhenij v zadanny'x chastotny'x intervalax / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomrecz, I.V. Ly'senko // Voprosy' radioe'lektroniki. Ser. RLT, 2007. – Vy'p. 4. – S. 115-123.
 2. Zhilyakov E.G., Chernomrecz A.A. O chastotnom analize izobrazhenij // Voprosy' radioe'lektroniki. Ser. E'VT, 2010. – Vy'p. 1. – S. 94-103.
 3. Bellman R. Vvedenie v teoriyu matricz. – M.: Nauka, 1976. – 352 s.
 4. Zhilyakov E.G. Ob e'ffektivnosti metoda ocenivaniya znachenij dolej e'nergii izobrazhenij na osnove chastotny'x predstavlenij / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomrecz, A.N. Zalivin // Izvestiya OryolGTU. Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2009. – № 2/52 (563). – S. 12-22.
-

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА ФОНЕТИЧЕСКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ СЛОВ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ И ДИАРИЗАЦИИ РАЗГОВОРНОЙ РУССКОЙ РЕЧИ

Представлены результаты натурных испытаний экспериментального образца программного комплекса фонетического декодирования слов на основе принципа минимума информационного рассогласования Кульбака-Лейблера в режимах распознавания и диаризации разговорной русской речи. Показано, что предлагаемая система характеризуется повышенными надежностью и быстродействием при распознавании как отдельных слов, так и целых фраз. Даны рекомендации по ее практическому применению в задачах голосового управления.

Ключевые слова: автоматическое распознавание русской речи; диаризация речи; метод фонетического декодирования; принцип минимума информационного рассогласования.

ВВЕДЕНИЕ

Задача построения надежных систем голосового управления [1] является одной из центральных по всем направлениям распространения автоматического распознавания речи (АРР) [2]. К сожалению, использование здесь канонического подхода [2, 3], основанного на скрытых марковских моделях речевых единиц и применяемого, например, в системах диктовки текста, не всегда позволяет получить удовлетворительное качество распознавания, особенно если требуется за короткое время перенастраивать систему на новое множество команд. При этом наиболее естественный способ повышения надежности [4] – настройка системы АРР под конкретного диктора – наталкивается на проблему вычислительной сложности.

Одним из перспективных с точки зрения вычислительных затрат на реализацию может служить техническое решение [5], предложенное в устройстве для фонетического анализа и распознавания речи в информационной метрике Кульбака-Лейблера [6] по методу фонетического декодирования слов (ФДС) [7]. К сожалению, данный метод пока недостаточно был апробирован в реальных условиях. Указанный пробел в какой-то степени устраняет настоящая статья, посвященная организации и результатам натурных испытаний метода ФДС. Для этого был разработан экспериментальный образец программного комплекса фонетического декодирования слов (ЭО ПК ФДС). Причем наряду с функцией АРР в нем осуществлена и автоматическая диаризация речи (АДР) [8], используемая для идентификации диктора по входному речевому сигналу.

МЕТОД ФОНЕТИЧЕСКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ СЛОВ

Пусть задано множество из $L > 1$ эталонных команд $\{X_l\}$, где $l = \overline{1, L}$ – номер слова-эталона. Согласно общепринятому фонетическому подходу [2], каждая эталонная команда разбивается на последовательность фонем (транскрипцию) $X_l = \{c_{l,1}, c_{l,2}, \dots, c_{l,L_l}\}$. Здесь L_l – длительность команды (в фонемах), а числа $c_{l,j} \in \{1, \dots, R\}$ – номера фонем из некоторого фонетического алфавита $\{x_r^*\}_{r = \overline{1, R}}$, где R – количество фонем в алфавите. Задача состоит в том, чтобы поступившему на вход речевому сигналу X с частотой дискретизации F (в герцах) поставить в соответствие наиболее близкое к нему слово-эталон.

Для решения задачи на первом этапе сигнал X разбивается на непересекающиеся сегменты $\{x(t)\}$, $t = \overline{1, T}$ длиной $\tau = 0,01 - 0,015$ сек, где T – общее число сегментов. Далее каждый парциальный сигнал $x(t) = \|x_1(t) \dots x_M(t)\|$ (здесь $M = \tau \cdot F$) рассматривается в

пределах конечного списка гласных фонем $\{\mathbf{x}_r^*\}$ (т.е. ФБД состоит только из гласных звуков) и отождествляется с той из них, которая отвечает принципу минимума величины заданной исследователем меры близости между сигналом $\mathbf{x}(t)$ и эталоном \mathbf{x}_r^* .

Для выбора меры близости в (1) воспользуемся широко используемой в АРР авторегрессионной (АР) моделью речевого сигнала на интервалах его квазистационарности $\tau \approx \text{const}$. Известно [11, 18], что в этом случае критерий, основанный на принципе минимума информационного рассогласования Кульбака-Лейблера [6] с решающей статистикой вида

$$v\left(t; \left\{\mathbf{x}_r^*\right\}_{r=1, \overline{R}}\right) = \arg \min_{r \in \{1, \dots, R\}} \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \left(\frac{G_x(f)}{G_{\mathbf{x}_r^*}(f)} - \ln \frac{G_x(f)}{G_{\mathbf{x}_r^*}(f)} - 1 \right) \quad (1)$$

эквивалентен оптимальному методу максимального правдоподобия. Здесь $G_x(f)$ – выборочная оценка спектральной плотности мощности (СПМ) входного сигнала $\mathbf{x}(t)$ в функции дискретной частоты f , $G_{\mathbf{x}_r^*}(f)$ – СПМ эталона r -ой фонемы \mathbf{x}_r^* , F – верхняя

граница частотного диапазона речевого сигнала или используемого канала связи. Оценка СПМ чаще всего производится на основе АР-модели [10] речевого сигнала, главное достоинство в задаче АРР которой [7] состоит в возможности предварительной нормировки речевых сигналов по дисперсиям их порождающих процессов. Такая нормировка обусловлена физическими особенностями голосового механизма человека: воздушный поток на входе его модели «акустической трубы» имеет приблизительно одну и ту же интенсивность на интервалах, длительностью в целое слово. Тогда отношение СПМ в (1) приобретает вид [7]

$$\frac{G_x(f)}{G_{\mathbf{x}_r^*}(f)} = \frac{\left| 1 + \sum_{m=1}^p a_r(m) \exp(-j\pi m f / F) \right|^2}{\left| 1 + \sum_{m=1}^p a_x(m) \exp(-j\pi m f / F) \right|^2},$$

где p – порядок АР-модели, $j = \sqrt{-1}$, а $a_r(m)$ и $a_x(r)$ – оценки АР-коэффициентов эталона \mathbf{x}_r^* и входного сигнала $\mathbf{x}(t)$, получаемые на основе алгоритма Левинсона-Дурбина и метода Берга [10].

Важнейшее достоинство АР-модели в задачах АРР – это возможность нормировки речевых сигналов по дисперсии порождающих процессов: $\sigma_0^2 = \sigma_x^2$, где σ_x^2 – дисперсия порождающего процесса. Известно [7], что при учете этого асимптотически оптимальное решение дает основанный на принципе МИР критерий

$$v\left(t; \left\{\mathbf{x}_r^*\right\}_{r=1, \overline{R}}\right) = \arg \min_{r \in \{1, \dots, R\}} \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_r^2(\mathbf{x})}{\sigma_0^2} - 1 \right], \quad (2)$$

где $\sigma_r^2(\mathbf{x})$ – выборочная оценка дисперсии отклика r -го обесцвечивающего фильтра (ОФ) $y_r(t) = \left\| y_{r;1}(t) \dots y_{r;M-p}(t) \right\|$, где p – порядок АР-модели, а

$$y_{r;j}(t) = x_{j+p}(t) - \sum_{m=1}^p a_r(m) x_{j+p-m}(t), \quad j = \overline{1, M-p}. \quad (3)$$

На втором этапе полученная согласно (2) транскрипция сигнала X обычно выравнивается по темпу речи с транскрипцией каждого слова-эталона для установления

временного соответствия между звуками сопоставляемых речевых образов. Для этого можно воспользоваться, например, алгоритмом Dynamic Time Warping, основанным на принципах динамического программирования, или вероятностным аппаратом скрытых Марковских моделей [2, 3]. Наиболее близкое в смысле среднего рассогласования вида (2) после временного выравнивания слово и будет являться решением задачи АРР.

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ И ДИАРИЗАЦИИ РЕЧИ

Мы предполагаем, что входное слово X разбито на N слогов, причем границы каждого n -го слога ($n = \overline{1, N}$) определены с точностью до номера квазистационарного сегмента $(t_n^{(1)}, t_n^{(2)})$. Будем проводить распознавание только среди гласных звуков. Для этого выполним настройку системы голосового управления для всех U потенциальных пользователей (где U – количество различных пользователей). Такая настройка потребует лишь произнесения пользователями каждого гласного звука. В результате получим набор фонетических алфавитов $\{\mathbf{x}_{r;u}^*\}_{r=\overline{1,R}, u=\overline{1,U}}$.

Тогда на первом этапе для каждого сегмента $\mathbf{x}(t)$ вычисляются ближайшие к нему коды эталонов для каждого пользователя

$$v_u(t) = v\left(t; \left\{ \mathbf{x}_{r;u}^* \right\}_{r=\overline{1,R}}\right), u = \overline{1,U}. \quad (4)$$

На втором этапе АРР на основе всех $v_u(t), t = t_n^{(1)}, t_n^{(2)}, u = \overline{1,U}$ будем принимать решение в пользу принадлежности распознаваемого слога к одной из R гласных. Воспользуемся простым агрегированием – n -му слогу ставится в соответствие последовательность частот $\mu_n(r), r = \overline{1,R}$, где

$$\mu_n(r) = \frac{1}{t_n^{(2)} - t_n^{(1)} + 1} \cdot \sum_{t=t_n^{(1)}}^{t_n^{(2)}} \delta\left(r - \arg \min_{v_u(t); u=\overline{1,U}} \rho(\mathbf{x}(t); \mathbf{x}_{v_u(t)}^*)\right), \quad (5)$$

где $\delta(x)$ – дискретная дельта-функция, $\rho(\mathbf{x}(t); \mathbf{x}_{v_u(t)}^*)$ – рассогласование между $\mathbf{x}(t)$ и ближайшей к нему фонемой-эталонном u -го пользователя вида (1) или (2). Далее для каждого слова-эталона X_l оценивается его корреляция с распознаваемым речевым сигналом:

$$\mu(l) = \begin{cases} \sum_{n=1}^N \mu_n(c_{l,n}), & L_l = N \\ 0 & L_l \neq N \end{cases}. \quad (6)$$

Тогда решение задачи АРР принимается в пользу слова X^* по критерию максимума величины μ_l . Аналогично решается и задача идентификации диктора [9], являющаяся основой алгоритмов АДР [8] – вначале n -му слогу ставится в соответствие последовательность частот $\lambda_n(u), u = \overline{1,U}$:

$$\lambda_n(u) = \frac{1}{t_n^{(2)} - t_n^{(1)} + 1} \cdot \sum_{t=t_n^{(1)}}^{t_n^{(2)}} \delta\left(u - \arg \min_{w=\overline{1,U}} \rho(\mathbf{x}(t); \mathbf{x}_{v_w}^*)\right). \quad (7)$$

Решение задачи идентификации принимается в пользу диктора u^* с максимальной корреляцией по всему входному сигналу:

$$\lambda(u) = \begin{cases} \sum_{n=1}^N \lambda_n(u), & L_l = N \\ 0 & L_l \neq N \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, система выражений (2-8) и определяет используемый нами подход к решению задач АРР и АДР.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Для тестирования описанных выше алгоритмов АРР и АДР был разработан ЭО ПК ФДС. В тестировании принимают участие два пользователя программы, которые не должны иметь явно выраженных дефектов речи, а также оператор-контролер. Его задача – контроль действий диктора; самостоятельного задания на тестирование он не имеет. Предварительным условием для проведения эксперимента является загрузка в ЭО ПК ФДС рабочего словаря из текстового файла [11], содержащего не более 10000 слов/словосочетаний и настройка ФБД [12] для всех дикторов, участвующих в тестировании. Диктор, произносящий слова в момент тестирования, выбирается в ЭО ПК ФДС как текущий пользователь.

Программа испытания включает в себя следующие этапы:

1. Испытание быстродействия алгоритма АРР;
2. Испытание качества АРР (2-6);
3. Испытание качества АДР (2-4), (7), (8).

Для тестирования первого пункта программы последовательно в течение 100 раз средствами ЭО ПК ФДС выполняется запись речевого сигнала с микрофона длительностью не более 10 сек. При этом время распознавания отображается справа в нижней части главного окна программы (рис. 1). Комплекс считается выполнившим проверку, если время распознавания на испытательном стенде не превысило 0,1 сек.

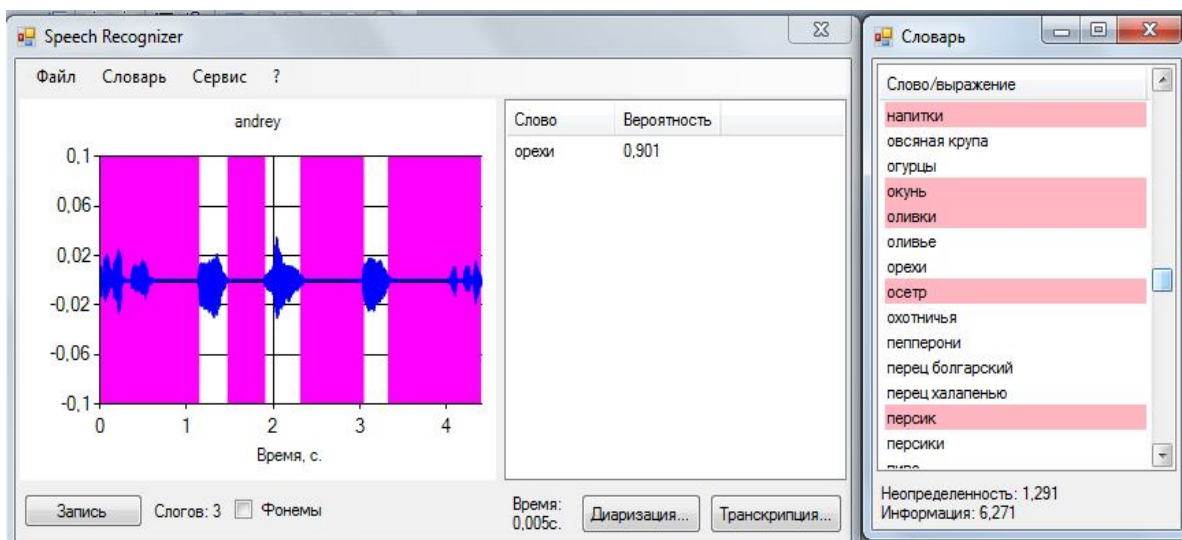


Рисунок 1 – Главное окно ЭО ПК ФДС

До окончания тестирования средствами ЭО ПК ФДС не менее 10 раз (для каждого слова) производится ввод с микрофона любого слова/словосочетания из рабочего словаря длительностью не менее трех слогов. Фрагменты акустического (речевого) сигнала (отдельные слова или целые фразы) проговорены диктором в относительно медленном темпе, по слогам, с четкими паузами между слогами. Речевой сигнал, подаваемый на вход ЭО ПК ФДС, должен удовлетворять следующим требованиям:

- а) отношение сигнал/шум не менее 20 дБ;
- б) речевой сигнал не должен иметь выраженных нелинейных искажений (АРУ, клиппирование).

Программной компонентой испытательного стенда учитываются только те слова-попытки, которые отвечают требованиям к эталонному диктору: все слова/словосочетания из рабочего словаря должны проговариваться диктором в относительно медленном (не менее 200 мс на один слог) темпе, по слогам, с паузами между слогами не короче 70 мс., при автоматически детектированной системе количество слогов во входном акустическом сигнале должно совпадать с выбранным оператором-контроллером. Если попытка засчитывается, но произнесенное в микрофон слово среди наиболее вероятных эталонов отображаемых в главном окне системы, отсутствует, делается вывод об ошибке распознавания. В противном случае распознавание считается безошибочным. Далее, если идентифицированный системой пользователь не совпадает с текущим пользователем, делается вывод об ошибке АДР. Комплекс считается выдержавшим проверку, если по завершении всех операций средняя вероятность верного распознавания оказалась не ниже 90%, а средняя вероятность диаризации превысила 75%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Рассмотрим применение ЭО ПК ФДС в задаче распознавания голосовых команд. В качестве словаря эталонов возьмем список названий лекарств, продаваемых в одной аптеке города Н. Новгорода, состоящий из 1913 слов/словосочетаний на русском языке. Запись речевого сигнала осуществлялась через внешний микрофон с функцией шумоподавления из гарнитуры A4Tech HS-12. Записанный речевой сигнал (отдельные звуки и слова/словосочетания из словаря эталонов) сохранялся в виде отдельного звукового wav-файла (моно, частота дискретизации $F=8000$ Гц, 16 бит на отсчет). В качестве предварительной обработки из сигнала удалялись начальные и конечные паузы. Порядок АР-модели $p=20$. Выделенные слоги членились на последовательность пересекающихся сегментов длительностью $\tau=0,015$ сек ($M=120$ отсчетов).

На предварительном этапе осуществлялась настройка системы под конкретного диктора. В режиме настройки диктор четко проговаривал каждый из 10 гласных звуков русского языка: «а», «е», «ё», «и», «о», «у», «ы», «э», «ю», «я». Для каждой фонемы-эталона АР-коэффициенты оценивались по всему сигналу целиком без его разделения на сегменты. Запись звука повторялась до тех пор, пока синтезированный АР-процесс по звучанию не становился близок к произнесенному диктором звуком. Близость оценивалась самим диктором «на слух». В среднем для каждого звука потребовалось 2-3 итерации. Среднее время настройки всей фонетической базы данных в расчете на одного диктора составило 2,75 минут (минимальное время настройки – 1,5 мин, максимальное – 5,1 мин).

Для сравнения быстродействия используемого алгоритма сопоставления минимальных звуковых единиц (2) с традиционными алгоритмами, основанными на сопоставлении спектральных плотностей мощности (СПМ) воспользуемся известной [6] формулировкой принципа МИР в частотной области (1). Для ускорения процедуры распознавания в (1) сопоставлялись не все значения СПМ для $f = \overline{1, F}$, а только частоты с шагом $\Delta f = 10$ Гц. Для этого значения параметра скорость АРР в 10 раз превышает скорость распознавания (1), при этом качество распознавания остается практически неизменным и не отличается от точности критерия (1). Среднее время распознавания для критериев (1) и (2) в зависимости от числа слогов n во входном словосочетании показано на рисунке 2. Хорошо видно, что вычислительная эффективность адаптивного критерия (2) на порядок превышает аналогичный показатель для традиционного сопоставления отсчетов СПМ (1).

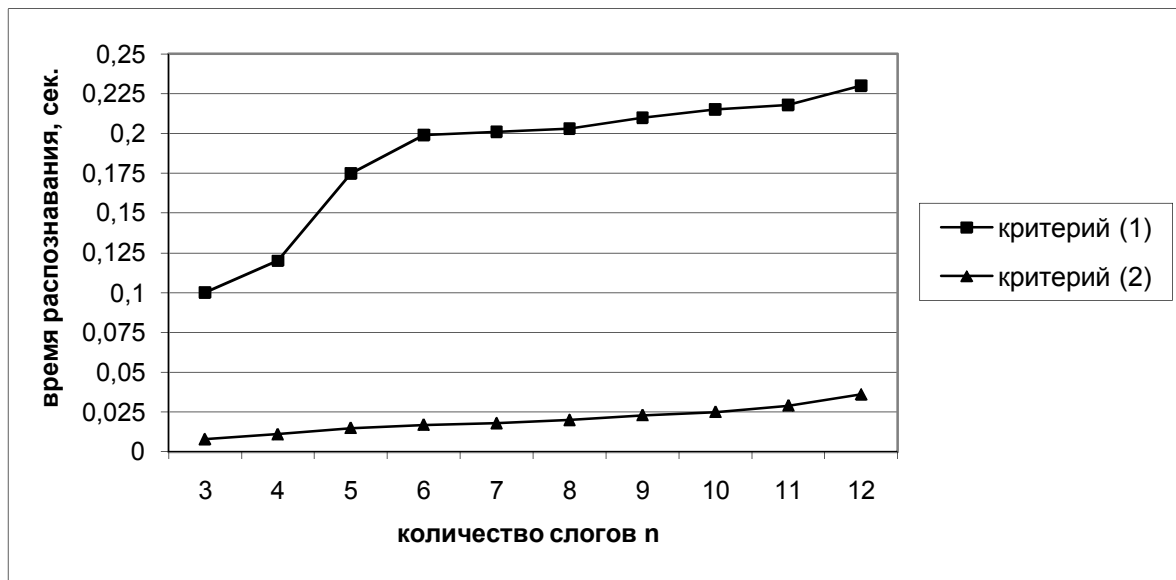


Рисунок 2 – Зависимость времени распознавания (сек) для ЭО ПК ФДС от рассогласования и числа слогов n во входном словосочетании

Для тестирования качества сформулированного алгоритма АРР (2-6) каждым диктором были произнесены по 10 реализаций каждого слова из словаря эталонов. Основным требованием к произнесению команд было разделение слов на открытые слоги с четкой паузой между слогами. В процессе распознавания слоги выделялись простейшим амплитудным детектором паузы, определенной как сигнал с малой амплитудой длительностью не менее 70 мс. Качество распознавания оценивалось по двум показателям: 1) вероятность ошибки (отсутствии произнесенной команды в списке альтернатив); 2) среднее количество K альтернатив, которые после упорядочивания находятся ближе к входному слову, чем произнесенная команда.

Результаты в виде зависимости усредненных по дикторам вероятности ошибки и величины K от количества слогов n во входном словосочетании показаны на рисунках 3 и 4 в виде диаграмм типа «ящик с усами». Заметим, что большая часть ошибок при распознавании связана с неверным определением количества слогов во входной команде из-за присутствия постороннего шума или из-за малой паузы между слогами (менее 70 мс).

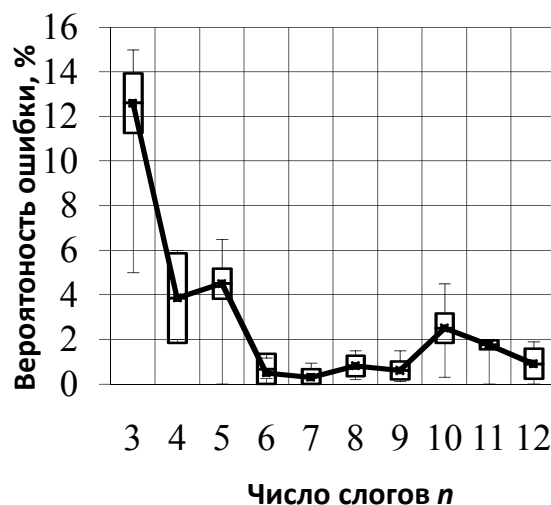


Рисунок 3 – Зависимость вероятности ошибки для ЭО ПК ФДС от количества слогов n во входном словосочетании

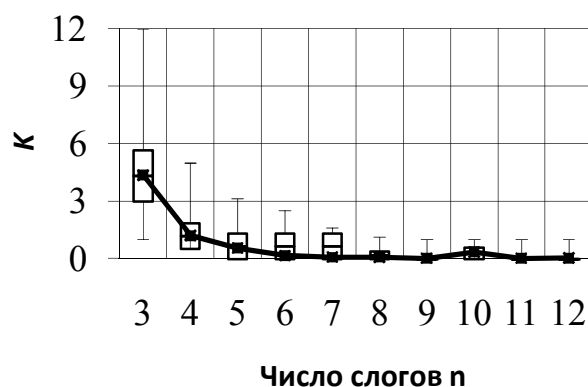


Рисунок 4 – Зависимость числа проверяемых эталонов K для ЭО ПК ФДС от числа слогов n во входном словосочетании

Для сравнения: на рисунке 5 показана вероятность ошибки для распознавания тех же словосочетаний в русскоязычной версии системы Google Voice Search [13]. Система выдает только наиболее близкое словосочетание, поэтому оценивать величину K здесь не нужно. Здесь качество дикторнезависимого распознавания из большого словаря очень высоко. Тем не менее, в среднем вероятность ошибки на 10% выше, чем для предложенного подхода. Кроме того, некоторые словосочетания отсутствуют в словаре системы, поэтому они остались нераспознанными.

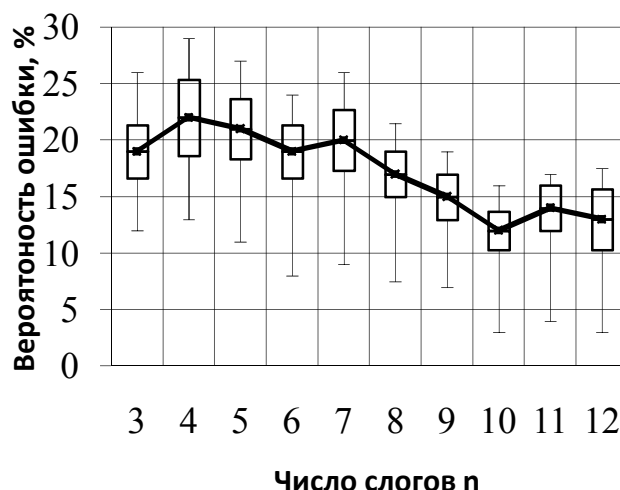


Рисунок 5 – Зависимость вероятности ошибки для Google Voice Search от количества слогов n во входном словосочетании

Для тестирования точности алгоритма АДР (2-4), (7), (8) (последний пункт программы эксперимента) проводилась идентификация диктора при условии сохранения ФБД всех потенциальных дикторов. Для построения фонетического кода каждого сегмента речевого сигнала используются эталоны из объединенных ФБД всех дикторов, а решение о идентификации диктора для слога принимается в пользу пользователя, звуки из ФБД которого наиболее близки (по частотному признаку – по аналогии с (3)) к сегментам этого слога. В эксперименте принимали участие два диктора – мужчина и женщина. Результаты в виде зависимости точности диаризации от количества слогов во входном словосочетании приведены на рисунке 6.

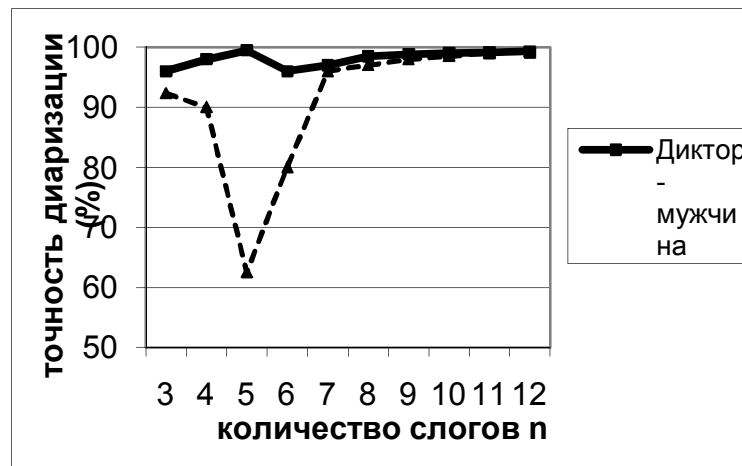


Рисунок 6 – Зависимость точности АДР (в %) для ЭО ПК ФДС от числа слогов n во входном словосочетании

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного экспериментального исследования можно сделать следующие выводы. Во-первых, точность классификации для ЭО ПК ФДС выше, чем для универсального решения задачи АРР, такого, как Google Voice Search (рис. 5). Во-вторых, качество предложенной системы можно повысить, если использовать более совершенные алгоритмы выделения открытых слогов, основанные, например, на предварительном выделении однородных последовательных сегментов речевого сигнала. В-третьих, важное преимущество адаптивной реализации (1) метода ФДС состоит в существенном (на порядок и более) сокращении вычислительных затрат на реализацию, при этом и точность, и надежность АРР обеспечиваются на высоком уровне. И, наконец, можно сделать главный вывод – разработанный ЭО ПК ФДС, основанный на требовании четкого слогового произношения, позволяет построить надежную систему голосового управления, в которой преодолены такие проблемы канонического подхода к АРР, как длительность процедуры настройки на диктора и сложность адаптации к новому рабочему словарю.

Таким образом, в работе показано, что если искусственно ввести требование к четкому слоговому произношению команд пользователем [14], то можно построить достаточно надежную систему с автоматически перенастраиваемым словарем и с увеличением качества распознавания по мере накопления информации в процессе функционирования. Отметим, что предложенный подход может применяться не только в голосовом управлении, но и в других сферах, требующих быстрой адаптации рабочего словаря, например, таких, как заказы по телефону продуктов и услуг в пределах переменного ассортимента. В задачах подобного рода требование к слоговому произношению слов диктором является более чем приемлемой платой за достигаемые преимущества в точности и надежности их распознавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tan B. A Distributed Speech Remote Control System Based on Web Service and Automatic Speech Recognition, Electrical Power Systems and Computers, Lecture Notes in Electrical Engineering, 2011. – P. 771-778, 99 p.
2. Benesty J., Sondh M., Huang Y. (eds.). Springer Handbook of Speech Recognition, Springer, New York, 2008. – 1159 p.
3. Rabiner L. A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition, Proceedings of the IEEE, 1989. – Vol. 77. – № 2. – P. 257-285.
4. Anusuya M.A., Katti S.K. Speech recognition by Machine: A Review, International Journal of Computer Science and Information Security, 2009. – № 6(3).

-
5. Патент РФ №2011125526/08 21.06.2011. Савченко А.В., Савченко В.В., Акатьев Д.Ю. Устройство для фонетического анализа и распознавания речи. Патент России на полезную модель № 111944, 2011. – Бюл. № 36.
 6. Kullback S. Information Theory and statistics, Dover Pub., 1997. – 399 p.
 7. Савченко В.В. Метод фонетического декодирования слов в задаче автоматического распознавания речи на основе принципа минимума информационного рассогласования // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2009. – № 5. – С. 31-41.
 8. Fredouille C., Senay G. Technical improvements of the EHMM based speaker diarization system for meeting records, Lecture Notes in Computer Science Proc. of Machine Learning for Multimodal Interaction (MLMI), 2007.
 9. Савченко В.В. Разработка фонетических алгоритмов распознавания и диаризации речи с автоматически перенастраиваемым рабочим словарем // Системы управления и информационные технологии, 2012. – № 3(49). – С. 99-100.
 10. Марпл С.Л.-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
 11. Савченко В.В., Савченко А.В. Методика формирования рабочего словаря в системах автоматического распознавания речи по тематическому файлу в текстовом формате // Системы управления и информационные технологии, 2012. – № 2.2(48). – С. 284-289.
 12. Савченко А.В. Автоматическое построение фонетической транскрипции речи на основе принципа минимума информационного рассогласования // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 8. – С. 14-19.
 13. Schuster M. Speech Recognition for Mobile Devices at Google // Lecture Notes in Computer Science, 2010 (6230). – P. 8-10.

Савченко Андрей Владимирович

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Нижний Новгород

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий

Тел.: 8 950 624 32 85

Email: avsavchenko@hse.ru

A. V. SAVCHENKO (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies*)
National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod

EXPERIMENTAL STUDY RESULTS OF THE PHONETIC WORDS DECODING METHOD IN RUSSIAN SPEECH RECOGNITION AND DIARIZATION PROBLEMS

The results of experimental study of software prototype of the words phonetic decoding method with the Kullback-Leibler information discrimination principle in Russian speech recognition and diarization are discussed. The proposed system is shown to be characterized by high reliability and computing efficiency of the isolated words recognition. The recommendations of its practical usage in a remote control applications are given.

Keywords: *automatic russian speech recognition; speech diarization; words phonetic decoding method; minimum information discrimination principle.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Tan B. A Distributed Speech Remote Control System Based on Web Service and Automatic Speech Recognition, Electrical Power Systems and Computers, Lecture Notes in Electrical Engineering, 2011. – P. 771-778, 99 p.
 2. Benesty J., Sondh M., Huang Y. (eds.). Springer Handbook of Speech Recognition, Springer, New York, 2008. – 1159 p.
 3. Rabiner L. A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition, Proceedings of the IEEE, 1989. – Vol. 77. – № 2. – P. 257-285.
 4. Anusuya M.A., Katti S.K. Speech recognition by Machine: A Review, International Journal of Computer Science and Information Security, 2009. – № 6(3).
-

-
5. Patent RF №2011125526/08 21.06.2011. Savchenko A.V., Savchenko V.V., Akat'ev D.Yu. Ustrojstvo dlya foneticheskogo analiza i raspoznavaniya rechi. Patent Rossii na poleznuyu model' № 111944, 2011. – Byul. № 36.
 6. Kullback S. Information Theory and statistics, Dover Pub., 1997. – 399 p.
 7. Savchenko V.V. Metod foneticheskogo dekodirvaniya slov v zadache avtomaticheskogo raspoznavaniya rechi na osnove principa minimuma informacionnogo rassoglasovaniya // Izvestiya VUZov Rossii. Radioelektronika, 2009. – № 5. – S. 31-41.
 8. Fredouille C., Senay G. Technical improvements of the EHMM based speaker diarization system for meeting records, Lecture Notes in Computer Science Proc. of Machine Learning for Multimodal Interaction (MLMI), 2007.
 9. Savchenko V.V. Razrabotka foneticheskix algoritmov raspoznavaniya i diarizacii rechi s avtomaticheskimi perenastraivaemy'm rabochim slovaryom // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tekhnologii, 2012. – № 3(49). – S. 99-100.
 10. Marpl S.L.-ml. Cifrovoy spektral'ny'j analiz i ego prilozheniya. – M.: Mir, 1990. – 584 s.
 11. Savchenko V.V., Savchenko A.V. Metodika formirovaniya rabocheho slovarya v sistemax avtomaticheskogo raspoznavaniya rechi po tematicheskomu fajlu v tekstovom formate // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tekhnologii, 2012. – № 2.2(48). – S. 284-289.
 12. Savchenko A.V. Avtomaticheskoe postroenie foneticheskoy transkripcii rechi na osnove principa minimuma informacionnogo rassoglasovaniya // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij, 2012. – № 8. – S. 14-19.
 13. Schuster M. Speech Recognition for Mobile Devices at Google // Lecture Notes in Computer Science, 2010 (6230). – P. 8-10.
-

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА
ПРОТЕСТНОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ**

В статье представлены основные этапы информационной поддержки модели анализа протестной активности населения регионов России (на основе обработки текстовой информации открытых источников сети Интернет), позволяющие создать информационно-аналитическую систему мониторинга общественно-политической активности.

Ключевые слова: акции протеста; общественно-политические группы; открытые источники сети Интернет; индекс общественно-политической активности; показатель дестабилизации общества.

Проблема протестной активности населения в нашей стране приобретает все более злободневный и актуальный характер. С одной стороны, общественно-политическая активность населения важна, так как позволяет вскрывать проблемы нашего общества, следовательно, строить правовое государство. Однако важно отметить, что наряду с конструктивными формами протестной активности, вызванной неудовлетворенностью общественно-политической и социально-экономической ситуацией в стране и ее регионах, отдельные формы и виды протестов имеют негативные угрожающие последствия, приводят к дестабилизации общества.

Наличие методик и программных средств, позволяющих детально анализировать и на этой основе прогнозировать протестную активность различных групп населения, позволяет повысить эффективность качества управления ОГВ, обеспечивая стабильное развитие государства.

В настоящее время имеются методики оценки протестной активности, протестного потенциала, основанные на методах социологических опросов [1], обработки данных госстатистики [2]. Технологии, основанные на этих методах, безусловно, имеют немаловажное значение для анализа общественно-политических ситуаций и кризисов. Однако следует обратить внимание на субъективность и невысокую оперативность таких методов.

Многогранность рассматриваемой проблемы предполагает использование разнообразных источников информации (далее по тексту ИИ). Развитие информационных технологий выдвинуло на передний план значимость информации, полученной в результате обработки открытых источников сети Интернет. В них содержится огромный информационный пласт, отражающий разные формы и виды акций протеста во всех регионах Российской Федерации. Современные технические средства и разработка информационных систем позволяют делать такую информацию наиболее доступной и оперативной.

По мнению авторов, использование информационных технологий не только для обработки данных, но для их сбора повышает качество информации, следовательно, позволяет своевременно принимать меры по урегулированию общественно-политической ситуации в стране и ее регионах через управление.

В соответствии с этим, в данной работе представлена разработка информационно-аналитической системы анализа протестной активности населения в регионах России, которая базируется на данных, полученных из открытых источников сети Интернет (рис. 1).

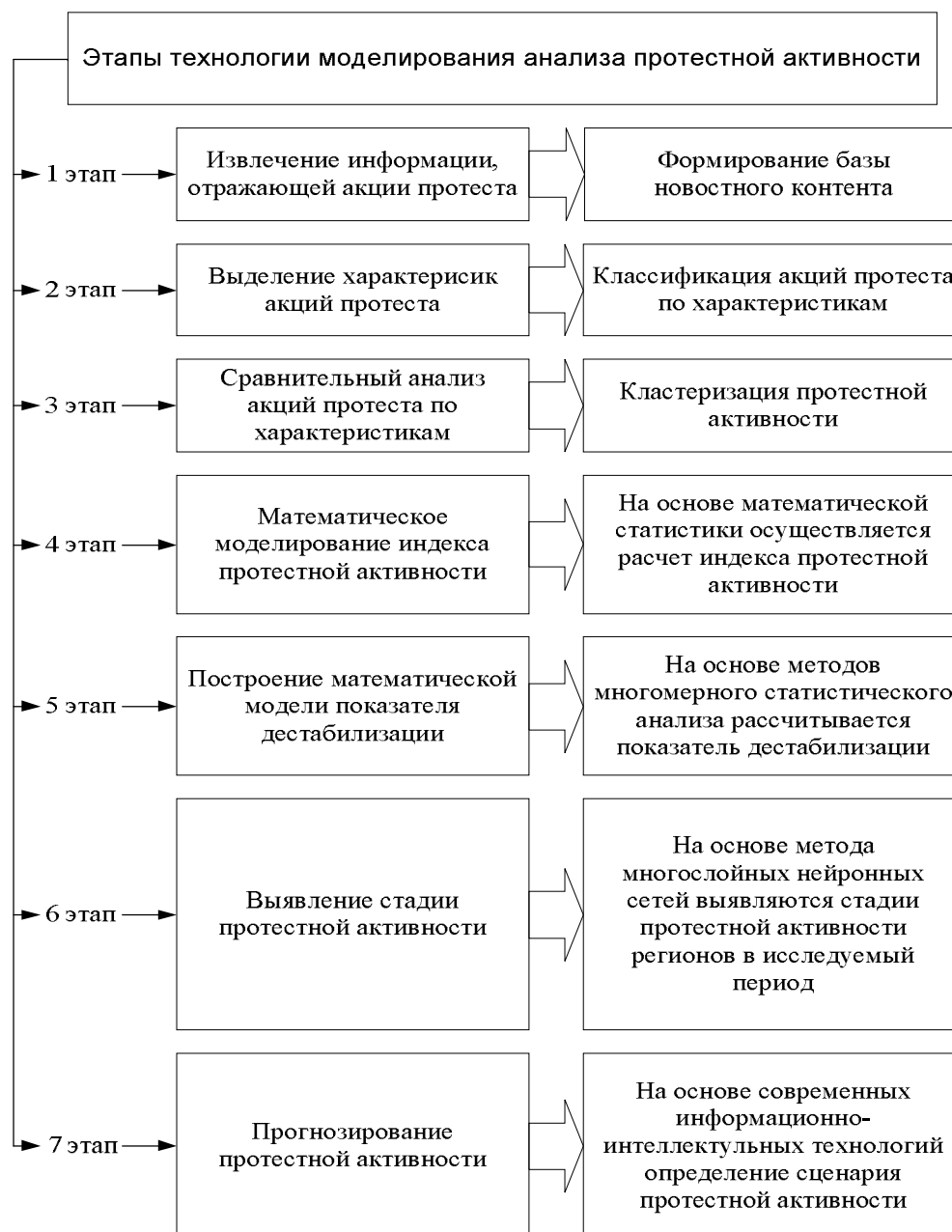


Рисунок 1 – Основные этапы технологии моделирования анализа протестной активности

Автоматизация извлечения информации, отражающей состоявшиеся акции протеста за исследуемый период, осуществляется методом лингвистического контент-анализа [3].

В качестве основных достоверных источников информации (на основании апробации ИАС) целесообразно использовать крупнейшие независимые информационные агентства России Интерфакс (Interfax.ru), РИА НОВОСТИ (Ria.ru) и ИТАР-ТАСС (Itar-tass.com).

Разработанный программный продукт позволяет взаимодополнять данные и одновременно осуществлять проверку достоверности информации по коррелируемости событий и количественных данных. Его результатом является формирование базы новостного контента.

Задачей второго этапа является выделение (в автоматическом режиме) на основе кластерного [4] и лингвистического контент-анализа из полученной информации о каждой акции протеста аналитических характеристик (рис. 2).

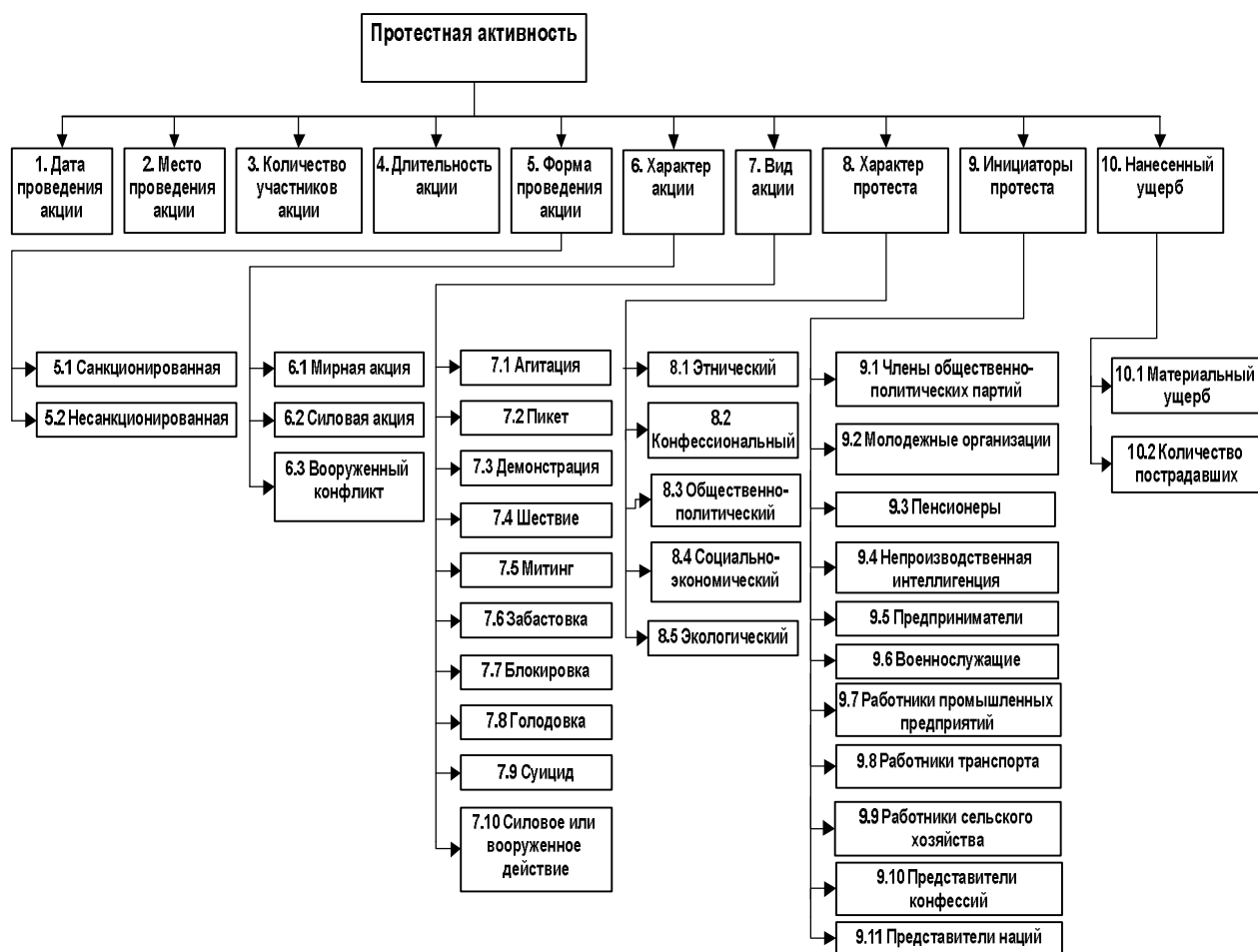


Рисунок 2 – Иерархическая система характеристик протестной активности

Следует обратить внимание на характер акций протеста. В этой характеристике отражаются причины недовольства населения регионов или отдельных групп социально-экономическим и общественно-политическим положением в стране или в отдельных регионах.

Этнический: противоречия между представителями разных национальностей; противоречия между представителями национальностей и органами власти.

Конфессиональный: противоречия между представителями разных конфессий; противоречия между конфессиями и органами власти.

Общественно-политический: противоречия между партиями; противоречия между конкретной партией и органами власти; недоверие к власти; неудовлетворенность деятельностью власти; коррупция во властных структурах; преступность.

Социально-экономический: безработица; социальная незащищенность; проблемы здравоохранения; проблемы образования; проблемы ЖКХ; проблемы дорог; проблемы транспорта; проблемы газоснабжения; проблемы водоснабжения; проблемы энергоснабжения; проблемы культуры, этики; проблемы частного бизнеса; проблемы СМИ; проблемы сельского хозяйства; рост цен; низкая заработная плата; небольшой размер пенсий.

Экологический: проблемы экологии.

Приведенные причины имеющихся противоречий в обществе аккумулируют в себе 29 факторов, определяющих социальную напряженность и характер протеста [5].

На основе полученных в результате второго этапа данных осуществляется автоматизированный аналитический и графический анализ акций протеста (на основе кластерного анализа), позволяющий:

1) Выявлять:

- места доминирования акций протеста;
- основные причины протестов;
- основных инициаторов и активных участников протестов.

2) Выполнять сравнительный анализ динамики акций по каждой из характеристик.

Результаты такого анализа позволяют органам власти и управления принимать своевременные решения по урегулированию кризисных ситуаций в стране и ее регионах через повышение качества управления.

Следующий этап информационно-аналитического анализа характеризуется математическим моделированием и автоматизацией расчета индекса протестного потенциала.

Протестный потенциал – интегральная информационная характеристика общественно-политической системы, отражающая уровень протестной активности населения. Для сравнения регионов по уровню протестной активности вводится индекс протестного потенциала региона I_{PPr} .

В качестве исходных данных протестного потенциала отобраны информационные показатели характеристик протестной активности, представленные на рисунке 3.



Рисунок 3 – Информационная база моделирования показателя протестного потенциала

Значение интегрального показателя индекса протестного потенциала r -го региона определяется выражением (1):

$$I_{PPr}(t) = \frac{f(X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, \dots, X^{(5)})}{N_r}, \quad (1)$$

где N_r – количество взрослого населения в регионе (старше 18 лет).

Для характеристики временной динамики уровня протестной активности в регионе вводится временной индекс протестного потенциала $I_{PPr}(t_{m1}, t_{m2})$, где t_{m1}, t_{m2} – моменты времени t_1, t_2 анализируемого временного ряда.

Это дает возможность оценивать изменение протестного потенциала в рамках текущего отсчета времени. В этом случае временной относительный индекс протестного потенциала региона характеризует временную относительную динамику протестного потенциала и рассчитывается как разность значений нормированных в пределах отсчета времени индексов протестного потенциала региона:

$$I_{PPr}(t_{n1}, t_{n2}) = \tilde{I}_{PPr}(t_{n1}) - \tilde{I}_{PPr}(t_{n2}), \quad (2)$$

где $I_{PPr}(t_1, t_2)$ – значение временного относительного индекса протестного потенциала r -го региона для моментов времени t_1, t_2 ; $\tilde{I}_{SPi}(t)$ – значение нормированного индекса протестного потенциала r -го региона в исследуемый момент t ; t_{n1}, t_{n2} – моменты времени n_1, n_2 анализируемого временного ряда.

Данный индекс можно рассматривать в качестве оценки автодинамики показателя протестного потенциала региона, учитывающего его изменение относительно других регионов.

Положительные значения характеризуют приращение индекса протестного

потенциала во времени (при условии $t_{n1} > t_{n2}$), отрицательные свидетельствуют о его снижении для обследуемого региона.

Сформированное семейство индексов авто- и межрегиональной протестной активности позволяет осуществлять сравнение регионов по уровню протестной активности, что дает возможность (с учетом третьего этапа представленной структурно-функциональной модели) повысить обоснованность и снизить время принятия решений в процессах управления общественно-политическими системами.

В рамках данного исследования принято, что процесс повышения уровня дестабилизации обусловлен интегрированием в своем составе определенных соответствующих характеристик протестной активности. Их изменение может приводить в конечном итоге к изменению показателя дестабилизации. Построение модели и автоматизированный расчет показателя дестабилизации общества в регионе (P_{Dr}), отражающий уровень негативного воздействия протестной активности на стабильность общественно-политического развития, базируется на исследовании зависимости P_{Dr} от изменения значений характеристик протестной активности.

Модель взаимосвязи показателя дестабилизации представлена многомерным регрессионным анализом [6], отличающимся процедурами обработки множественных характеристик протестной активности, влияющих на дестабилизацию общественного развития государства и отдельных ее регионов.

$$P_{Dr} = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m) + \zeta, \quad (3)$$

где X_j – характеристики показателя дестабилизации, выявленные многомерным факторным анализом.

Факторным анализом (методом главных компонент) выделено четыре независимые переменные (фактора), детерминирующие показатель дестабилизации.

Таковыми характеристиками, по результатам проведенных исследований [5], являются: количество проявлений акций, дестабилизирующих общество (F_a); количество участников акций (F_u); величина материального ущерба (F_m); количество пострадавших в результате проведенных акций (F_p).

Тогда регрессионное уравнение, характеризующее изменение показателя дестабилизации при изменении значений соответствующих факторов на единицу, имеет вид:

$$P_{Dr} = b_1 F_a + b_2 F_u + b_3 F_m + b_4 F_p + \xi \quad (4)$$

Вектор параметров такой модели находится при условии минимизации ее ошибки ξ . С использованием метода наименьших квадратов (МНК) выводится формула для определения множества параметрических значений b_j .

На этапе расчета стадии протестной активности по степени ее негативного воздействия на стабильность развития государства и его регионов применяются технологии многослойных нейронных сетей [7].

На выходе нейронной сети рассчитывается $U_{PAr}(\Delta t)$ – уровень деструктивности воздействия протестной активности в регионе за определенный исследуемый период на развитие общества, определяющий стадию протестной активности (SPA). Входными данными являются частоты свершения каждого фактора, влияющего на вес соответствующей стадии с учетом рассчитанной степени влияния фактора на стадию.

Для расчета степени влияния акций протеста (с учетом их вида, характера и формы) на показатель дестабилизации используется метод парных сравнений Саати [8], позволяющий получить весовые коэффициенты и показатель согласованность мнения экспертов.

Согласно методу парных сравнений, степень влияния факторов на стадию протестной активности представляет собой собственный вектор, соответствующий максимальному собственному значению обратно-симметричной матрицы парных сравнений степеней влияния факторов.

$$Mf^i SF^i = \lambda_{\max} SF^i, \quad (5)$$

где Mf^i – обратно-симметричная матрица парных сравнений степеней влияния множества факторов F_j^i на уровень дестабилизации; SF^i – вектор степени влияния фактов на уровень дестабилизации, λ_{\max} – максимальное собственное значение матрицы Mf^i .

Показателем согласованности мнения эксперта является индекс согласованности.

$$Is_i = \frac{\lambda_{\max} - NF^i}{NF^i - 1}, \quad (6)$$

где Is_i – индекс согласованности мнения эксперта для i -го уровня; NF^i – количество факторов, описывающих i -ый уровень.

Если он меньше порогового значения, то суждения эксперта удовлетворительны, в противном случае матрица сравнений должна быть пересмотрена.

С учетом специфики решаемой задачи требуемая нейронная сеть имеет вид, представленный на рисунке 4, где SPA – единая характеристика стадий протестной активности, которая принимает значения от 0 до 1 и показывает состояние протестной активности в рассматриваемый период; FZ^i – вес i -ой стадии; $net_i^l, net_i^h, net_i^o$ – правило комбинирования входных сигналов; $f_i^l(net_i^l), f_i^h(net_i^h), f_i^o(net_i^o)$ – функция активности, определяющая правило вычисления выходного сигнала, который будет передан элементам следующего слоя, $W_{i,k}$ – весовые коэффициенты.

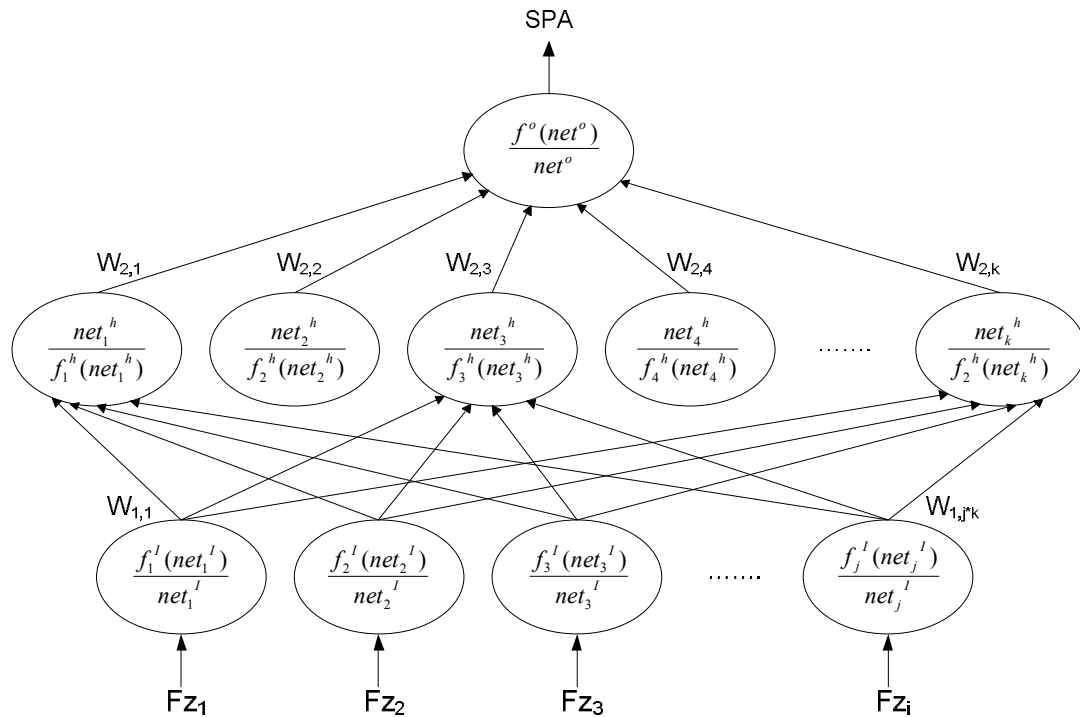


Рисунок 4 – Вид нейронной сети, используемой в выявлении стадии протестной активности

Итоговое влияние фактора на соответствующую ему стадию будет определяться по формуле:

$$VF^i = SF_j^i \cdot NF_j^i, \quad (7)$$

где VF^i – итоговое влияние фактора j на соответствующую стадию i ; SF_j^i – степень влияния фактора j на стадию i ; NF_j^i – количество акций определенного вида за исследуемый период времени фактора j .

Веса стадии рассчитываются как средние значения итоговых степеней влияния

факторов, описывающих данную стадию.

Для расчета определенной стадии протестной активности необходимо обучить нейронную сеть. Для обучения нейронной сети используется алгоритм обратного распространения ошибок.

По полученной в результате единой характеристике стадий протестной активности SPA определяется стадия протестной активности исследуемого региона в исследуемый период. С этой целью выделены следующие стадии: «Допустимая», «Повышенная», «Высокая», «Критическая».

Прогнозирование протестной активности заключается в определении сценария ее дальнейшего развития. Под сценарием понимается множество факторов, соответствующих событиям, которые могут произойти в прогнозируемый период. Для этого используется база данных по протестной активности, хранящая информацию о прошедших акциях протеста.

Определение сценария дальнейшего развития протестной активности осуществляется с использованием метода мягких притязаний [9], в результате чего для каждого фактора сценария j вычисляется показатель его свершения в прогнозируемый интервал времени Δt .

В заключении следует сказать, что интегральный подход к анализу протестной активности, использующий различные информационные методы сбора и обработки информации с оптимальным использованием математического моделирования, может обслуживать процесс принятия решений. Следовательно, прогноз, построенный на основе такого детального анализа, может выступать фактором государственного управления, так как получаемые результаты позволяют своевременно обнаружить причины недовольства населения, выявить социальные группы, общественные организации, являющиеся потенциальными инициаторами и активными участниками протестных акций. Регулирование протестной активности (через управление), направление в конструктивное русло позволит трансформировать ее в гражданскую социальную активность, способствующую формированию и развитию справедливого гражданского общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдые П. Социология политики. – М., 1993; Валлерстайн И. После либерализма. – М., 2003; Дарендорф Р. Тропы из утопии. – М., 2002; Барлоу Д. Декларация независимости киберпространства. – М., 2004; Нэбб К. Радость революции. – М., 2003; Ортега-и-Гассет Х. Восстание масс. – М., 2003. Мертон Р. Социальная структура и аномия // Социс, 1992. – № 3-4; Назаров М.М. Политический протест: опыт экономического анализа // Социс, 1995. – № 11; Растов Ю.Е. Протестное поведение в регионе // Социс, 1996. – № 6; Luhmann N. Protest: Systemtheorie und Soziale Bewegungen. – Frankfurt a/M, 1997.
 2. Грызлов И.Н., Белов В.П. Информационная технология оценки социальной напряженности в регионах России // Информационные системы и технологии, 2010. – № 1/57(584). – С. 50-57.
 3. Барсегян А.А. Анализ данных и процессов: учебн. пособие / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод, М.Б. Теес, С.И. Елизаров. – 3-е изд., перер. и доп. – Спб.: БХВ – Петербург, 2009. – 512 с.
 4. Петрушин Ю.Ю. Информационные технологии анализа данных. Data analysis: учебное пособие. – 2-е издание – М.: КДУ, 2010. – 292 с.
 5. Баранова Г.В., Фролов В.А, Кондрашин А.В. Особенности социальной напряженности в регионах России // Социолог. исслед., 2011. – № 6. – 48 с.
 6. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Б., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике: учеб. пособие для ВУЗов / под ред. проф. В.Н. Тамашевича. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
 7. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
 8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 315 с.
 9. Кретов В.С., Котов М.Н. Особенности компьютерного прогнозирования международного конфликта // Информационные технологии в управлении социально-экономическими, политическими и административными процессами: сборник научных статей; под общ. ред. А.Н. Данчула. – М.: Изд-во РАГС, 2009. – 188 с.
-

Баранова Галина Васильевна

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат социологических наук, старший научный сотрудник

Тел.: 8 (4862) 54-95-21

E-mail: orel.bgv@gmail.com

Баранов Александр Александрович

Академия ФСО России, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 (4862) 54-95-21

E-mail: 1c-love@mail.ru

G.V. BARANOVA (*Candidate of Sociological Sciences, Senior Researcher*)

A.A. BARANOV (*Senior Researcher*)

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

STRUCTURALLY-FUNCTIONAL MODEL OF INFORMATION SYSTEM OF THE ANALYSIS OF PROTEST POPULATION ACTIVITY IN RUSSIAN REGIONS

Basic stages of information support of model of the analysis of protest population activity in Russian regions (built on the processing of the Internet open sources text information) are represented in the article. It allows to create information-analytical system of political activity monitoring.

Keywords: *protest actions; political groups; Internet open sources; index of political activity; indicator of society destabilization.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Burd'e P. Sociologiya politiki. – M., 1993; Vallerstajin I. Posle liberalizma. – M., 2003; Darendorf R. Tropy' iz utopii. – M., 2002; Barlou D. Deklaraciya nezavisimosti kiberprostranstva. – M., 2004; Nebb K. Radost' revolyucii. – M., 2003; Ortega-i-Gasset H. Vosstanie mass. – M., 2003. Merton R. Social'naya struktura i anomiya // Socis, 1992. – № 3-4; Nazarov M.M. Politicheskij protest: opyt' e'konomicheskogo analiza // Socis, 1995. – № 11; Rastov Yu.E. Protestnoe povedenie v regione // Socis, 1996. – № 6; Luhmann N. Protest: Systemtheone und Soziale Bewegungen. – Frankfurt a/M, 1997.
 2. Gry'zlov I.N. Informacionnaya texnologiya ocenki social'noj napryazhyonnosti v regionax Rossii / I. N. Gryzlov, V. P. Belov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 1/57(584). – S. 50-57.
 3. Barsegyan A.A. Analiz dannyh i processov: uchebn. posobie / A.A. Bargesyan, M.S. Kupriyanov, I.I. Holod, M.B. Tees, S.I. Elizarov, 3-e izd., perer. i dop. – Spb.: BHV – Peterburg, 2009, 512 s.
 4. Petrushin Yu.Yu. Informacionny'e tehnologii analiza dannyh. Data analisis: uchebnoe posobie / Yu.Yu. Petrushin – 2-e izdanie – M.: KDU, 2010. – 292 s.
 5. Baranova G.V., Frolov V.A., Kondrashin A.V. Osobennosti social'noi napryajennosti v regionax Rossii / G.V. Baranova., V.A. Frolov, A.V. Kondrashin // Sociolog. issled. – 2011. – № 6. – S. 48.
 6. Soshnikova L.A., Tamashevich V.B., Uebe G., Shefer M. Mnogomerny'j statisticheskij analiz v e'konomike: ucheb. posobie dlya VUZov / pod red. prof. V.N. Tamashevicha. – M.: YuNITI-DANA, 1999. – 598 s.
 7. Kruglov V.V., Borisov V.V. Iskusstvenny'e nejronny'e seti. Teoriya i praktika. – M: Goryachaya liniya-Telekom, 2001. – 382 s.
 8. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxii. – M.: Radio i svyaz', 1993. – 315 s.
 9. Kretov V.S., Kotov M.N. Osobennosti komp'yuternogo prognozirovaniya mezhdunarodnogo konflikta // Informacionny'e tehnologii v upravlenii social'no-ekonomicheskimi, politicheskimi i administrativny'mi processami: sbornik nauchny'x statej; pod obsch. red. A.N. Danchula. – M.: Izd-vo RAGS, 2009. – 188 s.
-

СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЯДА

В обобщенном виде получено уравнение, описывающее операцию нелинейной демодуляции на основе функционального ряда. Синтезирована структурная схема, реализующая последовательно процедуру демодуляции от низкого порядка нелинейности к более высокому.

Ключевые слова: нелинейная демодуляция, ; функциональный ряд, ; базисная функция.

K. A. BATENKOV

NONLINEAR DEMODULATOR STRUCTURAL DIAGRAM SYNTHESIS ON BASIS FROM OF FUNCTIONAL SERIES

An generalized Equation describing the nonlinear demodulation operation is has been obtained in generalized view on basis of from a functional series. A Sstructural diagram sequentially implementing the demodulation procedure from low nonlinear order to higher nonlinear order is has been synthesized.

Keywords: nonlinear demodulation, functional series, basis function.

Современный этап развития телекоммуникационных систем отличается серьёзным упором на стандартизацию используемого оборудования, что отчетливо демонстрируется повсеместностью применения эталонной модели [DT1] взаимодействия систем. При этом практически все интерфейсы и протоколы, используемые в технике связи [DT2], предусматривают передачу сигналов в оцифрованном виде. В то же время следует учитывать, что среды передачи, представляющие собой физическую основу для транспортировки информации, по своей природе являются аналоговыми. В результате можно утверждать, что практически в любой системе передачи неизбежно должно присутствовать устройство, осуществляющее преобразование передаваемых сообщений из цифровой формы в непрерывную аналоговую [DT3] и обратно.

Именно поэтому настоящая работа посвящена исследованию части подобного устройства, а именно: — процедур демодуляции. В качестве же цели работы целесообразно рассматривать повышение точности воспроизведения передаваемых сообщений посредством разработки процесса демодуляции аналоговых сигналов для общего нелинейного случая обработки [DT4].

Существует достаточно обширное число работ, посвященных синтезу оптимальных демодуляторов, причем в некоторых из них рассматривается одновременно и процедура вынесения решений первой схемой [1, 2]. Однако большинство авторов рассматривает лишь случай, когда оператор демодуляции является линейным, что несомненно оптимально, но лишь для гауссовских процессов. В то же время современные системы связи, как упоминалось ранее, ориентированы на передачу цифровой информации, что позволяет использовать математические модели сигналов в виде гауссовских процессов лишь с некоторым приближением. В этой связи применение нелинейных демодуляторов оказывается, с одной стороны, весьма перспективным, а с другой – недостаточно исследованным. Однако работ, посвященных описанию операции нелинейной демодуляции, не так уж [DT5] и много [3]. Кроме того, большинство из них подобных работ затрагивают лишь случай некоторого абстрактного описания оператора демодуляции, причем заданной структуры. Именно поэтому в исследовании подобных операторов в более общем виде на уровне функциональных зависимостей присутствует элемент научной новизны.

Хорошо известно, что наиболее общее описание нелинейных преобразований можно получить на основе функционального ряда Вольтерра. Однако при этом следует учесть, что в

каноническом виде он определяет нелинейные преобразования между бесконечномерными пространствами, а операция демодуляции Φ' задаёт отношения между конечномерными и бесконечномерными пространствами. Таким образом, необходимо несколько видоизменить ряд Вольтерра путем представления сигнала на конечномерном конце в виде ряда из взвешенных дельта-функций, то есть сигнал на выходе демодулятора $x'(t', \mathbf{r}')$ можно записать в непрерывном виде как следующую сумму:

$$x'(t', \mathbf{r}') = \sum_{k=1}^{N'} x'_k \delta(k-t') \delta(t' \mathbf{1}_{n_b} - \mathbf{r}'), \quad (1)$$

где $\mathbf{x}' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_{N'})^T$ [DT6] – вектор на выходе демодулятора размерности N' [DT7]; T – оператор транспонирования; $\delta(t')$ – дельта-функция Дирака; $\mathbf{1}_n$ – единичный вектор размерности n ; n_b – число измерений пространства на выходе демодулятора.

При этом ядра Вольтерра трактуются в смысле некоторых функций (базисных, или несущих), то есть по сути являются системными характеристиками, но не канала, а демодулятора, и обозначаются $\varphi'_i(t, \mathbf{r}, t_1, \dots, t_i, \mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_i)$. Подстановка (1) в выражение ряда Вольтерра, учет нелинейности, не превышающей величины N_b (число членов ряда Вольтерра ограничено данным значением), и замена переменных , **делает делают возможными** [DT8] следующее представление:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{N'} x'_k \delta(k-t') \delta(t' \mathbf{1}_{n_b} - \mathbf{r}') &= \sum_{i=1}^{N_b} \int \dots \int \dots \int \dots \int \left\{ \prod_{j=1}^i x'(t'_j, \mathbf{r}'_j) \right\} \times \\ &\times \varphi'_i(t', \mathbf{r}', t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) dt'_1 \dots dt'_i d\mathbf{r}'_1 \dots d\mathbf{r}'_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Отличность значения **Использование свойства дельта-функции отличия от нуля** [DT9] только в случае равенства нулю её аргумента позволяет представить выражение для координат сигнала на выходе демодулятора в виде:

$$\begin{aligned} x'_k &= \sum_{i=1}^{N_b} \int \dots \int \dots \int \dots \int \left\{ \prod_{j=1}^i x'(t'_j, \mathbf{r}'_j) \right\} \times \\ &\times \varphi'_i(k, k \mathbf{1}_{n_b}, t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) dt'_1 \dots dt'_i d\mathbf{r}'_1 \dots d\mathbf{r}'_i, \quad k = \overline{1, N'}. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, базисные функции демодуляции являются функциями временных и пространственных входных координат, так как выходные координаты дискретны, и подобные функции имеют следующий вид:

$$\varphi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) = \varphi'_i(k, k \mathbf{1}_{n_b}, t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i), \quad i = \overline{1, N_a}, \quad k = \overline{1, N'}. \quad (4)$$

На основе этого выражения операция нелинейной демодуляции преобразуется к форме:

$$\begin{aligned} x'_k &= \sum_{i=1}^{N_b} \int \dots \int \dots \int \dots \int \left\{ \prod_{j=1}^i x'(t'_j, \mathbf{r}'_j) \right\} \times \\ &\times \varphi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) dt'_1 \dots dt'_i d\mathbf{r}'_1 \dots d\mathbf{r}'_i, \quad k = \overline{1, N'}. \end{aligned} \quad (5)$$

В результате число базисных функций демодуляции определяется как произведение размерности сигналов на выходе демодулятора N' на степень его нелинейности N_b :

$$N_{\varphi'} = N' N_b. \quad (6)$$

Не смотря на их достаточно малое количество, имеющее линейную зависимость как от размерности сигналов на выходе демодулятора, так и от степени его нелинейности, сложности операций нелинейной модуляции и демодуляции оказываются сопоставимыми. В первую очередь, данное обстоятельство обусловлено увеличенным количеством переменных в функциях демодуляции порядка нелинейности, большего двух.

Снижение числа базисных демодуляций вполне возможно, вплоть до всего одной, поэтому (6) определяет верхнюю границу их количества. Однако в этом случае сужается класс исследуемых операторов демодуляции. В то же время снижение сложности демодуляции допустимо на основе учета свойств входящих в оператор функционалов. Так, все данные функционалы являются $\{i(n'+1)\}$ -линейными, поскольку по каждой из пространственных пространственной или временной координатам они являются линейными [4]. Кроме того, подобные функционалы оказываются также и однородными со степенью i по каждой из координат при фиксированных остальных, что предполагает возможность их представления с симметричными ядрами в рамках определенных координат [4]. В результате функционалы рассматриваются как регулярные однородные, в которых регулярность следует трактовать как симметричность базисных функций $\varphi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i)$ относительно переменных t'_1, \dots, t'_i , описывающих временную координату, при всех $\mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i$, описывающих пространственные координаты, а также относительно переменных $r'_{j,1}, \dots, r'_{j,i}$, $j = \overline{1, n'}$, описывающих j -ю пространственную координату, при фиксированных $t'_1, \dots, t'_i, r'_{j,1}, \dots, r'_{j,i}$, $j \neq j'$, $j' = \overline{1, n'}$, $\mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i$, описывающих временную и остальные пространственные координаты. Таким образом, сам оператор нелинейной демодуляции (5) образует функциональный полином степени N_b при нулевых начальных условиях [4]. Использование же свойства симметричности базисных функций демодуляции позволяет определять их вид только для части области определения, граница которой задается осью симметрии – $t'_1 \leq t'_2 \leq \dots \leq t'_i, \mathbf{r}'_1 \leq \mathbf{r}'_2 \leq \dots \leq \mathbf{r}'_i$. Естественно, что вследствие однородности функционалов в (5) возможна произвольная нумерация как пространственных, так и временных переменных. Для оставшейся области определения значения базисных функций демодуляции вычисляются из условия симметрии:

$$\varphi'_{i,k}(P'_{i,p}) = \varphi'_{i,k}(P'_{i,p'}), \quad p, p' = \overline{1, i}, \quad (7)$$

где $P'_{i,p} = \{t'_{j_p}, \mathbf{r}'_{j_p}\}$ – представляет собой уникальную перестановку исходного

упорядоченного множества временных и пространственных переменных $\{t'_j, \mathbf{r}'_j\}$, $j = \overline{1, i}$.

Еще большей общностью обладает операция нелинейной демодуляции (5), но в которой базисные функции являются случайными процессами, а не детерминированными. Подобные функции задают частный случай стохастического отображения пространственно-временного сигнала на выходе непрерывного канала связи $x'(t, \mathbf{r}')$ в сигнал на выходе демодулятора $\mathbf{x}' \Phi'$, задаваемого в общем случае бесконечномерными условными

плотностями вероятностей $\Phi': \omega_{\mathbf{x}'/\mathbf{x}'}[\mathbf{x}', \bar{\mathbf{x}}'; \{t'_j, \mathbf{r}'_j\}] = P[\bar{\mathbf{x}}'_j = x'(t'_j, \mathbf{r}'_j) | \mathbf{x}']$, $j = \overline{1, \infty}$, где

$\{t'_j, \mathbf{r}'_j\} = t'_1, \mathbf{r}'_1, t'_2, \mathbf{r}'_2, \dots, t'_\infty, \mathbf{r}'_\infty$ обозначают упорядоченные множества временных и пространственных переменных, а $P(A|B)$ – вероятность появления события A при условии, что имеет место событие B .

Поскольку детерминированные функции являются частным случаем стохастических, то рассмотрение подобного рода базисных функций существенно расширяет класс операторов нелинейной демодуляции и обобщает понятие разложений случайных функций в нелинейный стохастический ряд. При этом разумно ожидать роста показателей качества воспроизведения переданной информации по аналогии с задачами оценки параметров, для которых рандомизированные правила принятия решений оказываются для ряда критериев наилучшими, в то время как детерминированные существенно уступают им по используемому показателю качества [5, 6].

Тип случайных базисных функций может быть также довольно произвольным. Возможно использование стохастических процессов и полей, обладающих свойством марковости, имеющих заданные значения определенных моментов, а также некоторых параметров и т. п. При этом любой тип случайности расширяет класс операторов нелинейной модуляции и демодуляции, поскольку детерминированные функции могут быть получены из стохастических путем введения определенных допущений и по сути, как упоминалось ранее, являются лишь частным случаем случайных. Однако задание вида случайных функций несколько уступает в общности наиболее широкому классу случайных функций, для которых ограничения на какие-либо зависимости мгновенных значений, или на параметры и функции от них не накладываются вообще. Однако подобные ограничения в ряде случаев существенно упрощают решение задачи оптимального синтеза дискретного отображения непрерывного канала связи.

Для представления структурной схемы нелинейного демодулятора необходимо несколько видоизменить оператор демодуляции (5) путем его разбиения на составляющие, выполняющие операции демодуляции определенного порядка.

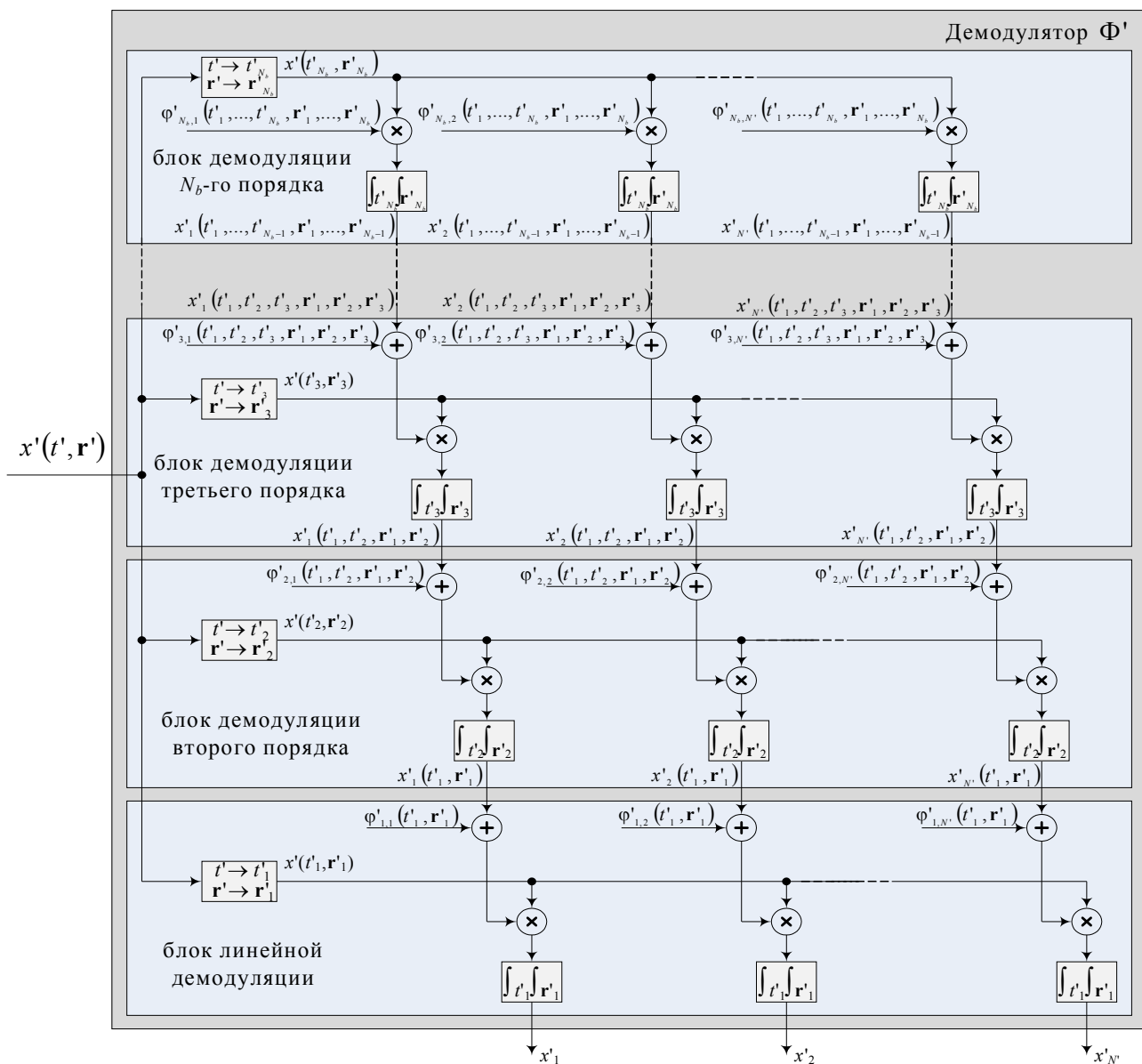
По индукции операция демодуляции m -го порядка представима в рекуррентном виде:

$$x'_k(t'_1, \dots, t'_{m-1}, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_{m-1}) = \int_{t'_m} \int_{\mathbf{r}'_m} x'(t'_m, \mathbf{r}'_m) \left\{ \Phi'_{m,k}(t'_1, \dots, t'_m, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_m) + x'_k(t'_1, \dots, t'_m, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_m) \right\}, \quad m = \overline{1, N_b}, \quad (8)$$

где $x'_k(t'_1, \dots, t'_m, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_m) = \sum_{i=m+1}^{N_b} \int_{t'_{m+1}} \dots \int_{t'_i} \int_{\mathbf{r}'_{m+1}} \dots \int_{\mathbf{r}'_i} \left\{ \prod_{j=m+1}^i x'(t'_j, \mathbf{r}'_j) \right\} \Phi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) \times dt'_{m+1} \dots dt'_i dr'_{m+1} \dots dr'_i$ – сигнал на выходе блока демодуляции m -го порядка.

Таким образом, структурную схему нелинейного демодулятора целесообразно рассматривать как соединение блоков демодуляции определенного порядка, каждый выход которых является входом блоков меньшего на единицу порядка нелинейности. В результате данная схема имеет вид, изображенный на рисунке 1.

Таким образом, в наиболее обобщенном структурированном виде уравнение (5), является, по сути, оператором нелинейной демодуляции Φ' . Выражения Выражение же (8) делают возможным представление данной операции в виде структурной схемы, реализующей последовательно процедуру демодуляции от низкого порядка нелинейности к более высокому. Следует подчеркнуть еще одно немаловажное достоинство именно структурного типа оператора. Так, в наиболее общем виде подобное отображение предполагает учет нелинейности произвольно большой степени, вплоть до бесконечной. В результате и реализация, и синтез оптимальной операции демодуляции оказывается весьма затруднительнойзатруднительными, за исключением случаев определенной заданной формы используемых базисных функций. Однако данное обстоятельство является достаточно сильным ограничением, поскольку способно существенно сократить класс операторов. Представление же операции в параметризованном виде делает возможным как выбор заданного числа базисных функций в рамках определенного порядка нелинейности, так введение ограничения на максимальную нелинейность оператора. В итоге, решение задачи синтеза оптимального демодулятора возможно как в общем виде (при устремлении степени нелинейности к бесконечности), что должно быть подобно оптимальным нелинейным системам, как правило трудно реализуемым на практике, так и при достаточно произвольных ограничениях на число и порядок нелинейности базисных функций, что приводит к сравнительно простым реализациям вышеописанных процедур.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. . Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции: пер. с англ.: в 3-х тт. / Г. Ван Трис. – М.: Советское радио, 1977. – Т. 1. – 744 с.
2. . Кремер И. Я., Кремер А. И., Петров В. М. и др. Пространственно-временная обработка сигналов / Под ред. И. Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
3. . Sykora J., «Symmetric capacity of nonlinearly modulated finite alphabet signals in MIMO random channel with waveform and memory constraints,» in Proc. IEEE Global Telecommunications Conf. (GlobeCom), (Dallas, USA), Dec. 2004. – Pp. 1–6., Dec. 2004.
4. . Пупков К. А., Капалин В. И., Ющенко А. С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
5. . Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. – М.: Советское радио, 1977. – 432 с.
6. . Репин В. Г., Тартаковский Г. П., Слепокуров А. А. Проверка многоальтернативных гипотез в условиях априорной неопределенности // Проблемы передачи информации. , 1991. – Т. 27. – Вып. 3. – С. 39–56.

Батенков Кирилл Александрович
 Академия ФСО, г. Орел
 Кандидат технических наук, докторант

Batenkov Kirill Aleksandrovich

Academy of Federal Guard Service Federal Agency of Protection of the Russian Federation [DT10], Orel

Ph.D. (Engineering) Candidate of Engineering Sciences, doctoral candidate [DT11]

E-mail: pustur@yandex.ru

K.A. BATENKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Doctoral Candidate* [DT12])

Academy of Federal Guard Service of the Russian Federation [DT13], Orel

**NONLINEAR DEMODULATOR STRUCTURAL DIAGRAM SYNTHESIS
FROM FUNCTIONAL SERIES**

A generalized equation describing the nonlinear demodulation operation has been obtained from a functional series. A structural diagram sequentially implementing the demodulation procedure from low to higher nonlinear order has been synthesized.

Keywords: *nonlinear demodulation; functional series; basis function.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Van Tris G. Teoriya obnaruzheniya, ocenok i modulyacii: per. s angl.: v 3-x t. – M.: Sovetskoe radio, 1977. – T. 1. – 744 s.
 2. Kremer I.Ya., Kremer A.I., Petrov V.M. i dr. Prostranstvenno-vremennaya obrabotka signalov / pod red. I.Ya. Kremera. – M.: Radio i svyaz', 1984. – 224 s.
 3. Sykora J. «Symmetric capacity of nonlinearly modulated finite alphabet signals in MIMO random channel with waveform and memory constraints» in Proc. IEEE Global Telecommunications Conf. (GlobeCom), (Dallas, USA), Dec. 2004. – P. 1-6.
 4. Pupkov K.A., Kapalin V.I., Yushhenko A.S. Funkcional'ny'e ryady' v teorii nelinejny'x sistem. – M.: Nauka, 1976. – 448 s.
 5. Repin V.G., Tartakovskij G.P. Statisticheskij sintez pri apriornoj neopredelyonnosti i adaptaciya informacionny'x sistem. – M.: Sovetskoe radio, 1977. – 432 s.
 - 1.6. Repin V.G., Tartakovskij G.P., Slepokurov A.A. Proverka mnogoal'ternativny'x gipotez v usloviyax apriornoj neopredelyonnosti // Problemy' peredachi informacii, 1991. – T. 27. – Vy'p. 3. – S. 39-56.
-

**СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ОХРАНЫ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВНЕВЕДОМСТВЕННОЙ ОХРАНЫ**

В статье рассматривается структурная модель организации управления силами и средствами вневедомственной охраны, привлекаемыми для охраны пространственно-удаленных объектов.

Ключевые слова: модель; организация; управление; охрана.

В настоящее время существует большое количество радиосистем передачи извещений (РСПИ) с различной логикой опроса объектовых устройств (ОУ), используемых для осуществления охраны по радиоканалу объектов государственной и частной собственности удаленных от ПЦО (пульт централизованной охраны) [1-3].

Существуют РСПИ как с двухсторонней, так и с односторонней связью ОУ с ПЦО. При большом количестве ОУ с асинхронным принципом передачи данных (односторонняя связь), работающих на одной частоте, возникает проблема взаимодействия между ними, что решается использованием сотового принципа расположения ретрансляторов и использованием работы ОУ с нескольких частот.

РСПИ с двухсторонней связью позволяют организовывать групповые и индивидуальные запросы о состоянии ОУ. Вариация групповых и индивидуальных запросов способна обеспечить в системе быструю реакцию на события, постоянный мониторинг системы, состояния всех объектов с заданной периодичностью.

Поскольку на ОУ стоят маломощные передатчики, расположение их в зоне неуверенного приема (в условиях городской застройки), а также присутствие других помеховых факторов, ухудшающих условия прохождения сигнала требуют от работы системы определенного алгоритма исключаящего формирования системой тревожного извещения о состоянии объекта при незначительных (случайных) сбоях.

Проведенный анализ [2-5] показывает, что возникает необходимость повышения качества принятия управленческих решений при охране пространственно-удаленных объектов.

Предложим структурную модель организации управления силами и средствами вневедомственной охраны, привлекаемыми для охраны пространственно-удаленных объектов (рис. 1).

Система централизованной охраны представляет собой совокупность объединенных по радиоканалу (через ретрансляторы) комплексов охранной сигнализации, вся информация от которых собирается на ПЦО.

Структурно комплекс охранной сигнализации (КОС) на охраняемом объекте представляет собой совокупность совместно функционирующих технических средств ОС (ТС ОС), установленных на охраняемом объекте: извещатели охраны (ИО), извещатели пожарной сигнализации (ИП), включенных в шлейф сигнализации (ШС), объединённых системой инженерных сетей и коммуникаций.

Управление централизованной охраной осуществляется обслуживающим персоналом ПЦО, а при сложной оперативной обстановке ПЦО придается личный состав дежурной части ОВД.

При поступлении сигналов от сети датчиков сигнализации через шлейф сигнализации на вход приёмно-контрольного прибора (контроллера) на его выходе формируются сигналы, которые управляют работой оповещателей. Информационный обмен с ПЦО осуществляется по радиоканалу. При нахождении охраняемого объекта на большом удалении от ПЦО (на

границе радиовидимости) возможно применение ретрансляторов.



Рисунок 1 – Структурная модель принятия решений силами и средствами вневедомственной охраны

Объектовое оконечное устройство (ОУ) представляет собой составную часть системы, устанавливаемую на охраняемом объекте для приёма извещений от ПКП, шлейфа сигнализации, преобразования сигналов и их передачи по каналу связи через ретранслятор в ПЦО, а также (при наличии обратного канала) для приёма извещений телеуправления от ретранслятора (ПЦО).

Возмущающим фактором начала функционирования системы охраны является факт срабатывания ТС ОС. Выработанный извещателем сигнал тревоги по линиям передачи данных поступает на пульт централизованной охраны. После получения сигнала тревоги дежурный пульт управления по радиостанции передает информацию о тревоге на объекте группе задержания, которая, подтверждая сигнал тревоги, кратчайшим маршрутом едет к охраняемому объекту.

Обобщенная структура типового комплекса охранной сигнализации объекта собственности приведена на рисунке 2.

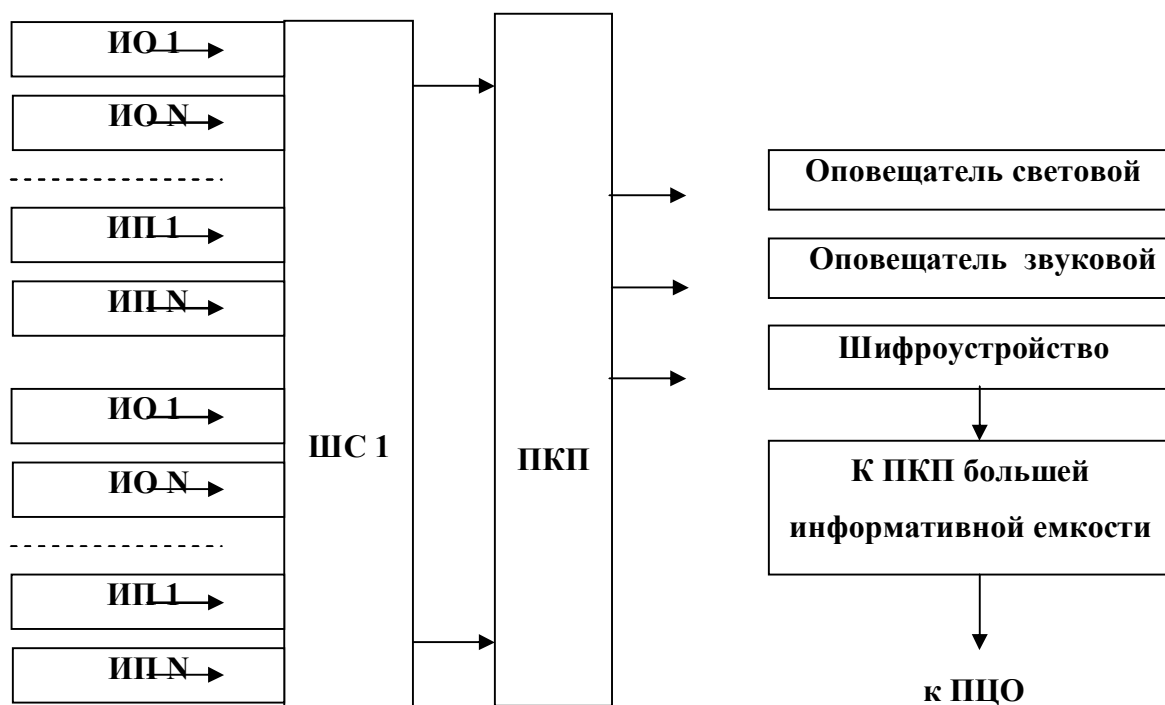


Рисунок 2 – Обобщенная структура типового комплекса охранной сигнализации

Взаимодействие осуществляется путем передачи информации этими группами непосредственно на ПЦО по радиоканалу, а также по линиям передачи данных, в качестве которых чаще всего используются абонентские телефонные линии.

На основе обмена информацией между объектом и субъектом управления о состоянии системы охраны объекта, ее анализа дежурный или начальник ПЦО принимает решение о дальнейших действиях нарядов. В случае обнаружения явного проникновения (разбитые витрины, сорванные замки и т.д.) группа задержания информирует дежурного ОВД, который высылает оперативную группу.

До прибытия оперативной группы ОВД группа задержания осуществляет задержание преступника и охрану объекта, а дежурный ПЦО привозит собственника этого объекта, производят его вскрытие и осмотр. Если явного проникновения не обнаружено, то дежурный ПЦО также привозит собственника. Объект вскрывается, его осматривают и перезакрывают.

В случае обнаружения преступника его задерживают. Если преступник не обнаружен, тогда группа задержания выясняет причину срабатывания ТС ОС и сообщает на пункт централизованной охраны [3, 4].

Система охраны, применяемая на охраняемом объекте, должна обеспечивать сохранность материальных или иных ценностей, находящихся на объекте, и удовлетворять следующим принципам построения системы [1-4]:

- принципу разумной достаточности, который заключается в создании системы безопасности, адекватной потенциальной угрозе;
- принципу равной защищенности, который заключается в создании одинаковых

уровней охраны различных элементов системы охраны;

– принципу экстремального времени, который заключается в стремлении, с одной стороны, максимально возможно увеличить время сопротивления элементов системы охраны несанкционированному воздействию, а с другой – уменьшить время реакции системы на попытку совершения кражи.

Повышение эффективности управления системой охраны пространственно-удаленных объектов возможно при реализации комплекса мероприятий, существо которых заключается в достижении оптимальных параметров принимаемых сигналов, циркулирующих в контуре управления.

В качестве возможных способов предлагается:

– применять в качестве средств передачи информации ретрансляторы (извещатели охраны) с направленными антенными устройствами;

– осуществить поиск оптимальных с точки зрения качества передаваемой информации маршрутов передачи информации;

– применять в качестве средств контроля радиоканала распространения дополнительные радиолокационные средства;

– разработать алгоритмы функционирования системы охраны пространственно-удаленных объектов в условиях воздействия помех.

В этом случае тревожное извещение, передаваемое со вскрытого объекта, передается не только через «свой» ретранслятор, но и через соседний. Полученный на ПЦО сигнал, прошедший по нескольким каналам связи, дублируется, что повышает достоверность передаваемой информации.

В случае, когда сеть ретрансляторов не развита, целесообразно применять дополнительно средства контроля каналов связи, построенной на основе линейных датчиков охраны. Применение дополнительных датчиков охраны позволит осуществлять контроль за средой распространения.

При возникновении препятствий в процессе прохождения электромагнитной волны линейный датчик охраны вырабатывает тревожное извещение, которое поступает непосредственно на ПЦО. Данное сообщение носит информационный характер и на его основании принимается решение об истинных намерениях нарушителя.

Постановка преднамеренных помех на линиях радиосвязи, как правило, происходит заблаговременно, что может быть учтено при принятии решения на выезд ГЗ (либо технической службы, обслуживающей данный участок).

Реализация указанных мероприятий позволит повысить достоверность получаемой информации и позволит более рационально планировать действия ГЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 452 с.
 2. Рогозин Е.А. Методы и средства автоматизированного управления подсистемой контроля целостности в системах защиты информации / Е.А. Рогозин, А.С. Дубровин, В.И. Сумин и др.: монография. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 165 с.
 3. Сумин В.И. Пути повышения безопасности охраны пространственно-распределенных объектов от проникновения нарушителя: монография / В.И. Сумин, А.Ю. Немченко, Д.О. Орлов. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 110 с.
 4. Белокуров С.В. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации / С.В. Белокуров, Ю.В. Бугаев, Ю.С. Сербулов и др.: монография. – Воронеж: Научная книга, 2005. – 199 с.
 5. Багринцева О.В., Сумин В.И. Процесс анализа деятельности управленческого решения в организационной системе // Всеросс. науч.-практич. конф. – Краснодар: Изд-во КубГУ, 2010. – С. 49-50.
-

Белокуров Сергей Владимирович

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационно-техническое обеспечение»

E-mail: bsvlabs@mail.ru.

Багринцева Оксана Владимировна

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж

Адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел

E-mail: ganych-oksana@rambler.ru

Белокуров Владимир Петрович

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Организации перевозок и безопасности движения»

E-mail: opbd_vglta@mail.ru

S.V. BELOKUROV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
of the Department «Information and Technical Support»*)

O.V. BAGRINCEVA (*Adjunct of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs)
Voronezh Institute Ministry of the Interior of RF, Voronezh*)

V.P. BELOKUROV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department
«Transport Management and Traffic Safety»
State Forestry Engineering Academy, Voronezh*)

**THE STRUCTURAL MODEL OF ADOPTION THE DECISIONS UNDER
ORGANIZATION OF SECURANCE OF ISOLATED OBJECTS ON BASIS OF
TECHNICAL MEANS OF STATE BOARD**

The article deals with the structural model of organization of governing forces and the means traffic safety by State Board.

Keywords: *model; organization; governing; safety.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zegzhda D.P., Ivashko A.M. Osnovy' bezopasnosti informacionny'x sistem. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2000. – 452 s.
 2. Rogozin E.A. Metody' i sredstva avtomatizirovannogo upravleniya podsistemoj kontrolya celostnosti v sistemax zashhity' informacii / E.A. Rogozin, A.S. Dubrovin, V.I. Sumin i dr.: monografiya. – Voronezh: Voronezh. gos. texn. un-t, 2003. – 165 s.
 3. Sumin V.I. Puti povы'sheniya bezopasnosti oxrany' prostranstvenno-raspredelyonny'x b''ektov ot proniknoveniya narushitelya: monografiya / V.I. Sumin, A.Yu. Nemchenko, D.O. Orlov. – Voronezh: Voronezh. gos. texn. un-t, 2003. – 110 s.
 4. Belokurov S.V. Modeli vy'bora nedominiruemy'x variantov v chislenny'x sxemax mngokriterial'noj optimizacii / S.V. Belokurov, Yu.V. Bugaev, Yu.S. Serbulov i dr.: monografiya. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2005. – 199 s.
 5. Bagrinceva O.V., Sumin V.I. Process analiza deyatel'nosti upravlencheskogo resheniya v organizacionnoj sisteme // Vseross. nauch.-praktich. konf. – Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2010. – S. 49-50.
-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ РАССИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ РАСШИФРОВАНИИ СООБЩЕНИЙ, ЗАШИФРОВАННЫХ СИНХРОННЫМИ ПОТОЧНЫМИ ШИФРАМИ

Рассмотрены виды ошибок, возникающих при передаче сообщений по каналам связи, и их влияние на зашифрованное сообщение. Предложено использовать анализ метрик путей при декодировании сверточных кодов для устранения рассинхронизации, возникающей при воздействии помех на зашифрованное сообщение. Приведена структурная схема устройства, реализующая алгоритм восстановления синхронизации поточных шифров.

Ключевые слова: криптографические алгоритмы; синхронные поточные шифры; сверточные коды; алгоритм устранения рассинхронизации.

ВВЕДЕНИЕ

При передаче сообщений по каналам связи на них воздействуют помехи, которые могут вызвать различные искажения: изменение одного или группы символов, удаление символов, добавление лишних символов. Если таким изменениям подвергается зашифрованное сообщение, то возникают ошибки при расшифровании. Изменение отдельных символов шифртекста приведет к искажению соответствующих символов расшифрованного текста. Потеря символов при передаче либо добавление символов в сообщение приведет к рассинхронизации зашифрованного сообщения и гаммы, в результате чего дальнейшее расшифрование станет невозможным. Предлагается для устранения ошибок, связанных с пропуском или добавлением лишних бит, использовать сверточное кодирование с доработанным алгоритмом устранения таких искажений.

Целью работы является повышение устойчивости зашифрованных сообщений к искажениям типа «лишний» или «пропущенный» символ за счет разработки алгоритма восстановления синхронизации с использованием свойств сверточных кодов.

КРИПТОСХЕМА СИНХРОННЫХ ПОТОЧНЫХ ШИФРОВ

Криптосхема синхронного поточного шифратора (СПШ) состоит из управляющего и шифрующего блоков (рис. 1) [2].

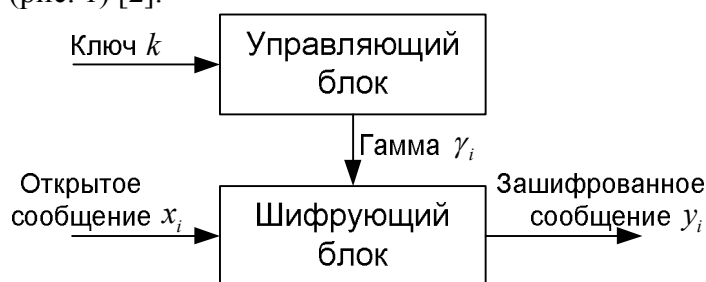


Рисунок 1 – Структурная схема синхронного поточного шифратора

При записи ключа k происходит инициализация начального состояния управляющего блока. В i -ом такте функционирования он генерирует знак гаммы $\gamma_i = f_1(s_i, k_i)$, где s_i – состояние управляющего блока в текущий момент. Под воздействием знака γ_i шифрующий блок зашифровывает знак открытого текста x_i в знак шифрованного текста y_i с помощью отображения [2]:

$$\varphi_{\gamma_i}(x_i) = f_2(\gamma_i, x_i) = y_i.$$

В СПШ генерируемая гамма не зависит от открытого текста. Поэтому СПШ функционирует исправно до тех пор, пока устройства, реализующие шифрование и расшифрование на концах линии связи, работают синхронно, то есть не имеет места расшифрование зашифрованного знака y_i с использованием знака гаммы γ_j , $i \neq j$. Такие сбои (рассинхронизация) могут наступить из-за различных скоростей работы аппаратуры на приемном и передающем концах, удаления или добавления лишних знаков при передаче в канале и др. [2] Сбои могут повлечь неправильное расшифрование всего последующего отрезка сообщения.

Пример 1. Пусть объем алфавита равен 32 и он задается множеством $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{31}\} = \{_, \grave{A}, \acute{A}, \dots, \beta\}$, буква Ё не используется, Ъ и Ь обозначаются одной комбинацией. Номер символа шифртекста находится путем суммирования по модулю 32 номеров, соответствующих буквам открытого текста и гаммы. В таблице 1 показан пример зашифрования слова СООБЩЕНИЕ. Зашифрованный текст был принят с искажениями, в результате чего в него была добавлена лишняя буква (в таблице 2 буква Я), в результате чего начиная с четвертого знака зашифрованный текст оказался сдвинут вправо на один знак. Как видно из таблицы 2, дальнейшее расшифрование происходит с искажением открытого текста.

Таблица 1 – Пример зашифрования

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Открытый текст	С	О	О	Б	Щ	Е	Н	И	Е	
Гамма	Ц	А	Н	О	Л	Т	Ь	М	У	Ц
Зашифрованный текст	И	П	Э	Р	Е	Ш	И	Х	Щ	Ц

Таблица 2 – Пример расшифрования с добавлением лишнего символа

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зашифрованный текст	И	П	Э	Я	Р	Е	Ш	И	Х	Щ
Гамма	Ц	А	Н	О	Л	Т	Ь	М	У	Ц
Открытый текст	С	О	О	П	Д	Т	Ю	Ы	Е	В

СВЕРТОЧНЫЕ КОДЫ

При сверточном кодировании преобразование информации происходит непрерывно. Кодер сверточного кода (СК) содержит m разрядный регистр для хранения определенного числа информационных символов и преобразователь информационной последовательности в кодовую. Для сверточных кодов, в отличие от блоковых, исправляющая способность не зависит от длины кодового слова [1, 3, 4].

Пример 2. На рисунке 2 приведена схема кодера сверточного кода со скоростью 1/2 и порождающими многочленами $(7,5)_8$, представленными в восьмеричной форме. Порождающие многочлены определяют, какие разряды регистра сдвига используются в выходных ветвях. В данном случае для одной выходной ветви используется многочлен $7_8=111$, для другой $5_8=101$ [3].

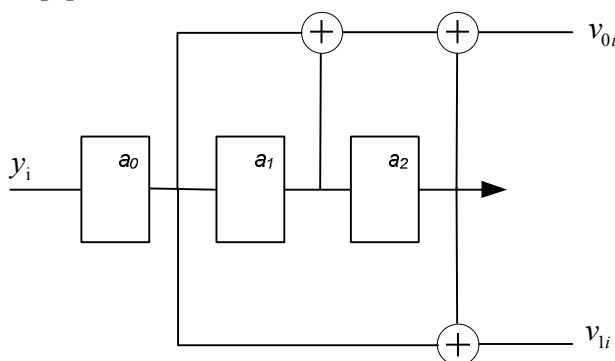


Рисунок 2 – Схема кодера сверточного кода

Сверточный кодер как конечный автомат может быть описан диаграммой состояний. Диаграмма представляет собой направленный граф и описывает все возможные переходы кодера из одного состояния в другое. Разверткой диаграммы состояний во времени является решетчатая диаграмма. Для кодера, рассмотренного в примере 2, решетчатая диаграмма представлена на рисунке 3. На диаграмме символами $a=00$, $b=10$, $c=01$, $d=11$ обозначается состояние двух старших разрядов регистра сдвига без поступившего на вход текущего бита, в данном случае – y_i . Предыдущее состояние (a , b , c или d) и значение поступившего на вход бита определяют следующее состояние кодера и выходную кодовую комбинацию. Если на вход поступает «1», то происходит движение по пунктирной линии, если «0» – то по сплошной. Кодер переходит в новое состояние, а кодовая комбинация $v_{0i}v_{1i}$ будет равна значению r_0r_1 , указанному на ребре перехода.

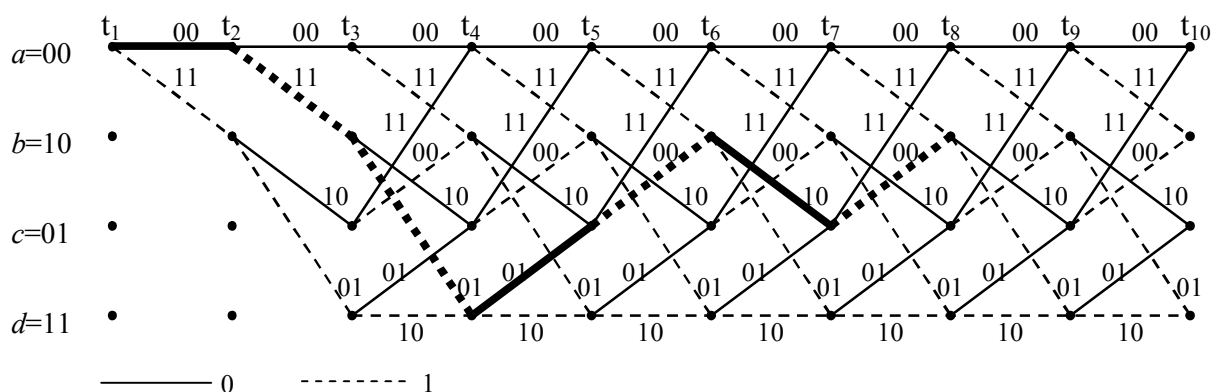


Рисунок 3 – Решетчатая диаграмма

Пример 3. Закодируем по решетчатой диаграмме, представленной на рисунке 3, последовательность 0110101. Маршрут следования по решетчатой диаграмме при кодировании данной последовательности показан на рисунке 3, а закодированная последовательность приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Закодированная последовательность

y	0	1	1	0	1	0	1
v_0, v_1	00	11	01	01	00	10	00

Для декодирования коротких сверточных кодов ($m < 10$) наиболее эффективным является алгоритм Витерби [1, 3, 4]. В каждом из состояний решетчатой диаграммы производятся следующие однотипные операции: сложение метрик предыдущих состояний с метрикой соответствующих ветвей; сравнение метрик входящих путей; выбор путей с наименьшими метриками, величины которых используются как метрики состояний на последующих шагах декодирования. Периодическая структура решетчатой диаграммы существенно упрощает сравнение и выбор путей в соответствии с правилом минимизации метрики пути. Рассмотрим подробнее алгоритм декодирования [1]:

1. В начальный момент времени (при $i = 0$) производится начальная инициализация путем присваивания метрикам путей для всех состояний кодера сверточного кода нулевых значений:

$$M\Pi_0^t = 0,$$

где $t = 1 \dots 2^{m-1}$, m – длина регистра сдвига кодера сверточного кода.

2. В i -ом сечении решетчатой диаграммы для каждого из состояний вычисляются по

паре метрик ребер решетки – MP_i^{1t} и MP_i^{2t} путем определения кодового расстояния между принятыми символами v и символами на каждом ребре решетки r .

3. Для каждого из состояний вычисляются две метрики путей, так как в них входит по два ребра. Затем выбираются 2^{m-1} путей с наименьшими суммарными значениями метрик, остальные 2^{m-1} – отбрасываются:

$$MPI_t = \min[(MPI_{i-1}^{g_i} + MP_i^{1t}), (MPI_{i-1}^{h_i} + MP_i^{2t})],$$

где g_i и h_i – номера предыдущих состояний, из которых выходят ребра в текущее состояние t .

4. Определение декодированной комбинации осуществляется путем прослеживания пути по кодовой решетке и замены пунктирной линии на «1», сплошной – на «0».

Пример 4. Предположим, что последовательность v_0, v_1 , полученная в примере 3 при закодировании сообщения, принята с ошибкой в десятом разряде:

00 11 01 01 01 10 00.

Порядок декодирования и определения пути с наименьшей метрикой показан на рисунке 4 (путь выделен жирной линией).

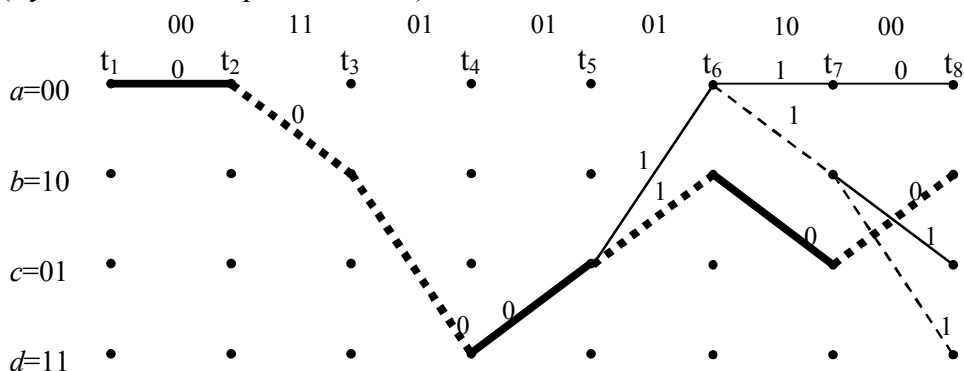


Рисунок 4 – Декодирование сверточных кодов

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПОТОЧНЫХ ШИФРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ

Символы ребер решетки должны быть строго согласованы с последовательностью принятых символов. Любое несоответствие может быть обнаружено с помощью непрерывного наблюдения за значением некоторой случайной характеристикой декодера, например, за ростом метрик путей [1]. Статистика этих случайных величин (характеристик синхронизации) позволяет обнаружить ненормальное поведение декодера.

Пример 5. Предположим, что принятая последовательность несогласованна. Произошло удаление пятого бита в последовательности v_0v_1 . Таким образом, произойдет смещение принятой последовательности на один бит влево, начиная с пятого бита v_0v_1' (табл. 4).

Таблица 4 – Пример ошибки типа «пропущенный» бит

y	0	1	1	0	1	0	1
v_0v_1	00	11	01	01	00	10	00
v_0v_1'	00	11	10	10	01	00	00

При попытке декодировать принятую последовательность получим нарастание метрик путей (рис. 5). Для восстановления синхронизации необходимо вернуться к тому месту, с которого началось нарастание метрик путей и попытаться вставить символы или удалить лишние, пока синхронизация не будет восстановлена и процесс декодирования не нормализуется.

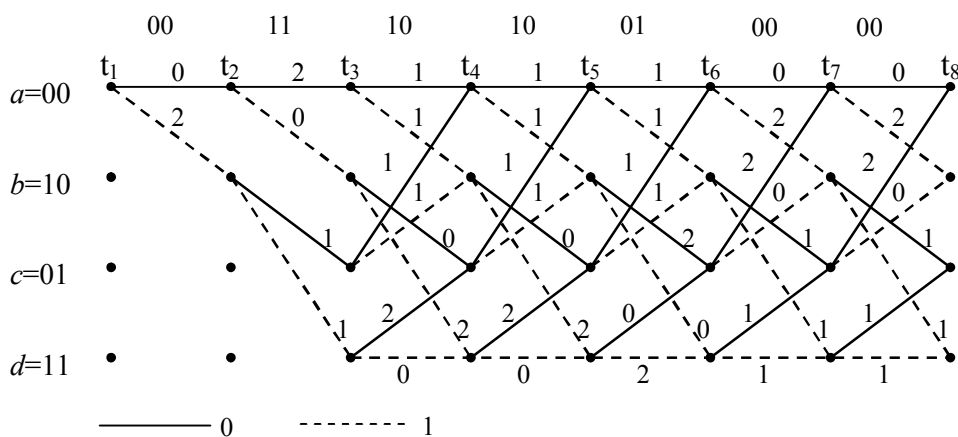


Рисунок 5 – Метрики путей при рассинхронизации

Предлагается следующая структурная схема восстановления синхронизации поточных шифров (рис. 6). Схема состоит из устройства памяти (УП1), в которое записывается принятое сообщение декодера сверточного кода (с возможностью непрерывного наблюдения за значением метрик путей), устройства управления (УУ), устройства памяти, в которое записывается декодированное сообщение (УП2), дешифратора.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Принятое сообщение записывается в УП1. УУ последовательно считывает из УП1 блоки бит размером, соответствующим характеристикам используемого сверточного кода (для рассматриваемого примера по 2 бита). Одновременно анализируется значение метрик путей и при нарастании значений процесс декодирования останавливается, УУ возвращает состояние декодера к моменту начала роста метрик путей и возвращается к соответствующей ячейке УП1. Далее УУ вставляет 1 бит в принятую последовательность и дает команду декодеру на декодирование модифицированной последовательности. Если нормальный ход декодирования не восстанавливается, то добавляется по 1 бит до тех пор, пока процесс декодирования не восстановится. Если добавление бит не восстановило синхронизацию, то происходит удаление бит из последовательности. Полученная декодированная синхронизированная последовательность записывается в УП2 и далее подается на дешифратор для расшифрования.

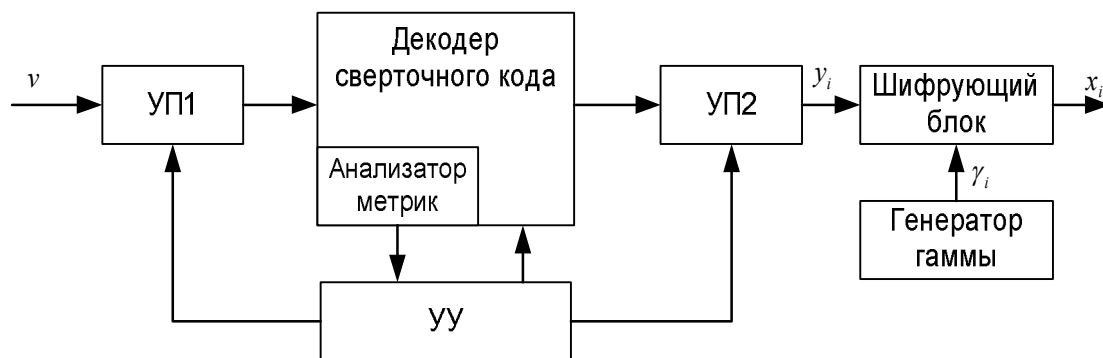


Рисунок 6 – Структурная схема восстановления синхронизация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2006. – 320 с.
2. Основы криптографии: учебное пособие / Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. – М.: Гелиос АРВ, 2001.
3. Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации / П.Н. Сердюков, А.В. Бельчиков, А.Е. Дронов и др. – М.: АСТ, 2006. – 403 с.

-
4. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.

Сизоненко Александр Борисович

Краснодарский университет МВД России, г. Краснодар

Кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры оперативно-розыскной деятельности и специальной техники

E-mail: siz_al@mail.ru

A.B. SIZONENKO (*Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Deputy Head of the Department of Operative-search Activities and Special Equipment*)
Krasnodar University of the Ministry of the Interior of Russia, Krasnodar

USING THE PROPERTIES OF CONVOLUTIONAL CODES TO CORRECT DESYNC WHEN DECIPHERING MESSAGES ENCRYPTED WITH SYNCHRONOUS STREAM CIPHER

The types of errors occurring when sending messages via communication channels and their influence on the encrypted messages are considered. The analysis of metrics for decoding convolutional codes is suggested to be used to eliminate out of sync that occurs under the influence of noise on the encrypted message. The block diagram of the device that implements the algorithm re-timing of stream ciphers is shown.

Keywords: *cryptography; synchronous stream ciphers; convolutional codes; out of sync elimination algorithm.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Morelos-Saragosa R. *Iskusstvo pomexoustojchivogo kodirovaniya. Metody', algoritmy', primeneniye.* – М.: Техносфера, 2006. – 320 s.
 2. *Osnovy' kriptografii: uchebnoye posobie / Alferov A.P., Zubov A.Yu., Kuz'min A.S., Cheremushkin A.V.* – М.: Gelios ARV, 2001.
 3. *Zashhishhyonny'e radiosistemy' cifrovoj peredachi informacii / P.N. Serdyukov, A.V. Bel'chikov, A.E. Dronov i dr.* – М.: AST, 2006. – 403 s.
 4. Скляр, Бернард. *Цифровая связь. Теоретические основы' i prakticheskoye primeneniye.* Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. – М.: Издатel'skij dom «Vil'yams», 2004. – 1104 s.
-

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОПЕРАТИВНО-РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ СИСТЕМ ОБМЕНА ДАННЫХ

В статье предлагается новый подход к математическому моделированию коммутируемых распределенных систем обмена данных (PCOD) на основе встречно-соединенных дополненных древовидных структур. Данный подход позволяет перейти непосредственно к разработке на его основе метода оценки надежности коммутируемых PCOD с уменьшенной вычислительной сложностью – метода оценки надежности коммутируемых PCOD реального времени по приоритетным сечениям.

Ключевые слова: распределенные системы обмена данных; информационное направление; древовидные структуры.

ВВЕДЕНИЕ

При анализе и синтезе PCOD с целью разработки новых подходов к оценке их надежности к числу наиболее важных и ответственных этапов относится математическое моделирование самих PCOD.

Появление метода оценки надежности информационных направлений (ИН) PCOD по приоритетным сечениям [1-4] стало возможным благодаря дальнейшему развитию методологии анализа и синтеза PCOD реального времени, в первую очередь, разработки концепции оценки надежности PCOD на основе способа размена вычислительной сложности на точность измерений, введенном новом базовом понятии – приоритетные сечения, и разработки математической модели коммутируемой PCOD на основе встречно-соединенных дополненных древовидных структур.

ДОПОЛНЕННЫЕ ДРЕВОВИДНЫЕ СТРУКТУРЫ С РАЗНОТИПНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ УЗЛОВ

На реальных коммутируемых PCOD в ИН, как правило, не выполняется постоянство коэффициента «размножения», то есть реальные ИН коммутируемых PCOD относятся к древовидным структурам с разнотипным соединением узлов структуры. Кроме того, на реальных коммутируемых PCOD в ИН типовые древовидные структуры дополняются ребрами, соединяющими узлы как одного уровня, так и разных без учета коэффициента «размножения». Такие структуры, хорошо отображающие привязку (доступ) узлов реальных ИН к коммутируемым PCOD, предлагается называть дополненными древовидным структурам с разнотипным соединением узлов.

Определение 1. Дополненной древовидной структурой с разнотипным соединением узлов называется древовидная структура с переменным коэффициентом «размножения», дополненная ребрами, соединяющими часть узлов как одного уровня, так и разных без учета коэффициента «размножения».

Переменный коэффициент «размножения» определяет тот факт, что коэффициент «размножения» непостоянен не только на различных уровнях древовидной структуры, но и в пределах одного уровня этой структуры. В пределах одного уровня дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов можно говорить лишь об усредненном коэффициенте «размножения». Дадим определение усредненному коэффициенту «размножения».

Определение 2. Усредненным коэффициентом «размножения» уровня дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов называется показатель численно равный среднему арифметическому коэффициентов «размножения» узлов входящих в данный уровень.

Теорема 1. Если сечение коммутируемой PCOD построено на основе двойной

встречно-соединенной дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов, то усредненный коэффициент «размножения» уровня дополненной древовидной структуры всегда принимает значение, большее 2.

Докажем эту теорему.

Дано. Структура графа является дополненной древовидной структурой с разнотипным соединением узлов.

Доказать, что усредненный коэффициент «размножения» данной структуры всегда принимает значение больше 2.

Доказательство. Пусть усредненный коэффициент «размножения» уровня дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов равен двум.

Аксиома 1. Коэффициент «размножения» древовидных структур не может быть меньше двух.

Так как коэффициент «размножения» не может быть меньше двух, а по определению 2 он численно равен среднему арифметическому коэффициентов «размножения» узлов входящих в данный уровень, то отсюда следует, что все коэффициенты «размножения» узлов входящих в данный уровень равны 2. Но если все коэффициенты «размножения» узлов, входящих в данный уровень, равны, то структура является дополненной древовидной структурой с однотипным соединением узлов, а это противоречит условию. Что и требовалось доказать.

Введем новое понятие для описания структуры ИН коммутируемой РСОД, а именно – двойная встречно-соединенная дополненная древовидная структура с разнотипным соединением узлов.

Определение 3. Двойной встречно-соединенной дополненной древовидной структурой с разнотипным соединением узлов называется структура, полученная из двух дополненных древовидных структур с переменным коэффициентом «размножения» путем соединения с помощью ребер узлов наибольших уровней обеих структур.

Исходя из определения 3, ИН коммутируемой РСОД можно представить как две дополненные древовидные структуры с разнотипным соединением узлов соединенные встречно. Коммутируемую РСОД, состоящую из ИН, можно представить следующей теоретико-множественной моделью:

$$G = \{V, L, E, P, S, C, \Pi\}, \quad (1)$$

где $V = \{v_n / n = 1, 2, \dots, N\}$ – множество узлов (вершин) коммутируемой РСОД;

N – количество узлов (вершин) коммутируемой РСОД;

$L = \{l_u / u = 1, 2, \dots, U\}$ – множество ребер коммутируемой РСОД;

U – количество ребер (интервалов) коммутируемой РСОД;

$E = \{e_w / w = 1, 2, \dots, W\}$ – множество ИН коммутируемой РСОД;

W – количество ИН коммутируемой РСОД;

$S = \{s_i / i = 1, 2, \dots, I\}$ – множество сечений в ИН коммутируемой РСОД;

I – количество сечений в ИН коммутируемой РСОД;

$P = \{p_u / u = 1, 2, \dots, U\}$ – множество статистически независимых вероятностных характеристик надежности элементов коммутируемой РСОД;

$C = \{c_u / u = 1, 2, \dots, U\}$ – множество пропускных способностей ветвей коммутируемой РСОД;

$\Pi = \{n_z / z = 1, 2, \dots, Z\}$ – множество путей, составляющих ИН коммутируемой РСОД;

Z – количество путей в коммутируемой РСОД.

Очевидно, что первое сечение коммутируемой РСОД S_{Ew1} пересекает информационное направление $A-B$ ($УС_A - УС_B$) два раза – со стороны узла A и со стороны узла B , то есть сечение РСОД S_{Ew1} включает в себя два сечения S_{Ew1A} и S_{Ew1B} линий доступа узлов A и B , образующих данное ИН.

Для различия этих сечений при обращении к ним в дальнейшем будем называть их

сечениями и полными сечениями и дадим им следующие определения.

Определение 4. Сечением двойной встречно-соединенной дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов, представляющей ИН коммутируемой РСОД, называется сечение одной из двух дополненных древовидных структур ее образующих.

Определение 5. Полным сечением двойной встречно-соединенной дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов, представляющей ИН коммутируемой РСОД, называется совокупность сечений одного ранга обоих дополненных древовидных структур ее образующих.

Аналогично, любое полное сечение коммутируемой РСОД состоит из двух сечений. В дальнейшем полные сечения в зависимости от их ранга (номера) будем обозначать как S_{Ew1} , S_{Ew2} , S_{Ew3} и т.д., или S_{Ew1AB} , S_{Ew2AB} , S_{Ew3AB} и т.д., сечения в зависимости от их ранга и принадлежности к узлу ИН будем обозначать как S_{Ew1A} , S_{Ew1B} , S_{Ew2A} , S_{Ew2B} , S_{Ew3A} , S_{Ew3B} и т.д.

Информационное направление $A-B$ ($УС_A - УС_B$) включает в себя три основные части:

- линии доступа (линии привязки) от узла $УС_A$ до центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$, к которым привязан данный узел (1 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны A – сечение S_{Ew1A});
- линии доступа от центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$ до центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$, по которым осуществляется передачи информации от узла $УС_A$ до узла $УС_B$ (собственно коммутируемая РСОД в узком смысле);
- линии доступа (линии привязки) от центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$ до узла $УС_B$ (1 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны B – сечение S_{Ew1B}).

Очевидно, что надежность P_{EwSAB} информационного направления $УС_A - УС_B$ будет определяться надежностью образующих его составных частей:

$$P_{EwSAB} = P_{EwS1A} \cdot P_{EwCIC} \cdot P_{EwS1B} \quad (2)$$

где S_{EwS1A} – надежность линий доступа (линий привязки) от узла $УС_A$ до центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$;

S_{EwCIC} – надежность линий доступа от центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$ до центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$, по которым осуществляется передачи информации от узла $УС_A$ до узла $УС_B$;

S_{EwS1B} – надежность линий доступа (линий привязки) от центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$ до узла $УС_B$.

Сечения РСОД, как показано на рисунке 1, проходят по линиям доступа (линиям привязки) и отделяют корреспондирующие узлы информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) от собственно коммутируемой РСОД. Надо отметить, что отдельные исследователи 1 полное сечение коммутируемой РСОД и считают собственно коммутируемой РСОД, доступ в которую с помощью линий доступа (линий привязки) и осуществляется корреспондирующими узлами информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$). Другими словами, S_{Ew1} первое полное сечение коммутируемой РСОД (сечения S_{Ew1A} , S_{Ew1B}) является 1 уровнем доступа корреспондирующих узлов информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) в коммутируемой РСОД. В зависимости от детализации структуры коммутируемой РСОД таких уровней доступа может быть несколько (первый уровень доступа узла к коммутируемой РСОД часто называют привязкой узла к коммутируемой РСОД, а линии доступа узла к коммутируемой РСОД – линиями привязки). Так, на рисунке 1 показано два уровня доступа корреспондирующих узлов

информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) в коммутируемой РСОД.

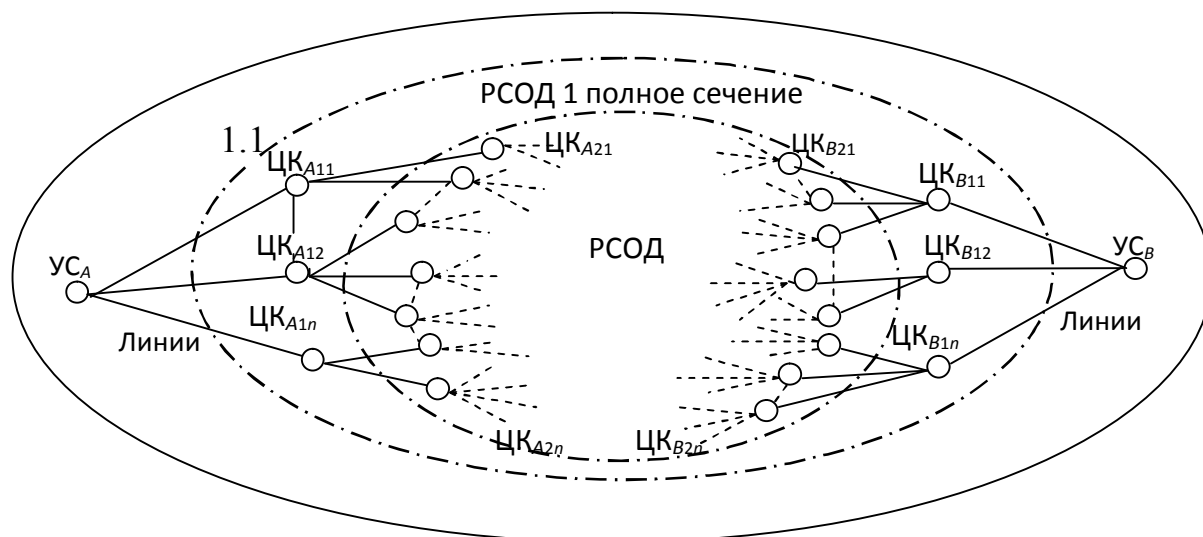


Рисунок 1 – Структура информационного направления с двойным доступом в коммутируемую РСОД

Очевидно, что в этом случае информационное направление $A-B$ ($УС_A - УС_B$) включает в себя уже пять основных частей:

- линии доступа (линии привязки) от узла $УС_A$ до центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$, к которым привязан данный узел (1 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны A – сечение S_{Ew1A});
- линии доступа от центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$ до центров $ЦК_{A21} - ЦК_{A2n}$ (2 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны A – сечение S_{Ew2A});
- линии доступа от центров коммутации $ЦК_{A21} - ЦК_{A2n}$ до центров коммутации $ЦК_{B21} - ЦК_{B2n}$ (собственно коммутируемая РСОД в узком смысле);
- линии доступа от центров коммутации $ЦК_{B21} - ЦК_{B2n}$ до центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$ (2 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны B – сечение S_{Ew2B});
- линии доступа (линии привязки) от центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$ до узла $УС_B$ (1 полное сечение коммутируемой РСОД со стороны B – сечение S_{Ew1B}).

В рассматриваемом случае (рис. 1) линии доступа от центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$ до центров коммутации $ЦК_{A21} - ЦК_{A2n}$ (сечение S_{Ew2A}) и линии доступа от центров коммутации $ЦК_{B11} - ЦК_{B1n}$ до центров коммутации $ЦК_{B1} - ЦК_{Bn}$, (сечение S_{Ew1B}) являются линиями доступа корреспондирующих узлов информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) второго сечения. Другими словами, 2 сечение коммутируемой РСОД является 2 уровнем доступа корреспондирующих узлов информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) в РСОД.

Надежность P_{EwAB} информационного направления $УС_A - УС_B$ будет определяться надежностью образующих его составных частей:

$$P_{EwAB} = P_{EwS1A} \cdot P_{EwS2A} \cdot P_{EwCIS} \cdot P_{EwS2B} \cdot P_{EwS1B} \quad (3)$$

где S_{EwS1A} – надежность линий доступа (линий привязки) сечения S_{Ew1A} от узла $УС_A$ до центров коммутации $ЦК_{A1} - ЦК_{An}$; S_{EwS2A} – надежность линий доступа сечения S_{Ew2A} от центров коммутации $ЦК_{A11} - ЦК_{A1n}$ до центров коммутации $ЦК_{B11} - ЦК_{B1n}$; S_{EwCIS} –

надежность линий доступа от центров коммутации $ЦК_{A21} - ЦК_{A2n}$ до центров коммутации $ЦК_{A21} - ЦК_{A2n}$, по которым осуществляется передачи информации от узла $УС_A$ до узла $УС_B$; S_{EwS2B} – надежность линий доступа сечения S_{Ew2B} от центров коммутации $ЦК_{B11} - ЦК_{B1n}$ до центров коммутации $ЦК_{B11} - ЦК_{B1n}$; S_{EwS1B} – надежность линий доступа (линий привязки) сечения S_{Ew1B} от центров коммутации $ЦК_{B11} - ЦК_{B1n}$ до узла $УС_B$.

КОЛИЧЕСТВО СЕЧЕНИЙ В КОММУТИРУЕМОЙ РСОД

В зависимости от степени детализации структуры коммутируемой РСОД и количество сечений коммутируемой РСОД может изменяться. В общем случае количество возможных сечений коммутируемой РСОД ограничивается только мощностью самой РСОД, каждое сечение может выступать в качестве доступа соответствующего уровня корреспондирующих узлов информационного направления $A-B$ ($УС_A - УС_B$) к коммутируемой РСОД в ее узком смысле.

Проведенный анализ [1-2] показывает, что с увеличением ранга (номера) сечения мощность множества ребер, составляющих данное сечение, возрастает. Сформулируем это утверждение в виде теоремы 2.

Теорема 2. Если сечение коммутируемой РСОД построено на основе двойной встречно-соединенной дополненной древовидной структуры с разнотипным соединением узлов, то с увеличением ранга (номера) сечения мощность множества ребер, составляющих данное сечение, возрастает. Докажем эту теорему.

Дано. Коммутируемая РСОД, являющаяся двойной встречно-соединенной дополненной древовидной структурой с разнотипным соединением узлов.

Доказать, что с увеличением номера сечения коммутируемой РСОД мощность множества ребер, составляющих данное сечение, возрастает.

Доказательство. Пусть сечение коммутируемой РСОД с большим рангом обладает меньшей мощностью множества ребер, чем предыдущее сечение. В этом случае усредненный коэффициент «размножения» этого сечения имеет отрицательное значение. Из аксиомы 1 следует, что коэффициент «размножения» древовидных структур не может быть меньше двух. Так как коэффициент «размножения» этого сечения имеет отрицательное значение, то отсюда следует, что структура коммутируемой РСОД не является древовидной структурой, а тем более дополненной древовидной структурой с однотипным соединением узлов, а это противоречит условию. Что и требовалось доказать.

Следствие 2.1. С увеличением ранга сечения ИН коммутируемой РСОД мощность множества ребер, составляющих данное сечение, возрастает не менее, чем в два раза.

Следствие 2.2. Центральное сечение ИН коммутируемой РСОД обладает наибольшей мощностью ребер, составляющих данное сечение.

Результаты расчетов зависимости количества ребер в сечении ИН коммутируемой РСОД от его ранга и усредненного коэффициента «размножения», K_{EwS}^{ycp} сведены в таблицу 1.

Из таблицы 1 видно, что количество ребер в сечении ИН коммутируемой РСОД с ростом его ранга и усредненного коэффициента «размножения» K_{EwS}^{ycp} , резко возрастает, и уже при ранге сечения, равном 5-6, оно может достигать тысяч, при ранге сечения, равном 7-8, десятков тысяч ребер. Также видно, что рост количества ребер в сечении ИН коммутируемой РСОД с увеличением его ранга происходит по экспоненциальному закону. Этим и объясняется невозможность применения существующих методов анализа показателей надежности на РСОД – из-за стремительного роста вычислительной сложности данных методов (для многих методов также по экспоненциальному закону).

Таблица 1 – Зависимость количества ребер в сечении от его ранга и усредненного коэффициента «размножения» K_{EwS}^{yep}

Ранг сечения	Количество ребер в сечении в зависимости от K_{EwS}^{yep}				
	$K_{EwS}^{yep} = 2$	$K_{EwS}^{yep} = 2,5$	$K_{EwS}^{yep} = 3$	$K_{EwS}^{yep} = 3,5$	$K_{EwS}^{yep} = 4$
1	2	3(2,5)	3	4(3,5)	4
2	4	7(6,3)	9	13(12,3)	16
3	8	16	27	49	64
4	16	39	81	150	256
5	32	98	243	525	1 024
6	64	244	729	1 838	4 096
7	128	610	2 187	6 434	16 384
8	256	1 525	6 561	22 519	65 536
9	512	3 814	19 683	78 815	262 144
10	1 024	9 536	59 049	275 855	1 048 576
11	2 048	23 841	177 147	965 491	4 194 304
12	4 096	59 604	531 441	3 379 220	16 777 216
13	8 199	149 011	1 594 323	11 827 272	67 108 864
14	16 384	372 529	4 782 969	41 395 451	268 435 456
15	32 768	931 322	14 348 907	144 884 079	1 073 741 827
16	65 536	2 328 306	43 046 721	507 094 277	4 294 967 296
17	131 072	5 820 766	129 140 163	1 774 829 971	17 179 869 184
18	262 144	14 551 915	387 420 489	6 211 904 899	68 719 476 736
19	524 288	36 379 788	1 162 261 467	21 741 667 147	274 877 906 944
20	1 048 574	90 949 470	3 486 784 401	76 095 835 016	1 099 511 627 776

Поэтому основным требованием к разрабатываемым методам оценки показателей надежности на коммутируемых сетях большого масштаба является минимальный рост их вычислительной сложности при значительном увеличении масштабов оцениваемой системы [3, 4]. Наилучшим вариантом было бы достижение полной независимости вычислительной сложности новых методов от размерности коммутируемой РСОД.

Можно сделать следующие выводы:

1. Структуры ИН коммутируемой РСОД достаточно хорошо представляются двойными встречно-соединенными дополненными древовидными структурами с разнотипным соединением узлов.

2. В ИН реальных коммутируемой РСОД коэффициент «размножения» непостоянен не только на различных уровнях древовидной структуры, но и в пределах одного уровня этой структуры.

3. Мощность ИН коммутируемой РСОД напрямую зависит от количества сечений, составляющих данное ИН, и коэффициента «размножения» в исходящих узлах каждого сечения.

4. Надежность ИН определяется надежностью образующих его составных частей, в первую очередь, сечений коммутируемой РСОД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная математическая модель коммутируемых РСОД на основе встречно-соединенных дополненных древовидных структур позволяет перейти непосредственно к разработке на ее основе метода оценки надежности коммутируемых РСОД с уменьшенной вычислительной сложностью – метода оценки надежности коммутируемых РСОД реального времени по приоритетным сечениям (метода приоритетных сечений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисенко В.Е. Оценка надежности информационно-телекоммуникационных систем в реальном масштабе времени на основе приоритетных методов: монография / В.Е. Фисенко, А.П. Фисун, В.В. Митяев. – Орел: ОГУ, 2007. – 191 с.
2. Фисун А.П. Развитие методологических основ информатики и информационной безопасности систем: монография / А.П. Фисун, В.Е. Фисенко и др.; под ред. А.П. Фисуна. – Орел: ОГУ, 2004. – 252 с. – Деп. в ВИНТИ 07.07.04, № 1165-V2004.
3. Фисун А.П., Фисенко В.Е. Новые подходы к снижению вычислительной сложности оценки надежности элементов частично коммутируемых ИТКС // Информационные системы и технологии, 2010. – № 4(60). – С. 134-137.
4. Фисенко В.Е. Математические аспекты снижения вычислительной сложности оценки надежности информационно-телекоммуникационных систем // Социально-экономические и технические системы, 2008. – Т. 47. – № 4. – С. 28-32.

Фисенко Виктор Евгеньевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 (4862) 36-47-36, 8 910 303 52 72

E-mail: fisenko_v@mail.ru

Фисун Александр Павлович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

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

Тел.: 8 (4862) 42-15-56, 8 910 307 00 81

E-mail: fisun01@pisem.net

V.E. FISENKO (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department «Information Systems»*)

A.P. FISUN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department «Electronics, Computer Science, Information Security»*)
State University – ESPC, Orel

A NEW APPROACH TO MATHEMATICAL MODELING OF DISTRIBUTED SYSTEMS OPERATIVE RECONFIGURABLE EXCHANGE DATA

In clause the new approach to mathematical modelling the switched distributed systems of data exchange (DSDE) on the basis of the connected added treelike structures is offered. The given approach allows to pass directly to development on its basis of a method of an estimation of reliability switched DSDE with the reduced computing complexity - a method of an estimation of reliability switched DSDE real time on priority sections.

Keywords: *the distributed systems of data exchange; information direction; treelike structures.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Fisenko V.E. Ocenka nadyozhnosti informacionno-telekommunikacionny'x sistem v real'nom mashtabe vremeni na osnove prioritetny'x metodov: monografiya / V.E. Fisenko, A.P. Fisun, V.V. Mityaev. – Oryol: OGU, 2007. – 191 s.
 2. Fisun A.P. Razvitie metodologicheskix osnov informatiki i informacionnoj bezopasnosti sistem: monografiya / A.P. Fisun, V.E. Fisenko i dr.; pod red. A.P. Fisuna. – Oryol: OGU, 2004. – 252 s. – Dep. v VINITI 07.07.04, № 1165-V2004.
 3. Fisun A.P., Fisenko V.E. Novy'e podxody' k snizheniyu vy'chislitel'noj slozhnosti ocenki nadyozhnosti e'lementov chastichno kommutiruemy'x ITKS // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 4(60). – S. 134-137.
 4. Fisenko V.E. Matematicheskie aspekty' snizheniya vy'chislitel'noj slozhnosti ocenki nadyozhnosti informacionno-telekommunikacionny'x sistem // Social'no-e'konomicheskie i texnicheskie sistemy', 2008. – Т. 47. – № 4. – S. 28-32.
-

РЕШЕНИЕ ТРЕХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В данной статье в качестве критериев оптимальности информационной системы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченной длиной очереди рассматривается вероятность обслуживания заявок, временные и денежные затраты. Решение многокритериальной задачи проводится с использованием метода выделения доминирующих точек и метода последовательных уступок.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация; системы массового обслуживания; информационная система.

ВВЕДЕНИЕ

Информационные системы широко используются в различных сферах общественной деятельности, невозможно представить функционирование современного предприятия без применения информационных систем (ИС) различной сложности. ИС описываются в терминах случайных процессов с использованием вероятностных методов. При моделировании ИС применяют различный математический аппарат, широко используется теория массового обслуживания. Одним из основных критериев качества ИС является надежность. В связи с этим встает задача моделирования состояний ИС, использующих данные теории надежности. Для анализа надежности ИС используются критерии, разработанные в теории надежности технических систем.

При моделировании ИС редко приходится иметь дело с объектами, работоспособность и качество которых можно оценить одним-единственным показателем. Чаще всего существует целое множество показателей, каждый из которых характеризует тот или иной аспект функционирования объекта. Поэтому задача оценивания состояний ИС является задачей многокритериальной оптимизации [1].

ПОСТАНОВКА ТРЕХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ

В качестве заявки на обслуживание выступают потребители информации. При этом время между заявками есть величина случайная аналогично времени между отказами технической системы. Отказом считается состояние, при котором параметр выходит за допустимые пределы. К основным внешним характеристикам ИС как n -канальной системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной длиной очереди m относятся: вероятность обслуживания заявок, среднее время ожидания заявок в очереди и суммарная стоимость элементов системы.

Вероятность обслуживания заявок рассчитывается по формуле [2]:

$$P_{обс} = 1 - p_0 \cdot \lambda^{n+m} / n^m n! \mu^{n+m}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность потока заявок; $\mu = 1/\bar{t}_{обс}$ – интенсивность обслуживания; $\bar{t}_{обс}$ – среднее время обслуживания.

Предельная вероятность определяется следующей формулой:

$$p_0 = \left\{ \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} + \frac{n^n}{n!} \cdot \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^{n+1} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^m \right] \right\} / \left(1 - \frac{\lambda}{n\mu} \right)^{-1}, \quad (2)$$

Среднее время ожидания заявок в очереди:

$$T_{ож} = \frac{\frac{1}{\mu} \rho^n \{1 - (\rho/n)^m [m + 1 - m(\rho/n)]\}}{n \cdot n! \cdot (1 - \rho/n)^2} p_0, \quad (3)$$

где $\rho = \lambda/\mu$ – коэффициент загрузки СМО.

Суммарная стоимость элементов:

$$C = c_{обс}n + c_{ож}m, \quad (4)$$

где $c_{обс}$ и $c_{ож}$ – стоимости единичных элементов обслуживания и ожидания.

Надежность характеризуется вероятностью отказа в обслуживании $P_{отк}$. Заявка получает отказ в случае, когда канал занят и все m мест в очереди тоже. Вероятность обслуживания дополняет $P_{отк}$ до единицы: $P_{обс} = 1 - P_{отк}$. В качестве первого критерия выбрана вероятность обслуживания заявок для того, чтобы рассмотреть задачу с критериями, имеющими разные направления экстремумов.

Необходимо найти значения параметров n и m , при которых

$$P_{обс}(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \max)}{\max}, T_{ож}(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \min)}{\min}, C(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \min; m \rightarrow \min)}{\min}. \quad (5)$$

Многокритериальная задача имеет противоречивый характер. Как видно из представленных выражений, для максимизации вероятности обслуживания необходимо увеличение числа каналов n и длины очереди m : $P_{обс} \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \max)}{\max}$. Минимизация

времени нахождения заявки в очереди возможна при увеличении значений n и уменьшении числа мест в очереди m : $T_{ож} \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \min)}{\min}$. А сокращение финансовых затрат на ИС

предусматривает минимизацию как n , так и m : $C \rightarrow \underset{(n \rightarrow \min; m \rightarrow \min)}{\min}$.

Значения параметров системы определяются по результатам обработки статистического материала, полученного в ходе эксплуатации или экспериментов. Возможна разработка моделей для получения значений констант, требующая отдельных исследований. Поэтому коэффициенты подобраны из теоретических соображений. Ограничения на параметры n , m введены для наглядности рассматриваемых методов.

Зафиксируем следующие значения:

$$\lambda = 0,8 \text{ мс}^{-1}, \mu = 0,3 \text{ мс}^{-1}, c_{обс} = 4 \text{ ед}, c_{ож} = 5 \text{ ед}, 1 \leq n \leq 3, 1 \leq m \leq 4. \quad (6)$$

РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ С НАХОЖДЕНИЕМ МНОЖЕСТВА ПАРЕТО

В случаи многокритериальности задачи оценивания сложных систем, к которым относится и ИС, обычно прибегали к скаляризации – сведению многокритериальной задачи к однокритериальной известными способами. Такая замена может привести к неадекватности скаляризованной задачи исходной. Эффективное решение может быть получено с помощью множества Парето. Главное свойство множества Парето состоит в том, что всякое дальнейшее улучшение одного критерия может быть осуществлено только за счет ухудшения других. Множество Парето часто называют переговорным множеством или множеством компромисса. Наиболее разработаны методы решения двухкритериальных задач и линейных многокритериальных задач, для которых нетрудно проверить существование эффективных решений.

Учитывая целочисленность и ограниченность значений m и n , можно рассчитать все варианты значения целевых функций, тем самым построив множество альтернатив, которое соответствует оценкам критериев. Число вариантов определяется значением $m \times n$ и в данном случае равно 12.

Для выбора оптимального варианта по двум критериям с заданными начальными условиями строится множество Парето методом выделения доминирующих точек, идея которого очевидна и основана на выделении границы исследуемого множества [3]. Множество Парето выделяется из исходного множества альтернатив, не решая задачи оптимизации функции. При вогнутой задаче максимизации множеству Парето соответствует северо-восточная граница допустимого множества альтернатив. Для построения множества допустимых решений необходимо максимизировать все критерии (вогнутую функцию можно получить из выпуклой умножением функции на «-1») либо при переходе к баллам критерий вероятности обслуживания заявок пересчитать по возрастанию, а критерии временных и денежных затрат – по убыванию. Для перехода к баллам используется метод пересчета диапазона значений: выбирается шкала от 1 до 12 баллов (что соответствует количеству вариантов), а потом пересчитываются критерии (табл. 1).

Таблица 1 – Варианты системы

№ варианта	Альтернативы		Критерии					
	n	m	$P_{обс}(n, m)$	Баллы	$T_{ож}(n, m)$	Баллы	$C(n, m)$	Баллы
1	1	1	0,34	1	0,825	9	9	12
2	2	1	0,604	5	0,495	11	13	11
3	3	1	0,787	9	0,266	12	17	9
4	1	2	0,362	2	1,893	5	14	10
5	2	2	0,654	6	1,188	7	18	8
6	3	2	0,841	10	0,622	10	22	6
7	1	3	0,37	3	3,062	2	19	7
8	2	3	0,684	7	1,997	4	23	5
9	3	3	0,876	11	1,009	8	27	3
10	1	4	0,373	4	4,277	1	24	4
11	2	4	0,704	8	2,886	3	28	2
12	3	4	0,901	12	1,405	6	32	1

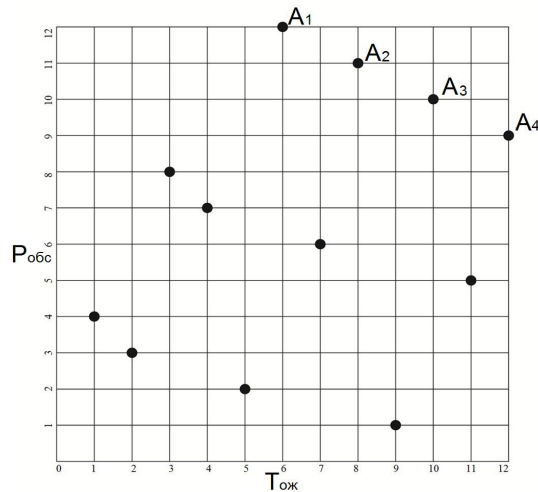


Рисунок 1 – Множество допустимых альтернатив

Стоимость представлена линейной функцией, поэтому больший интерес представляет множество Парето для критериев обслуживания заявок и временных затрат.

На координатной сетке по оси ординат откладываются в баллах значения критерия обслуживания заявок, а по оси абсцисс – временных затрат. Множество Парето в данном случае представлено эффективными точками A_1, A_2, A_3, A_4 (рис. 1).

Учитывая значения критерия стоимости в баллах, для рассматриваемой задачи получим точки $B_1(12,6,1), B_2(11,8,3), B_3(10,10,6), B_4(9,12,9)$.

Для нахождения оптимальной точки воспользуемся методом идеальной точки. Идеальной точкой для задачи максимизации считается гипотетическая точка в пространстве оценок, координаты которой имеют максимально возможные значения, достижимые на множестве оценок. Идеальной точкой будет точка \vec{B}^0 с координатами $B^0(12,12,9)$.

Найдем для всех точек \vec{B} множества Парето расстояние до идеальной точки \vec{B}^0 :

$$\rho(\vec{B}, \vec{B}^0) = \left[\sum_{i=1}^j (B_i^0 - B_i) \right]^{1/2}, \quad (7)$$

где $j=1,2,3$, B_j – координаты вектора \vec{B} , $\vec{B} \in P$, P – множество Парето.

За оптимальную примем ту точку \vec{B} , для которой указанное расстояние минимально на множестве Парето:

$$\rho(\vec{B}, \vec{B}^0) \rightarrow \min_{\vec{B} \in P}. \quad (8)$$

Оптимальной будет точка $B_4(9,12,9)$.

Решением трехкритериальной задачи (1-6) является вариант $n=3, m=1$, при котором

$$P_{обс}(3,1) = 0,787, T_{ож}(3,1) = 0,266 \text{мс}, C(3,1) = 17 \text{ед}. \quad (9)$$

По сравнению с широко используемыми одномерными потенциальными характеристиками сетей оптимизация по Парето дает качественно новую информацию для анализа проектных решений: представления о потенциально возможных значениях совокупности связанных и противоречивых критериях и соответствующих возможностях сети. Кроме того, можно выяснить, как необходимо изменить значения одних показателей качества системы для улучшения других показателей, как при этом следует изменить структуру и параметры системы.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ УСТУПОК

Метод последовательных уступок относится к методам скаляризации и сводится к поочередной максимизации частных критериев и выбору величин уступок. Некоторые многокритериальные задачи допускают решения, используя принцип последовательной уступки графическим методом как задачу линейного программирования. В данном случае это невозможно, так как необходимо строить градиенты целевых функций, а вероятность обслуживания заявок $P_{обс}(1)$ не имеет производной по n .

В методе последовательных уступок показатели, характеризующие систему, располагают в порядке важности F_1, F_2, F_3 . Далее процедура отыскания варианта системы, удовлетворяющая заданным показателям, сводится к следующему. Пусть для простоты каждый из показателей нужно обратить в максимум. Сначала ищут решение, обеспечивающее максимум главного показателя эффективности F_1 . Затем назначается, исходя из практических соображений, некоторая уступка ΔF_1 , которую согласны допустить, чтобы обратить в максимум F_2 .

Налагаем на показатель F_1 ограничение, чтобы он был не меньшим, чем $F_1^* - \Delta F_1$, где F_1^* – максимальное значение F_1 , при этом ограничении ищем решение, обеспечивающее максимум F_2 . Далее снова назначается «уступка» показателя F_2 , ценой которой можно максимизировать F_3 .

Проранжируем критерии и введем обозначение: $F_1 = P_{обс}(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \max)}{\max}$,
 $F_2 = -T_{ож}(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \max)}{\max}$, $F_3 = -C(n, m) \rightarrow \underset{(n \rightarrow \max; m \rightarrow \max)}{\max}$.

Величины уступок последовательно назначаются в результате изучения взаимосвязи и диапазона изменения частных критериев. Величина уступки $\Delta F_1 = 0,2$ позволяет получить существенный выигрыш по второму критерию; с дальнейшим увеличением уступки выигрыш растет все медленнее. В практических целях задают несколько величин уступок и определяют соответствующие максимальные значения второго критерия F_2^* . Для временных затрат величина в 0,5 мс будет приемлемой (из анализа таблицы 1).

Используя (1-5) и приняв уступки $\Delta F_1 = 0,2, \Delta F_2 = 0,5$, получим:

$F_1^* = 0,901$ в точке с координатами (3,4); $F_1^* - \Delta F_1 = 0,901 - 0,2 = 0,701$; F_1 не меньше 0,701 в точках (3,1), (3,3), (2,4), (3,4); $F_2^* = -0,266$ в точке (3,1); $F_2^* - \Delta F_2 = -0,266 - 0,5 = -0,766$; F_2 не меньше $-0,766$ при $F_1 \geq 0,701$ в точке с координатами (3,1), в которой $F_3 = 17$.

Оптимальное решение при принятых уступках достигается в точка, соответствующих значениям $n = 3, m = 1$:

$$P_{обс}(3, 1) = 0,787, T_{ож}(3, 1) = 0,266 \text{ мс}, C(3, 1) = 17 \text{ ед.} \quad (10)$$

Данное решение (10) совпадает с решением (9). Это говорит о том, что уступки были оправданы. Положительным здесь является то, что сразу видно, ценой какой уступки в одном показателе эффективности достигается выигрыш в другом. Недостаток метода заключается в необходимости предварительного ранжирования показателей, что не всегда возможно. Кроме того, в районе максимума уступка может привести к существенной потере эффективности.

ВЫВОДЫ

С увеличением роли информационных технологий в современном мире повышаются требования к качеству и функционированию информационных систем.

Использование теории систем массового обслуживания позволяет адекватно описывающих реальные объекты. В частности трехкритериальная модель позволяет найти оптимальные параметры системы.

В качестве критериев качества ИС выбраны вероятность обслуживания заявок, временные и денежные затраты. Для выбора оптимального варианта по двум критериям с заданными начальными условиями с использованием метода выделения доминирующих точек, выделяется множества Парето. Используя метод идеальной точки для трех критериев, имеем оптимальный вариант ИС.

Для решения многокритериальной задачи такого типа можно применить метод последовательных уступок. Такой метод относится к скаляризации многокритериальной задачи, поэтому имеет недостатки, которые проявляются в необходимости ранжирования и назначения уступки, чаще всего с помощью экспертов или лица, принимающего решения. Выбор таких обоснований требует очень тонкого и сложного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
2. Лебедев А.Н., Чернявский Е.А. Вероятностные методы в вычислительной технике. – М.: Высш. шк., 1986. – 312 с.
3. Ланнэ А.А., Улахович Д.А. Многокритериальная оптимизация: учебное пособие. – СПб.: ВАС-СПб, 1984. – 94 с.
4. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

Хабарова Диана Сергеевна

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
Аспирантка кафедры прикладной математики и компьютерных технологий
Тел.: 8 918 755 19 06
E-mail: diana.dip@yandex.ru

D.S. KHABAROVA (*Post-graduate Student of the Department of Applied Mathematics and Computer Technology*)
North Caucasian Federal University, Stavropol

A SOLUTION OF THE THREE-CRITERIA OPTIMIZATION PROBLEM OF AN INFORMATION SYSTEM

The probability of service requests, time and expense is considered in the present paper as benchmarks of the information system being a multi-channel queuing system with limited queue length. The multicriteria decision is made using the dominant points selection method and STEM.

Keywords: multicriteria optimization; queuing systems; information system.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Dubov Yu.A., Travkin S.I., Yakimecz V.N. *Mnogokriterial'ny'e modeli formirovaniya i vy'bora variantov sistem.* – M.: Nauka, 1986. – 296 s.
 2. Lebedev A.N., Chernyavskij E.A. *Veroyatnostny'e metody' v vy'chislitel'noj texnike.* – M.: Vy'ssh. shk., 1986. – 312 s.
 3. Lanne' A.A., Ulahovich D.A. *Mnogokriterial'naya optimizaciya: uchebnoe posobie.* – SPb.: VAS-SPb, 1984. – 94 s.
 4. Aliev T.I. *Osnovy' modelirovaniya diskretny'x sistem.* – SPb: SPbGU ITMO, 2009. – 363 s.
-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассматриваются основные результаты моделирования развития интеллектуальных ресурсов высшей школы как подсистемы интегрированных образовательных комплексов при воздействии ряда негативных факторов. На основании исследования сделаны выводы о влиянии сложившейся ситуации на развитие интегрированных образовательных комплексов и системы образования России в целом.

Ключевые слова: выпускники общеобразовательных школ; уровень подготовки; моделирование; интегрированные образовательные комплексы; информационно-аналитические ресурсы; престижность преподавательской деятельности; демографические ямы.

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные ресурсы являются важнейшим компонентом, определяющим процесс функционирования образовательных комплексов [1]. В работе [2] предложена модель, описывающая и прогнозирующая изменения численности различных возрастных и профессиональных групп системы высшего образования (СВО) в зависимости от различных факторов. Исследована реакция модели на следующие негативные явления: снижение требований к абитуриентам, снижение престижности преподавательской деятельности, одиночные и повторяющиеся демографические ямы.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Преподавательский корпус высшей школы разделяется на три группы-ступени (ассистенты и старшие преподаватели; доценты; профессора), для каждой из выделенных групп вводится распределение по возрасту. Численность i -й ступени в момент времени t обозначена через $Q_i(t)$ и представляется в виде

$$Q_1(t) = \sum_{j=n_1=1}^{m_1=65} r_{1;j}(t), \quad Q_2(t) = \sum_{j=n_2=6}^{m_2=65} r_{2;j}(t), \quad Q_3(t) = \sum_{j=n_3=11}^{m_3=65} r_{3;j}(t),$$

где $r_{i;j}(t)$ – число человек в i -й ступени, проработавших в СВО (на момент времени t) j лет (т.е. в возрасте $\tau = j + 24$ лет). Значения индексов суммирования m_i отражают редкие случаи работоспособности в возрасте до 90 лет. Через год численность j -й подгруппы ступени i может быть найдена с помощью уравнения

$$r_{i;j+1}(t+1) = \gamma_{i;j} r_{i;j}(t) + k_{i;j} r_{i-1;j}(t) - k_{i+1;j} r_{i;j}(t) - p_{i;j} r_{i;j}(t), \quad (1)$$

где $\gamma_{i;j}$ – коэффициенты «стабильности», отражающие долю тех людей, которые остаются «верными выбранной профессии» ($0 \leq \gamma_{i;j} \leq 1$); $p_{i;j}$ – коэффициенты «выхода на пенсию» с i -й ступени j -й подгруппы (т.е. вероятность ухода на пенсию в возрасте $\tau = j + 24$ лет); $k_{i;j}$ – коэффициенты перехода на i -ю ступень (j -й подгруппы).

Совокупные изменения в численностях подгрупп всех трёх ступеней описываются соответствующей системой (из $1 + 64 + 59 + 54 = 181$) рекуррентных уравнений вида (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{0;0}(t+1) = \gamma_0 r_{0;0}(t), \\ r_{1;1}(t+1) = k_{1;0} r_{0;0}(t), \\ r_{1;j+1}(t+1) = \gamma_{1;j} r_{1;j}(t) + k_{1;j} r_{0;j}(t) - k_{2;j} r_{1;j}(t) - p_{1;j} r_{1;j}(t), \\ \quad j = n_1 \dots m_1 - 1, \\ r_{2;6}(t+1) = k_{2;5} r_{1;5}(t), \\ r_{2;j+1}(t+1) = \gamma_{2;j} r_{2;j}(t) + k_{2;j} r_{1;j}(t) - k_{3;j} r_{2;j}(t) - p_{2;j} r_{2;j}(t), \\ \quad j = n_2 \dots m_2 - 1, \\ r_{3;11}(t+1) = k_{3;10} r_{2;10}(t), \\ r_{3;j+1}(t+1) = \gamma_{3;j} r_{3;j}(t) + k_{3;j} r_{2;j}(t) - p_{3;j} r_{3;j}(t), \\ \quad j = n_3 \dots m_3 - 1, \end{array} \right. \quad (2)$$

где $r_{0;0}(t)$ – число выпускников дневных отделений вузов (в момент времени t); γ_0 – коэффициент, отражающий престижность преподавательской деятельности, которая, не в последнюю очередь, зависит от финансирования образования; при достаточном для воспроизводства преподавательского корпуса финансировании можно считать $\gamma_0 = 1$, что обеспечивает постоянную «подпитку» молодыми кадрами:

$$r_{0;0}(t+1) = r_{0;0}(t);$$

коэффициенты перехода на 2-ю ступень $k_{2;1}, k_{2;2}, k_{2;3}$ (и $k_{2;4}$) равны 0, т.к. перейти на 2-ю ступень раньше, чем через 3 года, необходимые для написания и защиты диссертации, нереально (в системе оставлены для однородности записи уравнений, относящихся к 1-й ступени); аналогично для 3-й ступени: $k_{3;6} = k_{3;7} = \dots = k_{3;9} = 0$; отсутствуют также коэффициенты перехода $k_{2;j}$ и $k_{3;j}$ при $j \geq 37$, так как они соответствуют возрасту $\tau \geq 61$ года.

К системе уравнений (2) необходимо добавить естественные ограничения в виде неравенств (все неизвестные $r_{i;j}(t)$ – и все коэффициенты перед ними ≥ 0):

$$\sum_{j=5}^{36} k_{2;j} r_{1;j}(t) \leq V_2 - Q_2(t), \quad \sum_{j=10}^{36} k_{3;j} r_{2;j}(t) \leq V_3 - Q_3(t), \quad (3)$$

где V_i – штатная численность i -й ступени – наиболее консервативная величина; $V_i - Q_i(t)$ – число вакансий на i -й ступени. Условия (3) означают, что число перешедших на новую ступень не может превысить число вакансий на ней.

ЗАДАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОДЕЛИ. КОЭФФИЦИЕНТЫ «СТАБИЛЬНОСТИ»

Коэффициенты мобильности $\mu_{i;j}$ падают с возрастом, поэтому зададим коэффициенты «стабильности» $\gamma_{i;j} = 1 - \mu_{i;j}$ формулой, обеспечивающей их изменение для первой ступени на отрезке $[0,8375; 1]$, для второй – на отрезке $[0,8839; 1]$, для третьей – на отрезке $[0,9171; 1]$ (при выбранном нами диапазоне изменения возраста τ от 25 до 90 лет). График этой зависимости представлен на рисунке 1.

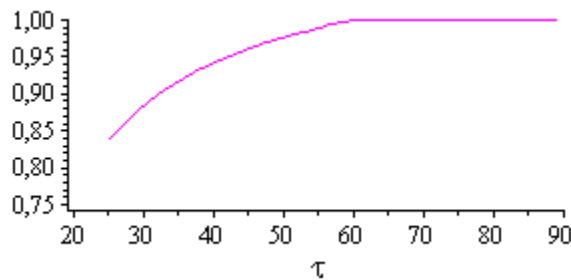


Рисунок 1 – Изменение коэффициентов «стабильности»

При этом средние значения этих коэффициентов на отрезке «до пенсии» ($\tau \leq 60$) составляют: для первой ступени – $\bar{\gamma}_1 \approx 0,942$, для второй – $\bar{\gamma}_2 \approx 0,955$, для третьей – $\bar{\gamma}_3 \approx 0,965$.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫХОДА НА ПЕНСИЮ

Поскольку в системе образования достижение пенсионного возраста не влечёт за собой автоматического ухода на пенсию (т.е. уход на пенсию носит вероятностный характер), решено было взять «пенсионные» коэффициенты $p_{i,j}$ в простейшем виде – линейно зависящими от возраста, но с разными угловыми коэффициентами, отражающими престижность ступени, и обеспечивающими 100%-й выход на пенсию с 1-й ступени в возрасте 70 лет, со 2-го – в возрасте 85 лет и с 3-го – в возрасте 100 лет. На рисунке 2 приведены графики изменения «пенсионных» коэффициентов.

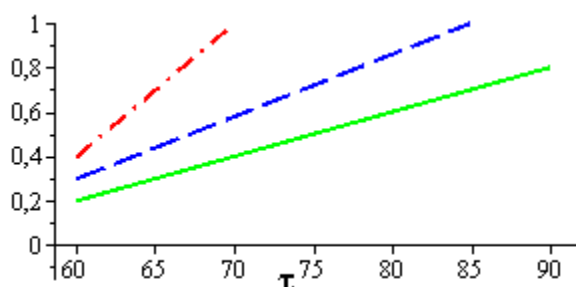


Рисунок 2 – Изменение «пенсионных» коэффициентов $p_{1,j}$ [— · —], $p_{2,j}$ [— —], $p_{3,j}$ [—]

Отметим, что выбранные формулы для «пенсионных» коэффициентов и коэффициентов «стабильности» обеспечивают выполнение неравенства

$$\gamma_{i,j} - p_{i,j} \geq 0$$

для всех допустимых значений i и j .

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА НА НОВУЮ СТУПЕНЬ

Коэффициенты перехода на i -ю ступень взяты в виде:

$$k_{i,j} = \min \left(\max \left(\frac{V_i - Q_i(t)}{r_{i-1,j}}, 0 \right), \gamma_{i-1,j} - p_{i-1,j}, P_i(j) \right),$$

где $P_i(j)$ – вероятности обладания определёнными способностями: $P_1(j)$ – вероятность, что выпускника вуза пригласят работать в СВО (постоянная); $P_2(j)$, $P_3(j)$ – вероятности защиты (в возрасте $\tau = j + 24$) кандидатской или докторской диссертации соответственно, причём

$$P_2(\tau) = P_2/w_2^{\tau-29} \quad (\tau \geq 29), \quad P_3(\tau) = P_3/w_3^{\tau-34} \quad (\tau \geq 34),$$

где постоянные w_2 и w_3 характеризуют степень снижения указанных вероятностей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И СОСТОЯНИЙ.

ОЦЕНКА НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ «КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАЩИТЫ»

На основе статистических данных (из «Российских статистических ежегодников») о численностях студентов и ППС в советские годы (и использования бета-распределения¹⁾ для описания уровня способностей) в [2] вычислены значения P_1 , начальные значения «коэффициентов защиты» – P_2 и P_3 соответственно, а также величины w_2 и w_3 . Для советской СВО они составили

¹⁾ а именно: обобщённого β -распределения 1-го рода на отрезке $[0; 14]$ с параметрами p и q ; при $p = q \approx 6,37$ распределение $\beta_1([0; 14]; 6,37; 6,37)$ мало отличается от нормального распределения $N(7; 2)$, но не имеет его недостатков.

$$(P_1; P_2; P_3) \approx (0,1865; 0,2411; 0,0268) \quad (4)$$

и

$$(w_2; w_3) \approx (1,0078; 1,0014). \quad (5)$$

ЗАДАНИЕ ПРОПОРЦИЙ МЕЖДУ СТУПЕНЯМИ

На основе тех же статистических данных в модель заложены следующие пропорции для числа рабочих мест на трёх ступенях:

$$V_1 : V_2 : V_3 = 45 : 38 : 4, \quad (6)$$

а также начальное значение числа выпускников дневных отделений ВУЗов:

$$r_{0,0}(0) = V = V_1 + V_2 + V_3. \quad (7)$$

ВОЗРАСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Первоначальные запуски модели при различных начальных распределениях $r_{i,j}(0)$ показали, что через 20-40 лет распределения возрастов стабилизируются к своим для каждой ступени распределениям. Анализ этих «конечных» распределений привёл к необходимости использовать распределения, задаваемые разными формулами на разных возрастных участках, т.е. в виде

$$p(x) = \begin{cases} f_1(x), & a \leq x < b, \\ f_2(x), & b \leq x < c. \end{cases}$$

При этом для первой ступени решено было остановиться на модели, комбинирующей (обобщённое) экспоненциальное и логнормальное распределения:

$$p_1(\tau) = \begin{cases} k_1 \cdot (a_1 + \lambda_1 e^{-\lambda_1(\tau-b_1)}), & b_1 \leq \tau < 29, \\ k_2 \cdot \frac{e^{-\frac{1}{2}(\ln(\tau-c_1)-d_1)^2}}{(\tau-c_1)\sqrt{2\pi}}, & 29 \leq \tau < \infty, \\ 0, & \text{если } \tau < b_1; \end{cases}$$

для второй – на модели, комбинирующей смещённое 3-параметрическое β -распределение 2-го рода и распределение Вейбулла, т.е.

$$p_2(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau < a_2, \\ k_1 \cdot \left(\frac{d_2}{60-a_2} + \frac{\tau^{-b_2} (\tau-a_2)^{c_2-1}}{a_2^{c_2-b_2} \mathbf{B}(b_2-c_2, c_2)} \right), & a_2 \leq \tau < 60, \\ k_2 \cdot \frac{\lambda_2}{f_2} \left(\frac{\tau-g_2}{f_2} \right)^{\lambda_2-1} \exp \left(- \left(\frac{\tau-g_2}{f_2} \right)^{\lambda_2} \right), & 60 \leq \tau < \infty. \end{cases}$$

для третьей – на модели, комбинирующей (обобщённое) β -распределение 1-го рода с распределением Вейбулла:

$$p_3(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau < a_3, \\ k_1 \cdot \frac{(\tau-a_3)^{c_3-1} (b_3-\tau)^{d_3-1}}{(b_3-a_3)^{c_3+d_3-1} \mathbf{B}(c_3, d_3)}, & a_3 \leq \tau < 60, \\ k_2 \cdot \frac{\lambda_3}{f_3} \left(\frac{\tau-g_3}{f_3} \right)^{\lambda_3-1} \exp \left(- \left(\frac{\tau-g_3}{f_3} \right)^{\lambda_3} \right), & 60 \leq \tau < \infty. \end{cases}$$

Коэффициенты k_1 и k_2 (свои для каждой ступени) выбирались из условий нормировки и непрерывности.

Числовые значения параметров удалось подобрать так, что коэффициент детерминации R^2 (между моделируемыми и теоретическими плотностями) в худшем случае превышает 0,999.

Указанные плотности в окончательной модели приняты в качестве исходных распределений. Их графики представлены на рисунке 3.

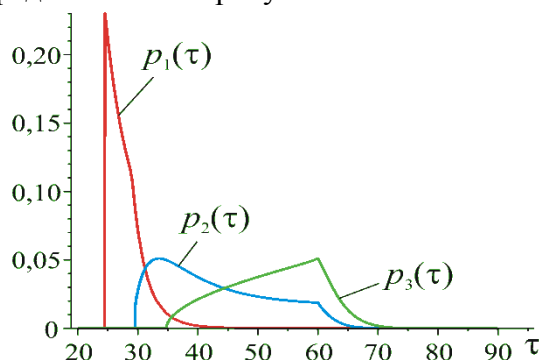


Рисунок 3 – Графики плотностей возрастных распределений $p_i(\tau)$ на трёх ступенях

НАЧАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ

Заложенная в нашу модель эволюции СВО мобильность её участников приводит к тому, что даже при стабильном развитии некоторая часть штатных мест на каждой ступени остаётся вакантной. По результатам первоначального моделирования в окончательной модели начальные значения $r_{i,j}(0)$ были взяты следующими:

$$r_{1,j}(0) = 0,83 \cdot \int_{23,5+j}^{24,5+j} p_1(\tau) d\tau, \quad r_{2,j}(0) = 0,93 \cdot \int_{23,5+j}^{24,5+j} p_2(\tau) d\tau, \quad r_{3,j}(0) = 0,94 \cdot \int_{23,5+j}^{24,5+j} p_3(\tau) d\tau.$$

На рисунке 4 приведены гистограммы (абсолютных частот) заложенных возрастных распределений, соответствующих значению $t = 0$ при $V = 100000$.

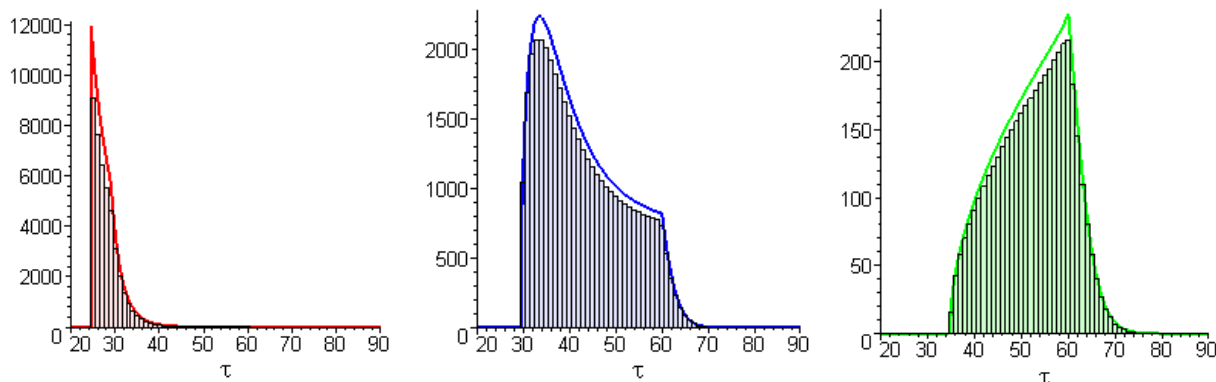


Рисунок 4 – Гистограммы начальных ($t = 0$) возрастных распределений на трёх ступенях совместно с графиками соответствующих плотностей

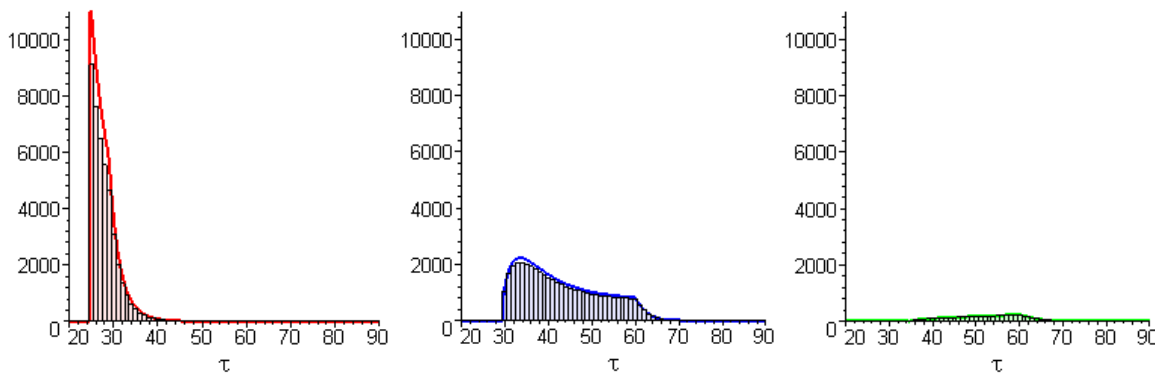


Рисунок 5 – Гистограммы начальных ($t = 0$) возрастных распределений на трёх ступенях совместно с графиками соответствующих плотностей

На рисунке 5 (для сравнения) приведены те же гистограммы, но в одинаковом масштабе, позволяющем увидеть заложенные в модель пропорции (6).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МОДЕЛИ СВО ПРИ «СОВЕТСКИХ» ПАРАМЕТРАХ

1) Модель с «советскими» параметрами (при симметричном распределении способностей абитуриентов и наборе студентов, способности которых не ниже 9-го уровня по 14-балльной шкале, обоснованной в [2] и [3]) продемонстрировала (рис. 6, 7) сбалансированное и устойчивое существование СВО, причём не только в количественном отношении, но и в качественном: все кандидаты наук имеют уровень способностей ξ не ниже 12-го, а доктора наук – не ниже 13-го.

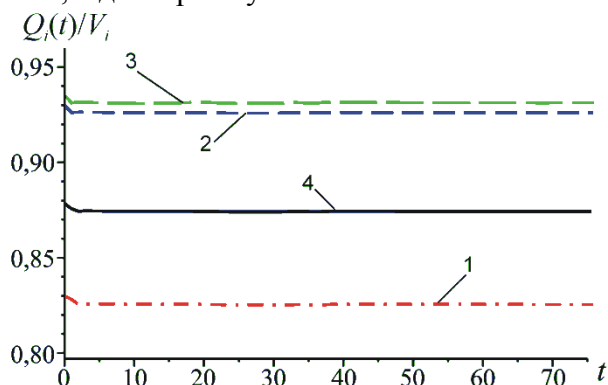


Рисунок 6 – Изменение относительной численности ППС на каждой ступени (1–3) и их суммы (4) при «советских» параметрах

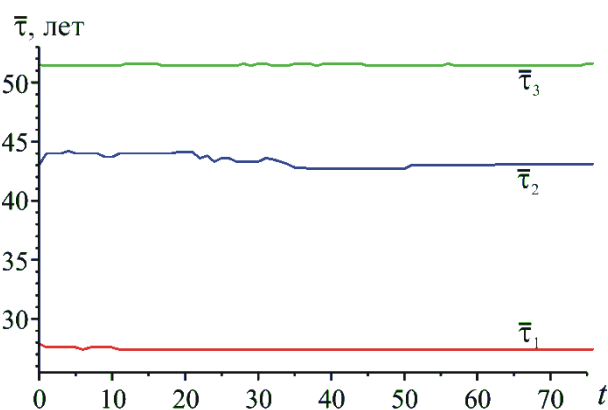


Рисунок 7 – Динамика среднего возраста каждой ступени (при коэффициенте «престижности» $\gamma_0 = 1$)

2) Для устойчивого существования СВО (с «советскими» параметрами) необходимо (ежегодное) выполнение неравенства

$$r_{0;0} \geq \bar{\gamma}_1 V_1 \approx 0,942 \cdot V_1 = 0,942 \cdot \frac{45}{45 + 38 + 4} \cdot V \approx 0,487 \cdot V. \quad (8)$$

Уменьшение коэффициента перед V с 0,487 всего до 0,43 на 1 год приводит к тому, что (рис. 8) через 6 лет на 2-й ступени начинается длительный (34 года) спад до 82%, а за первые 8 лет теряется 12% кадров 1-й ступени;

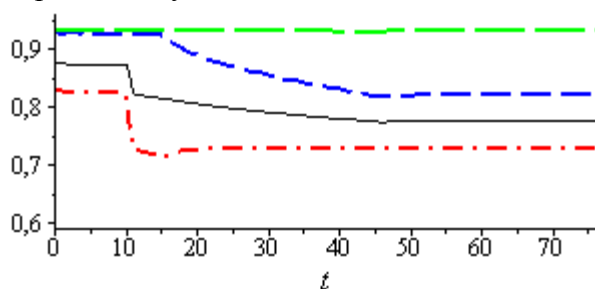


Рисунок 8 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-го [-.-.-], 2-го [-.-], 3-го [---] ступеней и их суммы при $r_{0;0}(10) = 0,43 \cdot V$

При этом, несмотря на стабильную ситуацию на 3-й ступени, за 40 лет происходит общее падение численности системы на 11%, после чего она продолжает стабильно функционировать, но уже с другими пропорциями для ступеней:

$$Q_1(50) : Q_2(50) : Q_3(50) \approx 35 : 33 : 4.$$

ВЛИЯНИЕ СНИЖЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К АБИТУРИЕНТАМ

Поскольку неравенство (8) заметно слабее условия (7), то у СВО с «советскими» параметрами имеется определённый «запас прочности». Поясним, что здесь имеется в виду,

более подробно.

Расчёты по модели при $r_{0;0}/V = 0,6$ на 1 год (что может случиться, скажем, из-за демографического провала или экономического кризиса) при «советских» значениях P_i из (4) и w_i из (5) показали, что СВО за 4–6 лет восстанавливается полностью.

Подсчитаем теперь вероятности P_i , исходя из модели распределения способностей абитуриентов 2009 года (т.е. для $\beta_1 \langle [0; 14]; 2,106; 3,385 \rangle$) при условии, что учиться в ВУЗы принимают людей, чьи способности выше 6-го из 14 уровней ($6 > M\xi \approx 5,37$), то есть речь идёт о наборе студентов, способности которых выше фактического среднего уровня способностей, но ниже не только «советской» планки, но и теоретического среднего уровня.

Таблица 1 – Вероятности обладания способностями определённого уровня

№ уровня k	7	8	9	10	11	12	13	14
$P(\xi > k - 1)$, %	39,20	27,66	18,04	10,62	5,41	2,20	0,60	0,06
$P(\xi > k - 1) / P(\xi > 6)$, %	100	70,57	46,03	27,10	13,81	5,62	1,53	0,16

Если не снижать требования к остепенённым преподавателям ВУЗов, то сниженные (на три уровня) требования к абитуриентам вместо (4) приводят к

$$(P_1; P_2; P_3) \approx (0,1381; 0,4072; 0,1108) \quad (9)$$

и меняют значения правых частей уравнений для w_2 и w_3 :

$$\frac{1 - w_2^{-31}}{31 \cdot \ln w_2} = \frac{P(11 < \xi \leq 12)}{P(\xi > 11)} \approx 0,727963, \quad \frac{1 - w_3^{-26}}{26 \cdot \ln w_3} = \frac{P(12 < \xi \leq 13)}{P(\xi > 12)} \approx 0,897699,$$

из которых найдём, что

$$(w_2; w_3) \approx (1,0219; 1,0085). \quad (10)$$

Расчёты по модели (при $r_{0;0}(10)/V = 0,6$) с изменёнными параметрами P_1 , w_2 и w_3 показали (рис. 9), что, несмотря на стабильное развитие на второй и третьей ступени, за первые 30-35 лет на первой ступени происходит падение численности на 17%, уменьшающее общую численность СВО и меняющее пропорции между ступенями – $Q_1(50) : Q_2(50) : Q_3(50) \approx 33 : 38 : 4$.

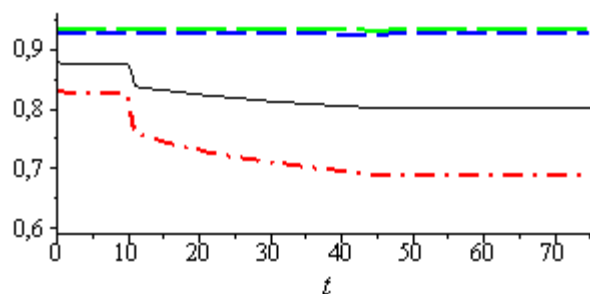


Рисунок 9 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-го [---], 2-го [---], 3-го [---] ступеней и их суммы при P_i из (9) и w_i из (10) ($r_{0;0}(10) = 0,6 \cdot V$)

При этом изменение численностей сопровождается заметными колебаниями среднего возраста на верхних ступенях и уменьшением его на второй ступени (рис. 10).

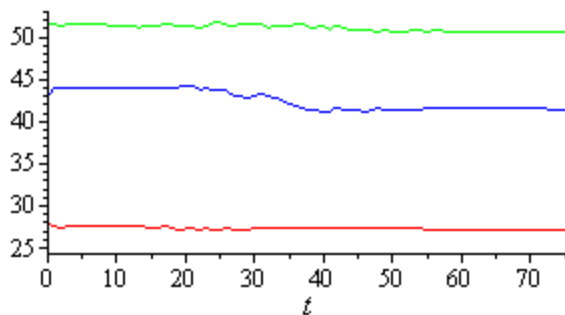


Рисунок 10 – Динамика среднего возраста каждой ступени при P_i из (9) и w_i из (10)

Таким образом, моделирование показывает, что значительное снижение требований только к абитуриентам даже при отсутствии снижения требований к кандидатам и докторам наук приводит к уменьшению общей численности СВО, т.е. система становится неспособной подготовить необходимое количество профессионально состоятельных кадров даже для себя самой.

Интересно, что при $r_{0,0}/V \geq 0,9$ рассмотренное снижение требований к абитуриентам не приводит к заметным последствиям, а наименьшее значение отношения $r_{0,0}/V$ наблюдалось в 1990 году и составило $\approx 0,98$ (т.е. вдвое выше критического), что и подтверждает тезис о «запасе прочности».

РЕАКЦИЯ МОДЕЛИ НА СНИЖЕНИЕ ПРЕСТИЖНОСТИ

Ограничимся рассмотрением двух случаев, в которых престижность преподавательской деятельности меняется на протяжении 10 лет (t от 10 до 20 лет).

1) Пусть коэффициент «престижности» γ_0 меняется по закону, график которого приведён на рисунке 11, т.е. за 2 года γ_0 падает вдвое, затем в течение двух лет остаётся на этом 50%-м уровне и затем за шесть лет восстанавливается до исходного значения 1.

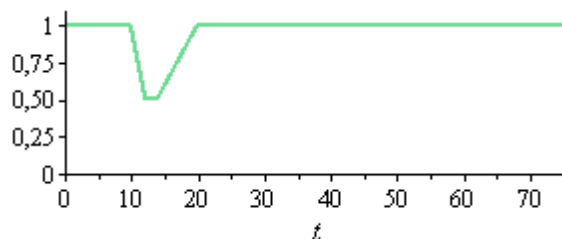


Рисунок 11 – Изменение коэффициента «престижности» γ_0

Моделирование показывает, что в этом случае мы очень быстро приходим к катастрофе СВО (рис. 12).

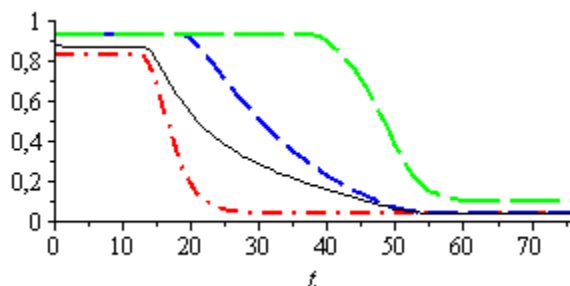


Рисунок 12 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-го [---], 2-го [---], 3-го [---] ступеней и их суммы [—] при коэффициенте «престижности» γ_0 , меняющемся как на рисунке 11 ($r_{0,0} = V$)

При этом варианте развития событий, несмотря на восстановление «престижности»,

системе не удаётся восстановиться даже в отдалённом будущем.

2) Рассмотрим случай, когда коэффициент «престижности» γ_0 сначала падает на 20%, потом возрастает на те же 20% и затем возвращается к исходному значению 1 в течение того же промежутка времени (t от 10 до 20 лет). Такое изменение можно задать функцией

$$\gamma_0 = \begin{cases} 1 + \frac{1}{5} \sin \frac{\pi(t-15)}{5}, & t \in [10; 20], \\ 1, & t \notin [10; 20], \end{cases} \quad (11)$$

график которой представлен на рисунке 13.

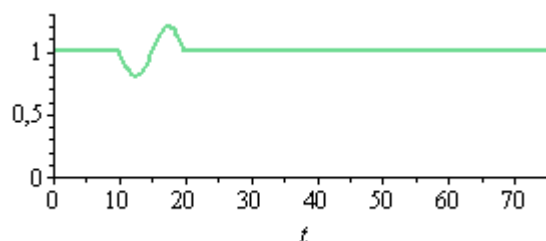


Рисунок 13 – Изменение коэффициента «престижности» γ_0 , заданного формулой (11)

В этом случае за счёт компенсации спада соответствующим повышением коэффициента «престижности» катастрофы СВО удаётся избежать даже при $r_{0;0}(0)/V = 0,6$ (рис. 14).

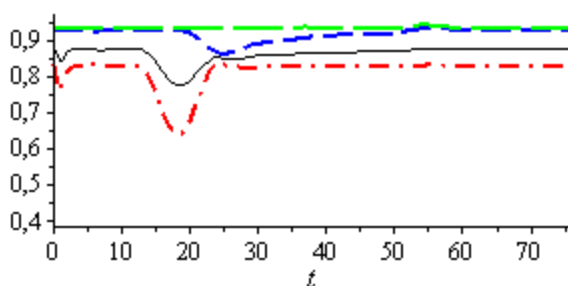


Рисунок 14 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-го [—•—], 2-го [—•—], 3-го [—•—] ступеней и их суммы [—] при коэффициенте «престижности» γ_0 , заданном формулой (11), и $r_{0;0}(0)/V = 0,6$

При таком варианте развития событий система восстанавливается с несколько меньшей численностью. При $r_{0;0}/V = 1$ функционирование СВО проходит вообще без видимых изменений в численностях ступеней.

Таким образом, можно сделать вывод, что отсутствие у коэффициента «престижности» компенсационного роста, сопоставимого с величиной его падения, неизбежно ведёт к катастрофе СВО.

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНЫХ И ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ЯМ

Одиночные демографические ямы моделировались заданием $r_{0;0}(t)$ как функции вида

$$r_{0;0}(t) = K \cdot V \cdot f_{\text{д.я.}}(t; g, t_1, t_2),$$

в которой постоянный множитель K равен отношению $r_{0;0}(0)/V$ числа выпускников дневных отделений к общей численности ППС в начальный момент моделирования, а переменный множитель имеет вид

$$f_{\text{д.я.}}(t; g, t_1, t_2) = \begin{cases} 1 - g \cdot \cos^2 \frac{\pi(t-t_c)}{t_2-t_1}, & t \in [t_1; t_2], \\ 1, & t \notin [t_1; t_2], \end{cases} \quad (12)$$

где g – глубина демографической ямы; t_1 и t_2 – начало и конец демографической ямы; $t_c = (t_1 + t_2)/2$ – середина демографической ямы.

1) Заложим в модель демографическую яму длительностью $\Delta t = 10$ лет и глубиной 20%. Для этого зададим $r_{0,0}(t)$ как функцию

$$r_{0,0}(t) = K \cdot V \cdot f_{д.я.}(t; 20\%, 10, 20); \quad (13)$$

график переменного множителя приведён на рисунке 15.

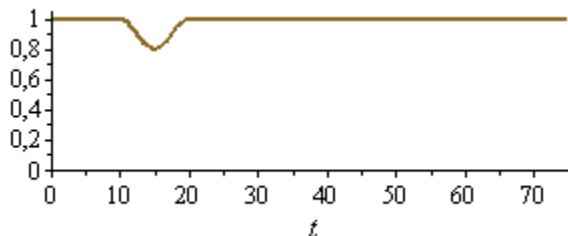


Рисунок 15 – Изменение множителя $f_{д.я.}(t)$ в формуле (13)

Используя вероятности P_i «советской» СВО (4) и вычисленные для неё коэффициенты снижения w_i (5), при $K = 1$ получим отклик модели [16d4a], представленный на рисунке 16.

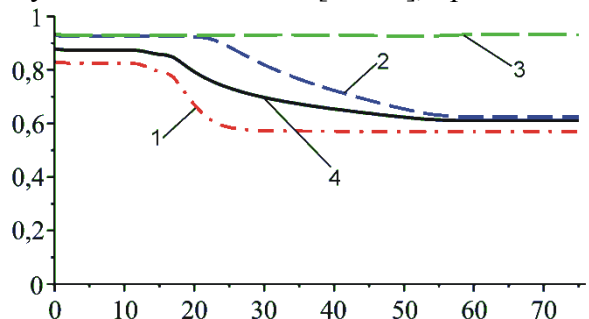


Рисунок 16 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_j$) для 1-й (1), 2-й (2), 3-й (3) ступеней и их суммы (4) при $K = 1$ и $r_{0,0}$, заданном в (13)

К концу демографической ямы численность первой ступени (Q_1) падает на треть, за 2 года до окончания ямы начинается 40-летний спад на 2-й ступени и, несмотря на благополучную динамику для Q_3 , общая численность системы падает на 30% и не восстанавливается. Сопровождается это (рис. 17) длительными (более 30 лет) серьезными колебаниями средних возрастов на верхних ступенях.

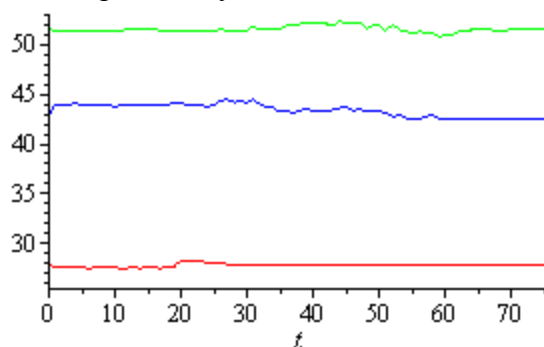


Рисунок 17 – Динамика средних возрастов каждой ступени при демографической яме, заданной формулой (13), и $K = 1$

2) Увеличение (на один год) коэффициента K с 1 до 1,45 «выправляет» ситуацию (рис. 18), хотя на второй ступени сохраняются значительные долговременные колебания среднего возраста (рис. 19).

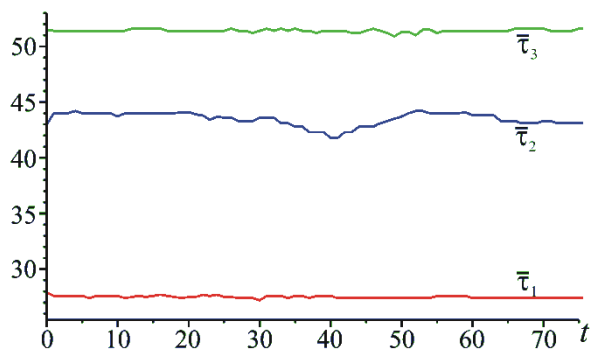


Рисунок 19 – Динамика средних возрастов каждой ступени при демографической яме, заданной формулой (13), и $K = 1,45$

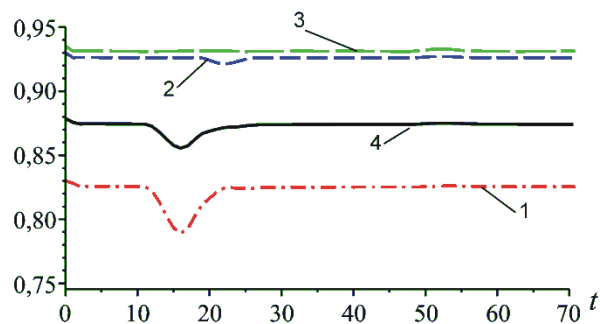


Рисунок 18 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-й (1), 2-й (2), 3-й (3) ступеней и их суммы (4) при $K = 1,45$ и $r_{0;0}$, заданном в (13)

Заметим, что значение $K = 1,45$ является вполне реальным, так как в период с 1970 по 1985 годы этот показатель менялся*) в пределах 1,215-1,464. Можно предположить, что одной из причин его изменения как раз и является демографическая яма 80-х годов XX века. При этом, конечно, стоит иметь в виду, что в указанный период величина V также возросла – на 38 %, а наша модель подобные изменения не учитывает. Если увеличение коэффициента K растянуть на 10 лет, предшествующих демографической яме, то требуемое увеличение будет более скромным и составит от 0,5% до 20,5% (при глубине ямы от 20% до 40%).

3) Отметим, что восстанавливаемость СВО чувствительна к малым изменениям коэффициента K .

Для подтверждения зададим демографическую яму глубиной $g = 14\%$ с помощью функции

$$r_{0;0}(t) = K \cdot V \cdot f_{\text{д.я.}}(t; 14\%, 10, 20). \quad (14)$$

Отклик модели при $K = 0,95$ представлен на рисунке 20.

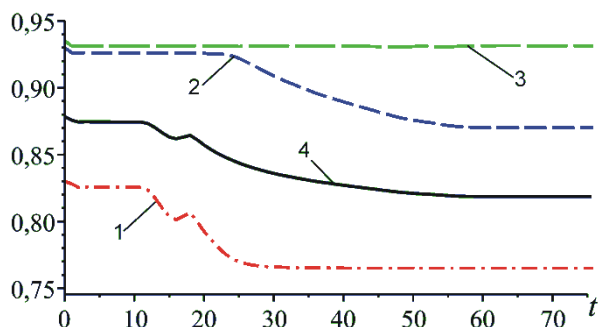


Рисунок 20 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-й (1), 2-й (2), 3-й (3) ступеней и их суммы (4) при $K = 0,95$ и $r_{0;0}$, заданном в (14)

Как видим, полного восстановления СВО не происходит даже в отдаленной перспективе. В то же время увеличение (на один год) величины K всего на 0,1 (т.е. до $K = 1,05$) позволяет системе восстановиться достаточно быстро: через 5 лет после конца демографической ямы снижение численности любой ступени не превышает 0,5 % (см. рисунок 21).

*) по данным «Российских статистических ежегодников» за 2001–2004 годы.

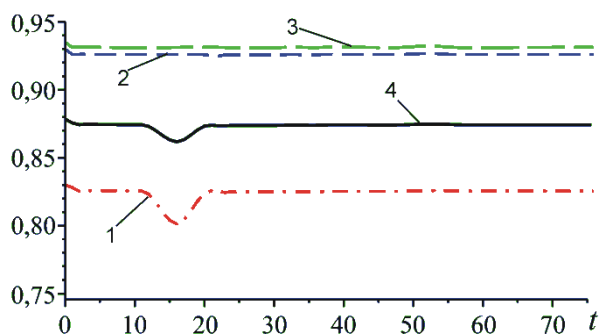


Рисунок 21 – Изменение относительной численности ($Q_i(t)/V_i$) для 1-й (1), 2-й (2), 3-й (3) ступеней и их суммы (4) при $K = 1,05$ и $r_{0,0}$ заданном в (14)

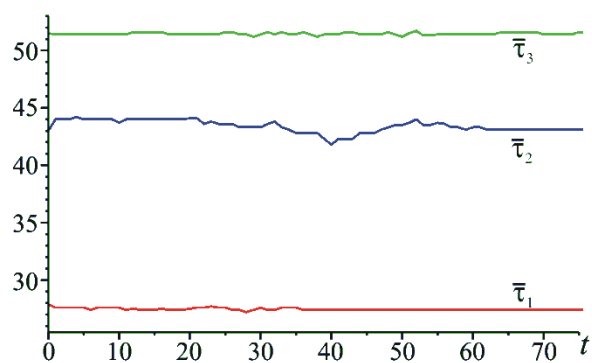


Рисунок 22 – Динамика средних возрастов каждой ступени при демографической яме, заданной формулой (14), и $K = 1,05$

При этом средний возраст на первой и третьей ступени совершает незначительные колебания, а более заметные колебания среднего возраста на второй ступени ($\bar{\tau}_2$) возникают уже после выхода из демографической ямы и через 40 лет становятся несущественными (рис. 22).

4) Более мелкие по глубине, но более продолжительные по времени волнообразные демографические ямы оказывают аналогичное отрицательное влияние на СВО.

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ЯМ И СНИЖЕНИЯ ПРЕСТИЖНОСТИ

Рассмотрим теперь совместное влияние двух негативных факторов – демографической ямы и снижения престижности преподавательской деятельности.

1) Зададим на отрезке $[10; 20]$ (одиночную) демографическую яму «безопасной» глубины 13% с помощью функции (12):

$$r_{0,0}(t) = K \cdot V \cdot f_{\text{дя}}(t; 13\%, 10, 20), \quad (15)$$

а изменение коэффициента «престижности» – с помощью функции (11), моделирующей спад престижности (на 20%) с последующим компенсирующим ростом. Напомним, что в этом случае при $r_{0,0} = V$ функционирование СВО проходит вообще без видимых изменений в численностях ступеней.

Отклик модели (при $K = 1$ и совместном влиянии безопасных по отдельности факторов (11) и (15)) показал, что компенсационного роста коэффициента «престижности», равного величине его падения, становится недостаточно для восстановления СВО в полном объеме (рис. 23, 24).

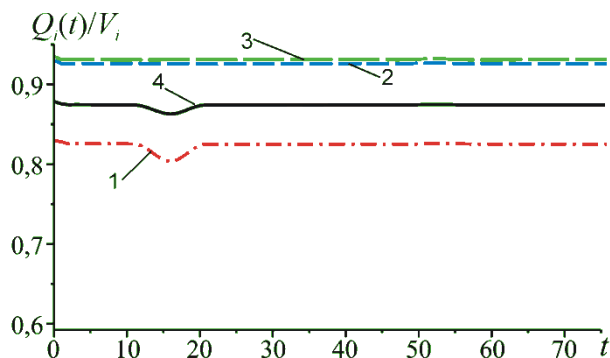


Рисунок 23 – Изменение относительной численности ППС на каждой ступени (1–3) и их суммы (4) при $r_{0,0}$ заданном в (15) и $\gamma_0 = 1$

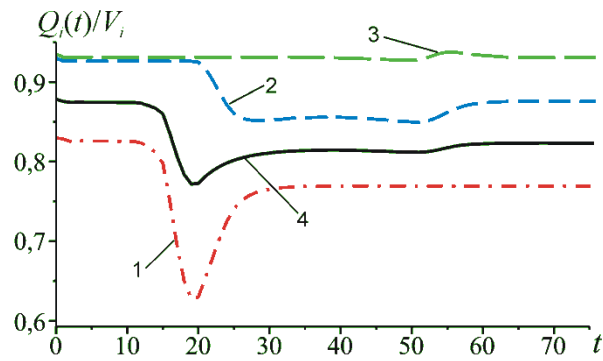


Рисунок 24 – Изменение относительной численности ППС на каждой ступени (1–3) и их суммы (4) при r_0 , ω заданном в (15) и γ_0 , заданном в (11)

Общая численность через 30 лет после прекращения действия указанных негативных факторов меньше исходной на 7%.

2) Зададим теперь на отрезке $[10; 20]$ с помощью функции

$$f_{\text{д.я.}}(t) \approx 0,9649 - 0,0145\cos(\pi t/10) + 0,0037\sin(\pi t/10) + 0,0196\cos(\pi t/5) \quad (16)$$

волнообразную демографическую яму (её график представлен на рис. 25), безопасную (при $K = 1$) для стабильного функционирования СВО, а изменение коэффициента «престижности» γ_0 – с помощью функции (11).

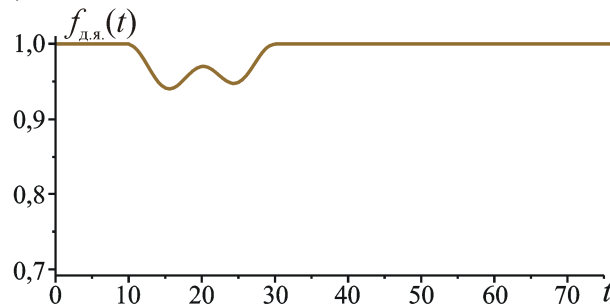


Рисунок 25 – График функции $f_{\text{д.я.}}(t)$ (16)

Расчёты по модели (при $K = 1$) представлены на рисунке 26.

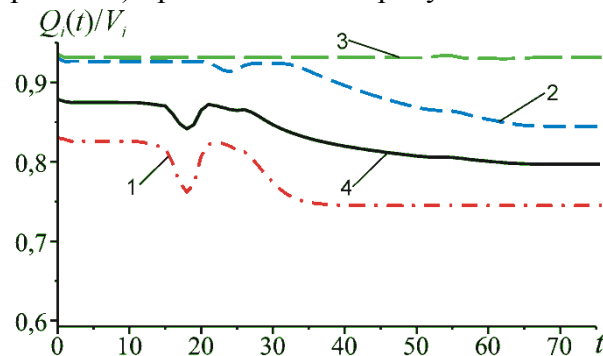


Рисунок 26 – Изменение относительной численности ППС на каждой ступени (1–3) и их суммы (4) при r_0 , ω заданном в (16) и γ_0 , заданном в (11)

Из рисунка 26 видно, что из-за второго демографического провала наметившееся восстановление численности ППС ещё до конца демографической ямы сменяется сначала быстрым спадом на первой ступени, а затем и – более затяжным – на второй. Общая численность кадрового состава СВО уменьшается на 8%.

Представленные результаты моделирования позволяют утверждать, что различные негативные факторы с параметрами, безопасными по отдельности, при совместном воздействии оказывают заметное отрицательное влияние и требуют больше усилий для своей нейтрализации.

ВЫВОДЫ

Приведённые результаты моделирования показывают:

1. Советская СВО, для которой были характерны достаточно высокие требования к абитуриентам и престижность преподавательской деятельности, была сбалансирована, обеспечивая себя специалистами, уровень способностей которых был не ниже 11-го. При этом для собственного воспроизводства ей требовалось менее 19% числа выпускников дневных отделений ВУЗов.

2. Даже не очень продолжительное (до 10 лет) падение престижности преподавательской деятельности (при отсутствии у коэффициента престижности компенсационного роста, сопоставимого с величиной его падения) приводит в недалёком будущем к негативным последствиям для СВО.

3. Продолжительные (с длительностью $\Delta t \geq 10$ лет) демографические ямы даже умеренной глубины ($g \approx 15-20\%$) губительно сказываются на общей численности СВО; при этом наибольшему снижению численности подвержены первые две ступени. Волнообразные демографические ямы (из-за увеличенной суммарной продолжительности своего действия) также отрицательно влияют на стабильное существование СВО.

4. Значительное снижение требований к абитуриентам даже при отсутствии снижения требований к кандидатам и докторам наук при дополнительных негативных факторах может привести к неспособности системы подготовить необходимое количество квалифицированных кадров даже для себя самой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коськин А.В. Информационно-аналитические ресурсы для управления организационно-техническими системами / под общ. ред. проф. Константинова И.С. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 208 с.
2. Аврашков П.П., Коськин А.В., Фролов А.И. Моделирование динамических характеристик структуры кадровых ресурсов высшей школы // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 8(56). – С. 40-47.
3. Аврашков П.П., Коськин А.В., Фролов А.И. Моделирование уровня подготовки абитуриентов при формировании системы управления интегрированными образовательными комплексами // Информационные системы и технологии, 2010. – № 3(59). – С. 95-102.

Аврашков Павел Петрович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории специального программного обеспечения

Тел.: 8 (4862) 43-56-11

E-mail: avrashkov@mail.ru

Коськин Александр Васильевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл

Доктор технических наук, профессор, проректор по информатизации и дистанционному обучению

Тел.: 8 (4862) 41-98-15

E-mail: koskin@ostu.ru

Фролов Алексей Иванович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл

Кандидат технических наук, доцент, директор ресурсного центра информатизации образования

Тел.: 8 (4862) 43-56-11

E-mail: aifrolov@ostu.ru

A.V. KOSKIN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice President for Information and Distance Learning*)

A.I. FROLOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of Education Information Resource Center*)
State University – ESPC, Orel

MODELING OF THE DYNAMICS THE INTELLECTUAL RESOURCES OF THE INTEGRATED EDUCATIONAL COMPLEXES

This article discusses the basic results of the progress modeling the higher education intellectual resources as a subsystem of integrated educational complexes by effect of a number of negative factors. On the basis of research the conclusions about current situation influence on the progress of the integrated educational complexes and the Russian education system in whole are drawn.

Keywords: *secondary school graduate; training level; modeling; integrated educational complexes; information-analytical resources; prestige of teaching; demographic holes.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kos'kin A.V. Informacionno-analiticheskie resursy' dlya upravleniya organizacionno-texnicheskimi sistemami / pod obshh. red. prof. Konstantinova I.S. – M.: Mashinostroenie-1, 2006. – 208 s.
2. Avrashkov P.P., Kos'kin A.V., Frolov A.I. Modelirovanie dinamicheskix xarakteristik struktury' kadrovy'x resursov vy'sshej shkoly' // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2011. – № 8(56). – S. 40-47.
3. Avrashkov P.P., Kos'kin A.V., Frolov A.I. Modelirovanie urovnya podgotovki abiturientov pri formirovanii sistemy' upravleniya integrirovanny'mi obrazovatel'ny'mi kompleksami // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 3(59). – S. 95-102.

ОБЗОР ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ КЛАССА ELECTRONIC DATA INTERCHANGE

В данной статье речь идет о системах класса Electronic Data Interchange (EDI) - системах для обмена данными между независимыми информационными системами. Основной этап становления общей концепции этих систем пришелся на конец восьмидесятых годов. Последние двадцать лет с развитием технологий и изменением внешних требований идет достаточно быстрая эволюция этих систем. В русскоязычной литературе почти не уделяется внимания системам данного класса, вероятно, это связано с тем, что в основной период их становления исследования в данной области в России почти не проводились. В настоящей статье проводится обзор систем данного класса, основных задач и вопросов, возникающих при их создании.

Ключевые слова: электронный документооборот.

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что впервые задача по передаче данных между независимыми информационными системами всерьез была сформулирована в конце шестидесятых годов ассоциацией железнодорожных компаний США. Задача была обусловлена острой необходимостью по передаче данных о движении грузов между системами по учету груза различных компаний.

Однако только с развитием технологий в конце восьмидесятых на западе четко оформилась специальная отрасль информационных технологий – Electronic data interchange (EDI) [1]. По переводу этого термина на русский язык необходимо дать развернутые комментарии.

В русскоязычной литературе информационные системы указанного класса обычно называют системами электронного документооборота. Этим же термином обычно обозначают системы, предназначенные для обмена электронными документами между сотрудниками внутри компании. В таких системах (по-английски их часто называют docflow) есть общее хранилище документов на сервере, а передача документа от одного пользователя к другому заключается лишь в изменении прав доступа к этому документу в общем хранилище. Таким образом, термин «система электронного документооборота» может обозначать по крайней мере две достаточно различные сущности. Для разрешения данной неопределенности и для краткости далее в этой работе мы будем использовать английский термин EDI.

Вернемся к историческому обзору. Общая концепция систем EDI, сформулированная в конце восьмидесятых годов, с тех пор фактически не менялась. Эволюция систем EDI была обусловлена двумя факторами:

– во-первых, изменение модели ведения бизнеса подавляющего большинства организаций, которое, в свою очередь, обусловлено технологическим развитием и эволюцией социальной сферы. Изменение модели ведения бизнеса порождает новые задачи, в том числе, задачи для систем EDI.

– во-вторых, развитие информационных технологий позволяет существенно расширить функционал систем EDI для решения как новых задач, так и старых, ранее технологически неразрешимых. Кроме того, новые технологии позволяют существенно удешевить разработку и внедрение систем EDI.

Таким образом, при научном исследовании сферы EDI, во-первых, возникают вопросы, связанные с применением новых технологий, во-вторых, целый клубок вопросов о взаимосвязи технологий и новых бизнес-требований.

В сфере развития EDI Россия отстает от запада на 5-8 лет. Например, обмен юридически значимыми электронными документами между организациями приобрел

существенные объемы в Европе в 2005 году. В России только в 2011 году появилась необходимая для этого законодательная база. Кроме того, в период становления EDI на западе в России научные исследования в сфере информационных технологий почти не проводились, поэтому каких-то основополагающих работ в сфере EDI на русском языке нет.

В данной работе речь пойдет о подмножестве систем EDI, предназначенных для обмена юридически значимыми электронными документами. Сейчас это наиболее актуальное направление развития систем EDI, для России это просто новая сфера.

Целью настоящей статьи является систематизация задач, возникающих при разработке систем EDI, выделение среди этих задач наиболее приоритетных (особенно в современных российских условиях) и требующих наиболее глубокого изучения. В работе затронуты вопросы как специфичные для обмена юридически значимыми документами, так и общие для всех систем EDI.

ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЮРИДИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫМ ДОКУМЕНТАМ

В данном разделе будет проведена систематизация требований, предъявляемых государством посредством нормативно-правовых актов к юридически значимым документам и к их обработке, в частности, к передаче.

В целом государственные требования можно разделить на группы [2]:

1. Требования к форматам документов.
2. Требования к электронной подписи.
3. Требования к передаче документов.

В настоящее время фактически единственным общеупотребимым форматом для машиночитаемых документов является XML.

Для всех документов, получателями или отправителями которых являются субъекты государственного управления и которыми ведется обмен в электронном виде, законодательно утверждены схемы XML-документов, как правило, в виде XSD-файлов.

Для некоторых документов, получателями и отправителями которых являются только частные организации, но которые необходимо по запросу представлять в госорганы, государством также установлены форматы. В России форматы установлены для актов выполненных работ, накладных и счетов-фактур.

Требования к электронной подписи относятся к области криптографического преобразования информации. Эта область достаточно широко описана в литературе [3] не будем ее затрагивать.

К передаче документов в большинстве западных стран требований не предъявляется, большая часть документов передается средствами e-mail. В некоторых странах, например, в Финляндии, действует порядок, по которому в случае, если документ передается через сертифицированного оператора по утвержденным процедурам, то отправитель вправе этот документ не подписывать электронной подписью, данный документ и без ЭП имеет юридическую силу.

В России утверждены достаточно строгие требования к передаче документов. Эти требования можно разбить на следующие категории:

1. Требования к шифрованию документов при передаче.
2. Требования о создании и отсылке подтверждений передачи документов (подтверждений как оператора, так и абонентов).
3. Требования по проверке оператором форматов передаваемых данных и валидности ЭП.
4. Требования по архивированию оператором переданных документов.

БИЗНЕС-ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРЕДАЧЕ ДОКУМЕНТОВ

За последние 20 лет отношение к информации во всех сферах человеческой деятельности принципиально изменилось. Если раньше основным вопросом было владение

необходимой информацией, то сейчас каждому человеку доступен столь огромный объем информации, что главным вопросом становится уже не владение ей, а возможность ее обработки («обработка» в широком смысле этого слова, то есть передача, хранение, data mining и другое.) Применительно к EDI данный принцип означает, что просто сделать получателю доступным определенный документ – это далеко не единственная задача [4]. Другими задачами являются:

1. Скорость передачи. Классическим примером в данном случае является высокочастотная биржевая торговля: последние несколько лет бутылочным горлышком для нее становится скорость света, поскольку время прохождения светового сигнала, например, от лондонской до нью-йоркской биржи, зачастую превышает время обработки этого сигнала. Разумеется, в данном случае задержка в системе передачи данных, связанная, например, с постановкой в очередь прохождения сигналов, совершенно недопустима. (Строго говоря, при передаче данных между биржами системы класса EDI не используются, однако пример с ними очень хорошо иллюстрирует упомянутый общий принцип).

2. Возможна обратная ситуация, когда обработка сигнала требует много больше времени, чем передача. В этом случае требуется сильная экономия процессорного времени отправляющей и принимающей систем, поэтому передающая система всегда должна быть «готова» принять и отдать информацию, при этом время прохождения сигнала с входа на выход не так важно.

3. Простота модификации алгоритмов работы передающей системы. Рассмотрим сценарий передачи документов (рис. 1).

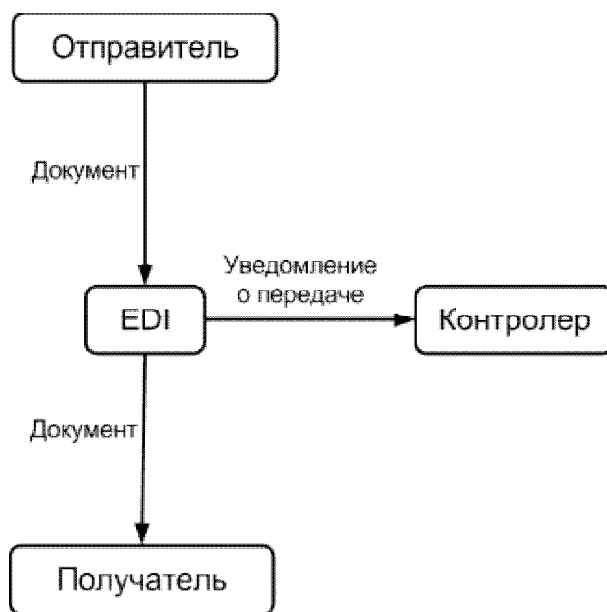


Рисунок 1 – Сценарий передачи документов

Здесь из системы-«отправителя» документ поступает в систему EDI, из системы EDI документ поступает в систему-«получатель», в то же время в систему-«контролер» поступает уведомление о том, что передан документ.

Далее предположим, что возникли новые требования, в соответствии с которыми система-«контролер» должна получать не уведомление о передаче, а сам документ. При этом невыполнение этого нового требования делает процесс передачи в том или ином смысле не имеющим правового основания. Таким образом, возникает задача быстрого изменения алгоритмов работы системы EDI. В идеале такое изменение должно производиться с помощью специального интерфейса без участия разработчиков системы EDI.

4. Требования по защите информации. Если законодательные требования, касающиеся защиты информации, достаточно просты и формальны, то участники обмена для своих целей порой предъявляют более строгие и сложные требования.

5. Могут предъявляться требования по резервному хранению передаваемых данных. Как было показано выше, аналогичное требование предъявляется и государством, однако в случае государства данное требование возникает вследствие необходимости контроля передачи информации со стороны субъектов государственного управления. В случае бизнеса предъявляются требования именно резервного копирования на случай потери данных. Как следствие, предъявляются требования по быстрому восстановлению данных из архива.

Разумеется, во всех современных корпоративных системах управления, функционирующих в крупных организациях, предусмотрены собственные механизмы резервного копирования. Однако в тех информационных средствах, которые используются в средних и малых организациях (например, продуктах на платформе 1С), используемые средства резервного копирования часто оказываются очень ненадежными. При этом, если речь идет о юридически значимых документах, то потеря этой информации имеет гораздо более тяжелые последствия, чем, например, потеря управленческой информации, поскольку информация из юридически значимых документов является первичной информацией, при потере ее восстановить невозможно; большую часть остальной информации, используемой в бизнес-приложениях, можно восстановить на основе различных исходных данных.

ВЫВОДЫ

Итак, резюмируем требования из двух предыдущих разделов.

1. Для передаваемых документов система EDI должна проводить различную валидацию (проверка соответствия форматов, валидация электронной подписи и другое).
2. На основе проведенной валидации система EDI должна создавать и отправлять различные подтверждения о передаче документов.
3. Система EDI должна архивировать все переданные документы. Должна быть возможность быстрого восстановления из архива.
4. Требования по производительности: скорость обработки документов, постоянная готовность к приему и передаче документов.
5. Требования по возможности быстрой модификации алгоритмов передачи.
6. Требования по защите информации.

Приведенные в данной статье результаты получены в результате выполнения работ по государственному контракту № 14.514.11.4008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electronic data interchange / James A. Senn // Information Systems Management. – Volume 9. – Issue 1, 1992. – P. 45-53.
2. E-Invoicing 2010 Report – Euro Banking Association [Электронный ресурс]. – URL: http://www.europeanpaymentscouncil.eu/knowledge_bank_download.cfm?file=E-Invoicing%202010%20-%20European%20Market%20Guide.pdf.
3. Баричев С.Г., Гончаров В.В., Серов Р.Е. Основы современной криптографии. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2001.
4. Electronic Data Interchange: Research Review and Future Directions/ Sriram Narayanan, Ann S. Maruchek, Robert B. Handfield // Decision Sciences, Volume 40. – Issue 1, February 2009. – P. 121-163.

Давыдов Денис Александрович

ООО «Софт24», г. Екатеринбург

Инженер-программист

Тел.: 8 912 696 59 36

E-mail: ddavydov@sdelki24.ru

Вострилов Никита Дмитриевич
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
Магистр физико-технического факультета
E-mail: info@sdelki24.ru

Меленцова Мария Александровна
ООО «Софт24», г. Екатеринбург
Инженер-программист
E-mail: MariMel@e1.ru

D.A. DAVYDOV (*Software Engineer*)
LLC «Soft24», Ekaterinburg

N.D. VOSTRILOV (*Master of Physics and Technology Department*)
Ural Federal University, Ekaterinburg

M.A. MELENCZOVA (*Software Engineer*)
LLC «Soft24», Ekaterinburg

OVERVIEW OF THE ISSUES ARISING IN THE CREATING OF EDI-SYSTEMS

The general idea behind EDI was originated by a group of railroad companies in the mid-1960's, in the United States. The conception of Electronic Data Interchange was formed in the late 1980's. It has evolved greatly with the advance of information technologies in last 20 years. Here we make a general overview of the issues arising in the creating of EDI-systems in last few years.

Keywords: *electronic data interchange.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Electronic data interchange / James A. Senn // Information Systems Management. – Volume 9. – Issue 1, 1992. – P. 45-53.
 2. E-Invoicing 2010 Report – Euro Banking Association [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://www.europeanpaymentscouncil.eu/knowledge_bank_download.cfm?file=E-Invoicing%202010%20-%20European%20Market%20Guide.pdf.
 3. Barichev S.G., Goncharov V.V., Serov R.E. Osnovy' sovremennoj kriptografii. – M.: «Goryachaya liniya-Telekom», 2001.
Electronic Data Interchange: Research Review and Future Directions/ Sriram Narayanan, Ann S. Maruchek, Robert B. Handfield // Decision Sciences, Volume 40. – Issue 1, February 2009. – P. 121-163.
-

ВИРТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРСИВНО-ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В работе рассмотрен подход к организации многоуровневой системы административного управления ИТ-инфраструктурой предприятия, заключающийся в создании в рамках САУ компонента управления жизненным циклом подчиненных структур управления, предназначенных для управления ИТ-сервисами более низкого уровня. Такой подход, названный рекурсивным, позволяет по аналогии с управлением ИТ-инфраструктурой на основе единой гибридной модели осуществлять создание управляющих развитием ИТ-инфраструктуры систем управления.

Ключевые слова: ИТ-инфраструктура; виртуальное предприятие; административное управление; информационная поддержка; жизненный цикл.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие ИТ-инфраструктуры осуществляется системой административного управления (САУ), которая управляет выделенными компонентами на всех уровнях иерархии, процессах и стадиях их жизненного цикла. В рамках совершенствования ИТ-инфраструктуры внедряется сервисный подход, заключающейся в трансформации функций ИТ-инфраструктуры и предоставлении пользователям корпоративной АСУП набора стандартизованных измеряемых сервисов [1]. На основе указанного подхода разрабатываются средства и методы управления ИТ-инфраструктурой [2]. ИТ-инфраструктура имеет многоуровневый иерархический вид, который определяется наличием множества уровней и выделенных компонентов ИТ-инфраструктуры. Исходя из этого, САУ ИТ-инфраструктуры также имеет многоуровневый распределенный характер и включает в свой состав множество компонентов системы управления. В рамках САУ выделяют подразделение головного администрирования – ИТ-отдел, осуществляющий координацию и выполнение работ по развитию ИТ-инфраструктуры в целом, и подразделения администрирования периферийных доменов [3]. Для организации выделенных компонентов САУ применяется ее представление в виде виртуальных предприятий [4], что позволяет повысить активность процессов управления развитием ИТ-инфраструктуры. При этом из-за наличия множества управляемых объектов предлагается формирование множества САУ – виртуальных предприятий. Поскольку при управлении развитием ИТ-инфраструктуры и всех ее компонентов выявляются проблемы согласования процессов развития сервисов и их сопровождения, то задача совершенствования организационной формы САУ на всех уровнях управления на основе рекурсивного подхода является актуальной.

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ И СОПРОВОЖДЕНИЕ ИТ-СЕРВИСОВ

При управлении ИТ-инфраструктурой выделяются сервис, услуга или любой другой объект, которые предоставляются пользователям для удовлетворения их нужд в информационном, аналитическом и телекоммуникационном обеспечении. В рамках работы под таким объектом будет пониматься ИТ-сервис, который предполагает предоставление пользователям ИТ-услуг и имеет заданные показатели качества обслуживания. Основным показателем с точки зрения пользователя является степень удовлетворения ИТ-сервисом его потребностей в услуге определенного типа. Выделяются два основных аспекта управления сервисом. В первую очередь, это управление сервисом (как внутренним, так и внешним) в целях поддержания его заданной технической эффективности (соглашений о качестве обслуживания применительно к пользователю и затрат ресурсов с точки зрения САУ). Вторым аспектом управления сервисом является обеспечение его развития с точки зрения внутренних и внешних факторов, изменений потребностей пользователя, внешней среды и

состояния предприятия. Наличие двух аспектов управления приводит к возникновению двух контуров управления ИТ-сервисом (рис. 1). В большинстве случаев вопросы управления развитием сервиса отдаются на откуп вышестоящим структурам управления (начальникам ИТ-отделов, подразделения, служб), в то время как решение вопросов оперативного управления осуществляется ответственными сотрудниками.

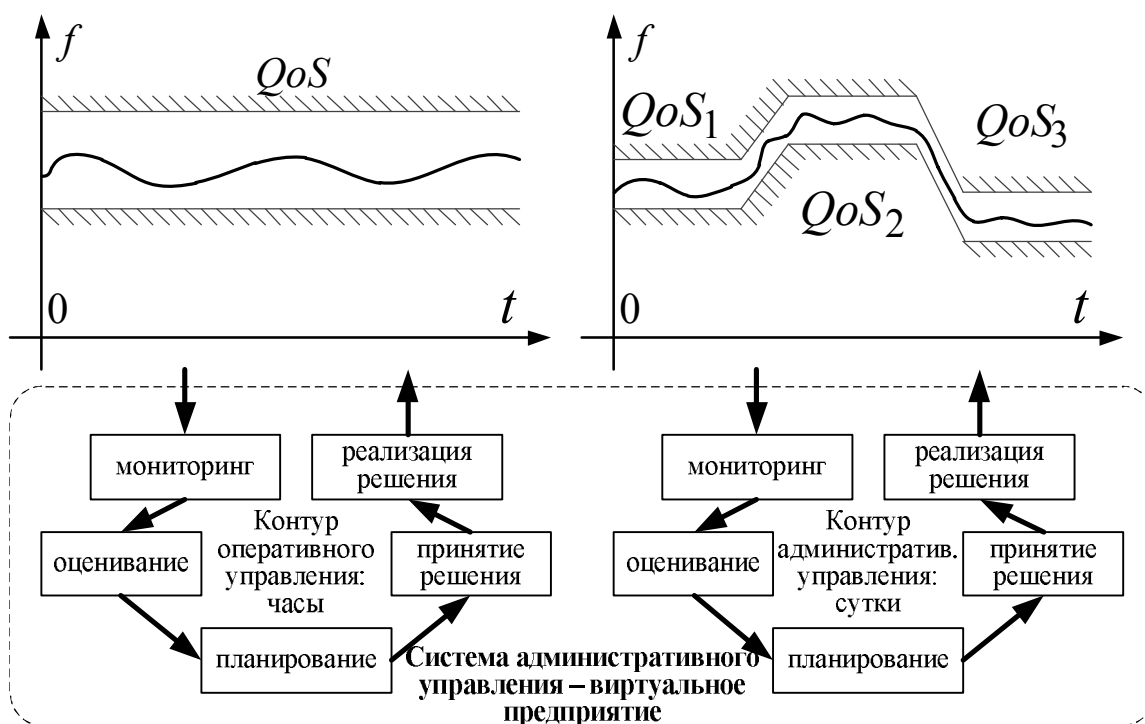


Рисунок 1 – Двухконтурная схема управления ИТ-сервисом

На практике разнесение двух контуров управления в общем случае приводит к тому, что управление развитием сервиса осуществляется без непосредственной взаимосвязи с поддержанием сервиса в заданном диапазоне качества обслуживания.

Для управления поддержанием качества ИТ-сервиса используется система оперативного управления системы административного управления, которая реализует мониторинг технического состояния и качества предоставления сервиса и обеспечивает его нахождение в заданном диапазоне. Управление совершенствованием сервисов рассматриваются с точки зрения изменения их структуры и состава с помощью привлечения внешних организаций. Для этого широко используются методы реинжиниринга бизнес-процессов, которые существенным образом оказывают влияние на эффективность внешнего сервиса [5, 6]. В рамках САУ оба контура управления объединяются в единой организационной структуре нового класса – типа виртуальное предприятие [4]. Такая форма организации САУ предполагает расширение выполняемых функций и возможностей.

Расширение функциональных возможностей подсистем САУ предполагает совершенствование отдельных ее компонентов как с точки зрения процессов, так и технического оснащения. В рамках САУ – виртуального предприятия основные направления совершенствования связаны с совершенствованием систем: мониторинга, оценивания состояния и планирования. Совершенствование системы мониторинга направлено на повышение эффективности не только сбора данных о состоянии технических устройств и информационно-аналитических систем, но и данных о потребностях пользователей в новых сервисах, недостатках функционирования информационно-аналитических систем, а также перспективных технологиях, которые могут быть использованы для модернизации сервиса. Функциональность системы оценивания состояния должна быть расширена в направлении определения потребностей пользователей в инновациях, их готовности к освоению новых

информационно-аналитических систем, способности новых технологий улучшить бизнес-процессы предприятия и повысить эффективность функционирования предприятия в рамках рассматриваемого сервиса. Совершенствование системы планирования направлено на более полный учет целей и задач предприятия, условий функционирования, наличия новых технологий реализации процессов выпуска продуктов, а также совершенствование процессов подготовки проектов модернизации. Расширение функциональности системы оперативного управления связано с повышением уровня взаимодействия с пользователями по их технической и методической поддержке. Расширение функциональности САУ направлено на расширение процессов управления АСУП на весь жизненный цикл, что приводит к совершенствованию процессов и результативности модернизации в рамках ИПИ подхода.

В рамках ИТ-инфраструктуры функционирует множество ИТ-сервисов. При этом часть сервисов используется в качестве составных элементов ИТ-сервисов более высокого уровня. Для каждого из них создается собственная система административного управления. В результате образуется многоуровневая САУ ИТ-инфраструктурой предприятия. В ее состав входит множество персонала, связанного отношениями различной степени подчиненности, а также технические и автоматизируемые системы, что определяет ее сложность. Это приводит к необходимости в совершенствовании организационной структуры системы административного управления в рамках сети виртуальных предприятий.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРСИВНОГО ПОДХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ТИПУ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Применение рекурсивного подхода к организации системы административного управления предполагает организацию всех частных САУ выделенными ИТ-сервисами по типу виртуальных предприятий. В рамках данного подхода все выделенные компоненты ИТ-инфраструктуры рассматриваются в качестве отдельного объекта управления – ИТ-сервиса. Все управляющие компоненты объединяются в рамках единой системы административного управления типа виртуальное предприятие. Для выполнения своих функций САУ наделяется дополнительными полномочиями, связанными с:

- активным мониторингом потребностей пользователей по модернизации сервиса;
- активным мониторингом технологий и вариантов представления сервиса на новых платформах;
- внедрением, в том числе, с использованием маркетинговых технологий адаптивных сервисов пользователям;
- непрерывной адаптацией ИТ-сервиса под цели предприятия.

Совершенствование функций САУ ИТ-сервиса позволяет в рамках ИТ-службы перейти не просто предоставление ИТ-сервисов с заданным качеством обслуживания, а также и на предоставление динамически изменяемых сервисов под потребности пользователей и организации в целом. Рекурсивность подхода определяется возможностью в рамках одной САУ использования множества виртуальных предприятий – частных САУ (рис. 2).

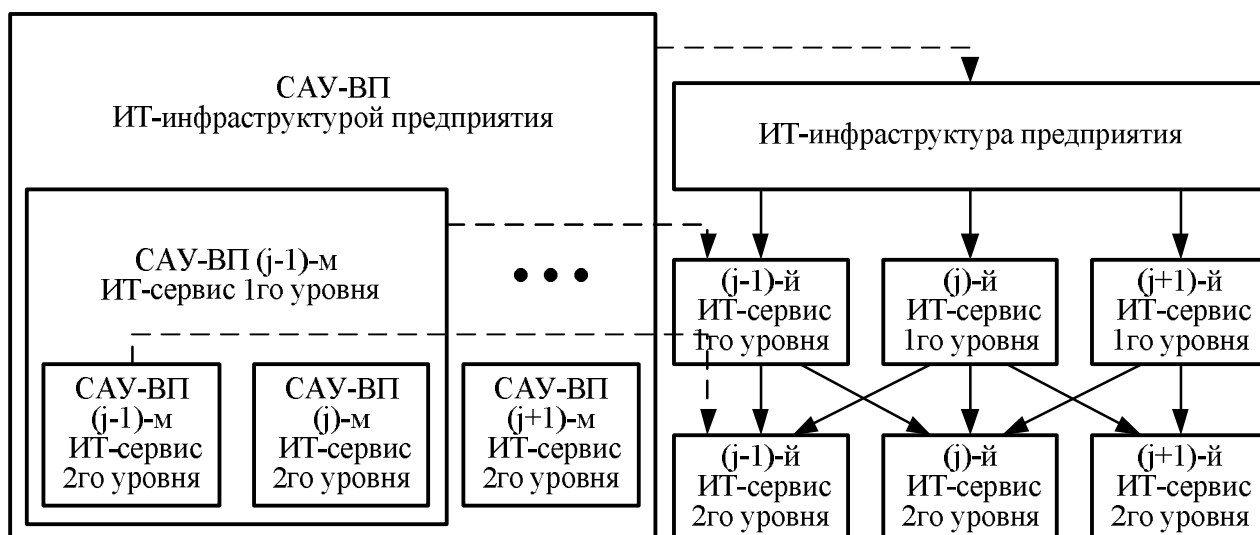


Рисунок 2 – Многоуровневая схема системы административного управления, созданная на основе рекурсивного подхода

В рамках таких виртуальных предприятий выделяются три основных структурных компонента: производственная составляющая, учётная составляющая, интеллектуальная составляющая [7]. Организация САУ в форме виртуальных предприятий определяет следующие преимущества по сравнению с обычными архитектурами [8-10]:

- логистический эффект: уменьшение воздействий ограничивающих факторов пространственного разделения и повышение гибкости управленческих структур;
- информационно-маркетинговый эффект: снижение затрат на содержание и формирование ИТ-сервиса и приобретение свойства «информационной прозрачности» ИТ-сервиса;
- сетевой эффект: возможность влияния сотрудников на оценку ситуации и принятие решений, а также формирование единого поля поставщиков и потребителей в рамках ИТ-сервиса на уровне предприятия;
- синергетический эффект: расширение возможностей и повышение степени координации выполнения работ, организация эффективных обратных связей.

Наличие множества ИТ-сервисов в рамках ИТ-инфраструктуры позволит организовать ее САУ в виде сети взаимодействующих виртуальных предприятий (ВП). Применение рекурсивного подхода предполагает в рамках САУ – ВП наличие компонента, отвечающего за создание новых ИТ-сервисов. При этом осуществляется расширение функций такого компонента путем придания возможностей по созданию и выводу из эксплуатации САУ – ВП, ответственного за развитие сервиса (рис. 3). Тем самым САУ – ВП создает систему административного управления нижнего уровня, которая осуществляет управление ИТ-сервисом на всем его жизненном цикле (от создания до вывода из эксплуатации). При этом САУ – ВП выступает для такого компонента в роли управляемого объекта.

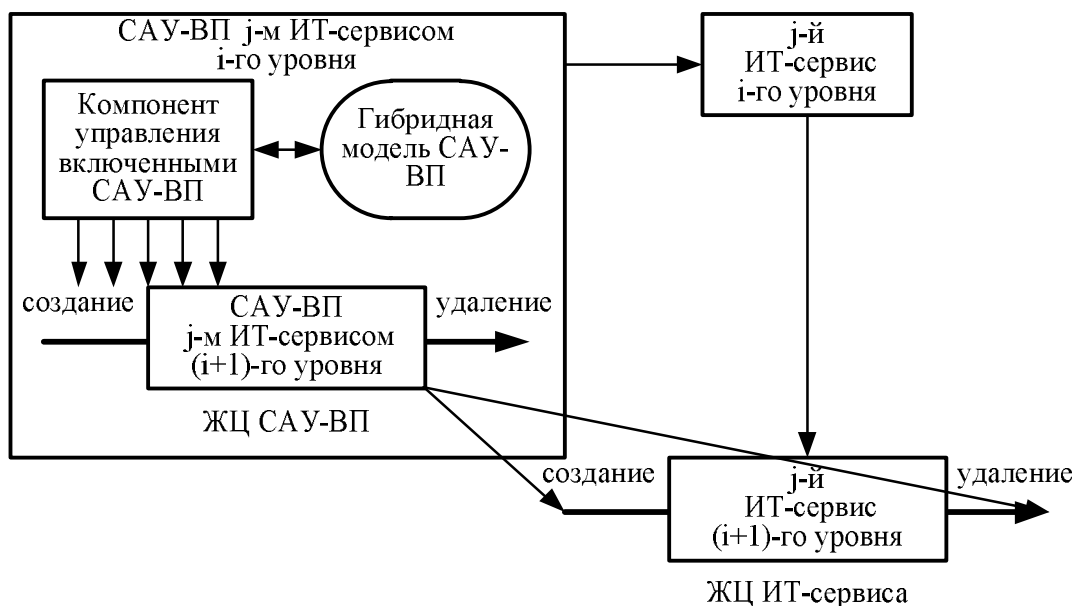


Рисунок 3 – Схема применения рекурсивного подхода к управлению развитием ИТ-сервисов

Обеспечение рекурсивности САУ ИТ-инфраструктурой определяется наличием компонента управления включенными САУ – ВП. Данный компонент управляет множеством жизненных циклов САУ ИТ-сервисов нижележащих уровней на всех стадиях их жизненного цикла. Для осуществления такого управления создается гибридная модель САУ – ВП, интегрирующая всю информацию о системе административного управления и включающая в себя информационные, событийные, динамические и проектные модели. Состав и структура такой модели аналогичны моделям управляемых ИТ-сервисов и поддерживаются с использованием механизмов виртуальных систем гибридного моделирования [11]. Наполнение моделей, их поддержание в актуальном состоянии и обеспечение оперативного использования при развертывании САУ – ВП обеспечивается путем создания единой системы управления моделями в рамках компонента управления включенными САУ – ВП.

Таким образом, создание нового ИТ-сервиса нижележащего уровня обеспечивает его система административного управления. При возникновении потребности в новом ИТ-сервисе происходит следующая последовательность действий, связанных с его использованием на всем жизненном цикле:

1. Определение потребности в сервисе и наличия ресурсов для его создания;
2. Создание компонентом управления включенными САУ – ВП новой подчиненной системы административного управления в рамках существующей на основе единой интегрированной модели САУ;
3. Создание новой созданной САУ – ВП нового ИТ-сервиса на основе единой интегрированной модели ИТ-сервиса;
4. Функционирование ИТ-сервиса и предоставление с его помощью необходимых ИТ-услуг в течение заданного периода времени;
5. Вывод из эксплуатации ИТ-сервиса при прекращении необходимости в предоставляемых с его помощью услугах;
6. Вывод из эксплуатации САУ – ВП и освобождение задействованных ресурсов.

Такой механизм управления нижележащими ИТ-сервисами на всем их жизненном цикле позволяет повысить эффективность управления за счет реализации единых подходов к организации и функционированию управляющих структур.

Создание САУ – ВП в рамках САУ вышестоящего уровня позволяет упорядочить управление технологическими ИТ-сервисами. Добавление нового компонента, ответственного за управление на всем жизненном цикле подчиненных САУ – ВП, позволяет

придать системе административного управления свойство самоподобия, что позволяет в рамках единой структуры управления для управления компонентами объекта управления создавать выделенные компоненты управления на основе рекурсивного подхода по типу виртуального предприятия. Создание таких управляющих структур возможно на всех уровнях административного управления. При этом использование единой интегрированной модели позволяет обеспечить единство требований и организацию создаваемых САУ, а также подходов к управлению ИТ-сервисами. Управление жизненным циклом создаваемых САУ позволяет повысить эффективность выделяемых ресурсов, а использование формы их организации в виде виртуальных предприятий позволяет повысить эффективность реализации ИТ-сервисов.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ВИРТУАЛЬНОЙ САУ, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРСИВНОГО ПОДХОДА

При необходимости создания нового ИТ-сервиса в рамках САУ виртуального типа создается выделенная САУ. Такая САУ является временной системой, базирующейся на ресурсах САУ ИТ-инфраструктуры, и создаваемой на время управления жизненным циклом ИТ-сервиса. Это позволяет назвать такую создаваемую с применением рекурсивного подхода к организации САУ ИТ-сервисом виртуальной. Виртуальная САУ включает в свой состав часть персонала системы административного управления и комплексную систему администрирования. Выпускаемым продуктом в рамках концепции виртуальных предприятий являются состояния ИТ-сервиса. Комплексная система администрирования в настоящее время строится по сервис-ориентированной технологии в рамках модели ITSM [2]. Ее основой являются комплекс инструментальных средств, модели компонентов АСУП и ИТ-инфраструктуры, методы и методики административного управления. Инструментальные средства предназначены для автоматизации, информатизации и интеллектуализации административного управления. Основными компонентами САУ, реализующими функции управления жизненным циклом ИТ-сервиса, являются: виртуальная система гибридного моделирования, виртуальная система очно-заочной экспертизы, система активного интеллектуального мониторинга, система оперативного интеллектуального анализа данных (рис. 4).

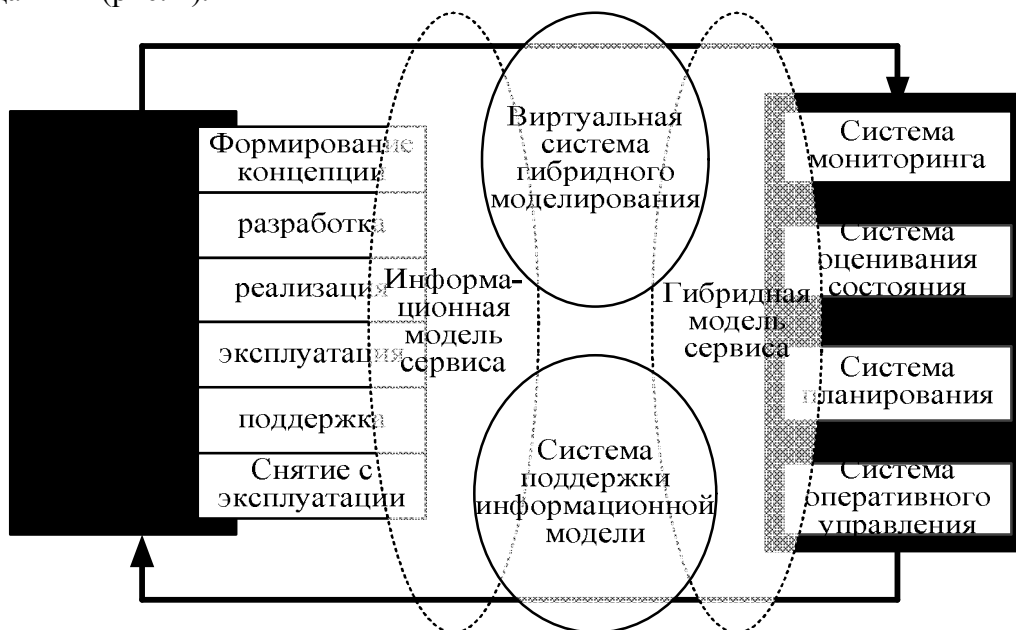


Рисунок 4 – Виртуальная система административного управления развитием ИТ-сервиса

Управление виртуальной САУ ИТ-сервисом как продуктом заключается в анализе потребностей пользователей ИТ-инфраструктуры и бизнес-процессов, разработке с

последующим внедрением сервиса заданного качества в состав ИТ-инфраструктуры предприятия. При этом проводятся активные мероприятия по выявлению и формированию потребностей в ИТ-сервисе маркетинговыми методами. Выпуск нового и поддержание существующего сервиса осуществляется на основе использования соглашений об уровне обслуживания (service layer agreement – SLA). Внедрение сервисов осуществляется по аналогии с распространением ИТ-продуктов. При этом отслеживаются как параметры внедрения (доля пользователей, использующих сервис; доля времени использования сервиса), так и положительный или отрицательный эффект от внедрения (например, сокращение или увеличение времени на выполнение операций в рамках автоматизируемого бизнес-процесса).

Активное определение потребностей пользователей и требований бизнес-процессов предприятия и реализация ИТ-сервиса для их удовлетворения на основе интеллектуального анализа на гибридных моделях, реализуемое в рамках концепции виртуальной САУ – виртуального предприятия позволит:

- повысить эффективность удовлетворения требований пользователей ИТ-инфраструктуры за счет их более качественного анализа;

- повысить адекватность нового состояния ИТ-сервиса состоянию предприятия, внешней среды и вышестоящего ИТ-сервиса за счет реализации наиболее актуальных улучшений ИТ-сервиса и их адекватной настройки;

- повысить оперативность реагирования на изменение бизнес-процессов предприятий при изменении условий внешней среды за счет непрерывной оценки состояния АСУ предприятия;

- повысить оперативность выявления новых потребностей пользователей АСУП и реализации ИТ-сервисов для их удовлетворения;

- повысить уровень интеграции различных компонентов САУ за счет использования однотипных управляемых объектов.

Такие виртуальные САУ с использованием рекурсивного подхода создаются на всех уровнях административного управления ИТ-инфраструктурой. При этом за счет использования единой гибридной модели САУ возможно создание однотипных виртуальных САУ – ВП, отличающихся особенностями управляемого объекта – ИТ-сервиса и масштабом задействованных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена проблема интеграции компонентов системы административного управления ИТ-инфраструктурой предприятия. Для ее решения предложено использовать рекурсивный подход к виртуализации, который предполагает организовывать САУ ИТ-сервисов (любых других компонентов ИТ-инфраструктуры) в виде виртуальных предприятий на основе принципов самоподобия. При этом САУ всех уровней иерархии компонентов ИТ-инфраструктуры представляются в виде виртуальных предприятий. Создание выделенных САУ нижележащих уровней осуществляется компонентом управления САУ – ВП на всем жизненном цикле, входящим в состав САУ, на основе единой гибридной модели. С точки зрения управления развитием такой подход позволяет совершенствовать вопросы развития ИТ-сервиса на основе применения маркетинговых подходов и снижения затрат на выстраивание системы управления поддержанием ее инфраструктуры.

Направлением дальнейшего совершенствования организации виртуальных САУ является совершенствование подходов к формированию организационной структуры из ограниченного количества агентов (типа САУ – ВП) на основе методов эволюционирующих агентов [12], а также определение наиболее эффективных подходов к распределению ограниченных ресурсов всех видов в условиях разнонаправленности целей в рамках методов теории активных систем, применяемых в моделировании организационного взаимодействия при управлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kleiner F., Abecker A. Towards a Collaborative Semantic Wiki-based Approach to IT Service Management.// 5th International Conference on Semantic Systems. 2-4 September 2009, Austria. – 6 p.
2. Курц А.Л., Фридман А.Л., Андерс Б.Н., Фандюшина Н.А., Чумаков Л.Я. Принципы построения средств управления ИТ-инфраструктурой на примере модели ITSM компании НР // Системы и средства информатики, 2008. – Т. 18. – № 2. – С. 69-85.
3. Гришаков В.Г., Логинов И.В., Христенко Д.В. Управление модернизацией АСУ предприятия на основе информационной поддержки ее жизненного цикла // Информационно-управляющие системы, 2012. – № 3(58). – С. 84-90.
4. Гришаков В.Г., Логинов И.В. Представление систем административного управления АСУП в виде виртуальных предприятий // Информатика и системы управления, 2011. – № 3(29). – С. 125-132.
5. Zhao J.L., Cheng H.K. Web services and process management: a union of convenience or a new area of research? // Decision Support Systems 40 (2005). – P. 1-8.
6. Laine S. Service Oriented Architecture and Business Process Management: A Case Study of a Healthcare Organization // seminar on enterprise Information Systems (2007): Service-Oriented Architecture and Software Engineering. – 12 p.
7. Пшеничная Е.В., Бутенко Л.Н. Технологии виртуального предприятия // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2004. – № 5. – С. 70-73.
8. Катаев А.В. Анализ особенностей организации и управления виртуальными предприятиями // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета, 2002. – Т. 24. – № 1. – С. 182-185.
9. Хакимова Д.Р., Воронцов Ю.А. Виртуальное предприятие: организация и эффективность // Век качества, 2010. – № 4. – С. 52-55.
10. Ефромеева Е.В. Основные характеристики виртуальной формы организации машиностроительного предприятия // Вестник МГТУ Станкин, 2009. – № 3. – С. 124-131.
11. Гришаков В.Г. Система поддержки гибридной модели ИТ-инфраструктуры в условиях использования внешних сервисов // Информационные системы и технологии? 2012. – № 2(70). – С. 39-47.
12. Тарасов В.Б., Афонин П.В., Картежников Д. Модель формирования структур объединений виртуальных предприятий на основе популяции эволюционирующих агентов // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета, 2007. – Т. 73. – № 1. – С. 55-58.

Гришаков Вадим Геннадьевич
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук
E-mail: vg@academ.msk.rsnet.ru

V.G. GRISHAKOV (*Candidate of Engineering Sciences*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

ADMINISTRATIVE MANAGEMENT SYSTEM VIRTUALIZATION BASED ON RECURSIVE APPROACH

In the article is viewed the approach to architecture of multiplelevel administrative management system for organization IT-infrastructure based on create in the administrative management system new component, that is control for management system lifecycle, which are management for IT-service lifecycle. This approach is named recursive and helps to management of developing IT-infrastructure management system by analogy to control IT-infrastructure lifecycle.

Keywords: *IT-infrastructure; virtual enterprise; administrative management; informational support; lifecycle.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kleiner F., Abecker A. Towards a Collaborative Semantic Wiki-based Approach to IT Service
-

-
- Management.// 5th International Conference on Semantic Systems. 2-4 September 2009, Austria. – 6 p.
2. Kurcz A.L., Fridman A.L., Anders B.N., Fandyushina N.A., Chumakov L.Ya. Principy' postroeniya sredstv upravleniya IT-infrastruktur na primere modeli ITSM kompanii HP // Sistemy' i sredstva informatiki, 2008. – T. 18. – № 2. – S. 69-85.
 3. Grishakov V.G., Loginov I.V., Kristenko D.V. Upravlenie modernizaciej ASU predpriyatiya na osnove informacionnoj podderzhki eyo zhiznennogo cikla // Informacionno-upravlyayushhie sistemy', 2012. – № 3(58). – S. 84-90.
 4. Grishakov V.G., Loginov I.V. Predstavlenie sistem administrativnogo upravleniya ASUP v vide virtual'ny'x predpriyatij // Informatika i sistemy' upravleniya, 2011. – № 3(29). – S. 125-132.
 5. Zhao J.L., Cheng H.K. Web services and process management: a union of convenience or a new area of research? // Decision Support Systems 40 (2005). – P. 1-8.
 6. Laine S. Service Oriented Architecture and Business Process Management: A Case Study of a Healthcare Organization // seminar on enterprise Information Systems (2007): Service-Oriented Architecture and Software Engineering. – 12 p.
 7. Pshenichnaya E.V., Butenko L.N. Texnologii virtual'nogo predpriyatiya // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta, 2004. – № 5. – S. 70-73.
 8. Kataev A.V. Analiz osobennostej organizacii i upravleniya virtual'ny'mi predpriyatiyami // Izvestiya Taganrogskogo gosudarstvennogo radiotexnicheskogo universiteta, 2002. – T. 24. – № 1. – S. 182-185.
 9. Xakimova D.R., Voronczov Yu.A. Virtual'noe predpriyatie: organizaciya i e'ffektivnost' // Vek kachestva, 2010. – № 4. – S. 52-55.
 10. Efromeeva E.V. Osnovny'e xarakteristiki virtual'noj formy' organizacii mashinostroitel'nogo predpriyatiya // Vestnik MGTU Stankin, 2009. – № 3. – S. 124-131.
 11. Grishakov V.G. Sistema podderzhki gibridnoj modeli IT-infrastruktury' v usloviyax ispol'zovaniya vneshnix servisov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2(70). – S. 39-47.
 12. Tarasov V.B., Afonin P.V., Kartezhnikov D. Model' formirovaniya struktur ob''edinenij virtual'ny'x predpriyatij na osnove populyacii e'volyucioniruyushhix agentov // Izvestiya Taganrogskogo gosudarstvennogo radiotexnicheskogo universiteta, 2007. – T. 73. – № 1. – S. 55-58.
-

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНДЕКСОВ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРЯЖЁННОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В данной статье рассматривается подход к формированию индексов социальной напряжённости в регионах России на основе использования статистической информации с применением существующих информационных технологий. Введено понятие «социального потенциала» региона. Предлагается методика формирования индекса социального потенциала региона на основе использования статистической информации, а также набор индексов авто- и межрегиональной социальной напряженности. Материал предназначен для специалистов информационно-аналитических отделов.

Ключевые слова: *регион; социальная напряжённость; социальный потенциал; статистический показатель; критерий; методика; индекс; информационная технология.*

На современном этапе основной задачей информационно-аналитических отделов является обеспечение органов власти надежной информацией о состоянии социальных процессов, факторах, влияющих на формирование социальной напряженности (СН), динамике её развития. Применение в цикле управления социальными системами своевременных и достоверных данных по динамике социальных процессов на основе использования информационных технологий должно привести к обеспечению качественной поддержки и снижению неопределенности при принятии решений в социальных системах, к устойчивому развитию региональных организационных систем, своевременному регулированию социальной напряженности и предотвращению формирования протестной активности.

Однако на уровне регионов теория и практика выявления факторов, формирующих социальную напряженность, ее оценка и регулирование этого явления не получили достаточного признания. Анализ существующих подходов к формированию методик оценки уровня социальной напряженности в регионах России выявил низкий уровень разработанности методик, основанных на использовании статистической информации. Данные методики оценивают, как правило, несколько показателей без учета вариантов динамического изменения их состава. Результаты, полученные с использованием этих методик, имеют множество ограничений и реально не применяются. Также необходимо отметить, что оценка индексов социальной напряженности, основанных на свертке статистических показателей, отражает лишь фоновый уровень социальной напряженности, который неизбежно присутствует в социальной системе. Для оценки динамической величины социальной напряженности, отражающей вероятность формирования протестной активности, необходимо опираться на относительное изменение интегральных показателей.

Для количественного измерения такого социального феномена, как социальная напряженность, введена информационная категория «социальный потенциал» (СП) социальной системы. Социальный потенциал – интегральная информационная характеристика социальной системы, отражающая уровень общественных отношений социальных страт внутри системы, связанных с социально-экономическим развитием инфраструктуры государства. Данная категория введена для отражения статики процессов, через которые проявляется социальная напряженность. Тогда социальная напряженность региона рассматривается как характеристика социальной системы, показывающая динамику изменения социального потенциала во времени и в сравнении с другими регионами.

Для достижения поставленной цели – предложить и обосновать методику построения индексов социальной напряженности регионов России на основе использования информационных технологий – необходимо решить следующие частные задачи:

1) сформировать исходный (априорный) перечень статистических показателей СП $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)})$, прямо или косвенно влияющих на формирование СП;

2) предложить методику отбора ограниченного числа показателей, оказывающих максимальное влияние на формирование СП, из исходного перечня показателей СП;

3) осуществить нормирование исходных данных, т.е. переход к унифицированным $([0; 1])$ шкалам в измерении показателей СП таким образом, чтобы нулевое значение преобразованного показателя означало самое низкое качество по отношению к соответствующему свойству, а единичное – самое высокое;

4) предложить методику построения индекса СП на основе статистически регистрируемых показателей;

5) разработать алгоритм формирования индексов социальной напряженности на основе использования индекса социального потенциала.

Для автоматизированной обработки данных и реализации всех последующих этапов методики разработана соответствующая программа в нотации специализированного программного обеспечения MATLAB.

Процесс отбора показателей для формирования итоговых индексов СП и СН является в некотором смысле оптимизационной задачей. Точность отражения в статистических показателях предмета исследования повышается с увеличением их числа. Однако необходимо осуществлять отбор показателей, наиболее информативных и объективно отражающих исследуемое свойство социальной системы. Также в процессе отбора показателей необходимо учитывать возможность наличия устойчивой корреляционной зависимости между показателями, что позволяет обоснованно снизить их число без значимого влияния на конечный результат. В качестве технологического источника предлагается использовать существующую информационную систему органов государственной власти, содержащую статистические показатели по регионам России.

Исследования проводятся в предположении существования устойчивого в определенных временных рамках и пространстве набора базовых факторов (компонентов) с достаточной степенью точности отражающих социальную напряженность. При развитии и совершенствовании данной методики для учета региональных различий [5] возможно применение удельных весов влияния каждого фактора на социальную напряженность в конкретном регионе и на их основе осуществление перерасчета итоговых значений СП и СН для адекватной «настройки» системы показателей на конкретное время и место.

Необходимо отметить, что состав информации, применяемой при формировании индексов, не является статичным. Он может и должен меняться с течением времени и по мере приобретения практики использования индексов СН. В целом процесс формирования априорного набора факторов СП, отраженных в статистических показателях, необходимо осуществлять на основе системного подхода к рассмотрению самого понятия СП посредством определенной структуризации всей используемой совокупности статистических показателей.

При этом формирование априорного перечня и структуры показателей предлагается осуществлять, руководствуясь следующими требованиями [2]:

1) представительность – в априорном перечне должны быть учтены все существенные аспекты исследуемой категории;

2) информационная доступность – используемые при формировании априорного перечня показатели должны быть доступны для предполагаемых категорий пользователей либо вычисляемы на их основе;

3) информационная достоверность – представленные в априорном перечне статистические показатели должны адекватно отражать анализируемый аспект исследуемой категории.

Для снижения количества показателей сформированного априорного перечня, используемых при дальнейшем анализе, необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- максимизация влияния отобранных показателей на исследуемую категорию;
- максимизация точности восстановления всего априорного набора показателей по отобранным показателям с помощью определенных регрессионных моделей.

Для обеспечения указанных требований необходимо выполнить следующие этапы преобразований исходной информационной базы исследования процессов, связанных с СН.

Во-первых, анализ мультиколлинеарности показателей, входящих в состав сформированного априорного набора показателей. Для реализации этого этапа либо по всей совокупности показателей, либо по обобщающим свойствам анализируемой категории формируются следующие данные:

1) матрица значений парных коэффициентов корреляции $r(x^{(j,l)}, x^{(j,v)})$, $(l, v = 1, 2, \dots, m_j)$. Сформированная матрица характеризует наличие попарных статистических связей между показателями j -го обобщающего свойства анализируемой категории СП;

2) коэффициенты детерминации R^2 каждого показателя $x^{(j,l)}$ j -го обобщающего свойства анализируемой категории СП по всем остальным показателям этого свойства.

Полученные данные дают возможность выявить группы тесно связанных между собой показателей для последующего отбора от каждой группы по одному показателю для дальнейшего анализа, что позволит обоснованно снизить их количество на последующих этапах. В результате реализации данного этапа сформированы редуцированные наборы показателей по каждому обобщающему свойству анализируемой категории СП.

Во-вторых, необходимо осуществить отбор среди полученных редуцированных наборов показателей по каждому обобщающему свойству, наиболее информативных по отношению к анализируемой категории СП. Наиболее информативным будет набор

показателей $x^{(j,l_1^0)}, x^{(j,l_2^0)}, \dots, x^{(j,l_{s_j}^0)}$ при выполнении следующего условия [1]:

$$\sum_{l=1}^{m_j} R^2(x^{(j,l)}; (x^{(j,l_1^0)}, \dots, x^{(j,l_{s_j}^0)})) = \max_{l_1, l_2, \dots, l_{s_j}} \sum_{l=1}^{s_j} R^2(x^{(j,l)}; (x^{(j,l_1)}, \dots, x^{(j,l_{s_j})})), \quad (1)$$

где s_j – количественный состав редуцированного набора показателей определенного (j -го) интегрального свойства ($s_j < m_j$); $R^2(y; (x^{(1)}, \dots, x^{(s_j)}))$ – коэффициент детерминации зависимой переменной y по объясняющим переменным $x^{(1)}, \dots, x^{(s_j)}$.

Подобный отбор обеспечивает максимизацию прогностической силы регрессионных моделей, позволяющих осуществить восстановление всего априорного набора показателей обобщающего свойства анализируемой категории СП по ограниченному количеству отобранных показателей. При отборе и формировании ограниченных наборов показателей необходимо также учитывать в каждом конкретном случае содержательные (смысловые) аспекты. Таким образом формируются апостериорные наборы показателей анализируемой категории СП.

Для осуществления дальнейших преобразований над статистическими показателями $x^{(j)}$, $(j = 1, 2, \dots, m)$ сформированной исходной информационной базы необходимо их нормировать, ограничив область возможных значений отрезком $[0; 1]$. Тем самым снимается ограничение на сравнение разнородных величин. При нормировании каждый показатель сравнивается с итоговым оцениваемым свойством: нулевое значение присваивается самому низкому качеству по отношению к оцениваемому свойству, единичное – максимальному.

Показатели делятся на две непересекающихся группы – монотонные и немонотонные. Значения показателей первой группы $(x^{(j)}, j = 1, 2, \dots, m_1)$ монотонно связаны с количественным выражением качества анализируемой категории СП.

Если большие значения $x^{(j)}$ соответствуют более высокому качеству свойства (прямая монотонность), то при формировании нормированного значения $\tilde{x}^{(j)}$ необходимо применить преобразование

$$\tilde{x}^{(j)} = \frac{x^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}{x_{\max}^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}. \quad (2)$$

Если относительно большие значения $x^{(j)}$ соответствуют более низкому качеству (обратная монотонность), то при формировании нормированного значения $\tilde{x}^{(j)}$ применяется соотношение

$$\tilde{x}^{(j)} = 1 - \frac{x^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}{x_{\max}^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) $x_{\min}^{(j)}$ и $x_{\max}^{(j)}$ являются наименьшим и наибольшим значением исходного показателя.

В результате выполнения данных преобразований область изменений преобразованного (нормированного) j -го показателя $\tilde{x}^{(j)}$ составит отрезок от $\tilde{x}^{(j)} = 0$ (наихудшее качество анализируемой категории) до $\tilde{x}^{(j)} = 1$ (наилучшее качество анализируемой категории).

Для второй группы показателей – немонотонных ($x^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, m_2$) – внутри области изменения $[x_{\min}^{(j)}, x_{\max}^{(j)}]$ каждого исходного показателя можно выделить некоторое условно-оптимальное значение $x_{opt}^{(j)}$, отражающее наилучшее качество анализируемой категории. При формировании нормированного значения $\tilde{x}^{(j)}$ применяется соотношение

$$\tilde{x}^{(j)} = 1 - \frac{|x^{(j)} - x_{opt}^{(j)}|}{\max\{|x_{opt}^{(j)} - x_{\min}^{(j)}|, |x_{opt}^{(j)} - x_{\max}^{(j)}|\}}. \quad (4)$$

В результате его выполнения область изменений преобразованного (нормированного) j -го показателя $\tilde{x}^{(j)}$ составит отрезок от $\tilde{x}^{(j)} = 0$ (наихудшее качество анализируемой категории – значение показателя максимально удалено от условно-оптимального значения) до $\tilde{x}^{(j)} = 1$ (наилучшее качество анализируемой категории – значение показателя максимально близко к условно-оптимальному значению). Для немонотонных показателей в случае отсутствия однозначного оптимального значения исследуемого показателя с точки зрения влияния на анализируемую категорию обычно используется среднее значение показателя по нескольким регионам, лучшим по отношению к анализируемой категории.

Сформированная информационная база исследования категории СП социальной системы, содержащая преобразованные показатели, позволит осуществить ее корректное использование в вычислениях на дальнейших этапах разработки методики.

В основу методики формирования индекса СП предлагается положить факторный анализ совокупности статистических показателей (метод главных компонент). Данные методы широко распространены и реализованы в ряде существующих информационных технологий.

В отличие от методик, основанных на использовании социологической информации, в предлагаемой отсутствуют экспертно оцененные значения искомого индекса СП. Тем не

менее, необходимо найти некоторую зависимость, функцию-свертку $I_{SP} = f(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)})$ от значений частных показателей $\tilde{x}_i^{(1)}, \tilde{x}_i^{(2)}, \dots, \tilde{x}_i^{(m)}$, позволяющую вычислить индекс I_{SPi} региона, характеризующий его социальный потенциал. В основе данной функции должны быть скалярные величины, позволяющие наиболее точно восстановить все исходные статистические показатели СП $\tilde{x}_i^{(1)}, \tilde{x}_i^{(2)}, \dots, \tilde{x}_i^{(m)}$. Такими характеристиками обладают главные компоненты, построенные по исходной совокупности статистических показателей [4].

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к формированию главных компонент, вычисленных по апостериорной совокупности исходных пронормированных статистических показателей и вычислению на их основе результирующего индекса СП региона.

Для дальнейших преобразований удобно апостериорный набор пронормированных статистических показателей представить в виде матрицы «объект-свойство» (5):

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_1^{(1)} & \tilde{x}_1^{(2)} & \dots & \tilde{x}_1^{(m)} \\ \tilde{x}_2^{(1)} & \tilde{x}_2^{(2)} & \dots & \tilde{x}_2^{(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_n^{(1)} & \tilde{x}_n^{(2)} & \dots & \tilde{x}_n^{(m)} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где \tilde{x}_i^j – пронормированное значение j -го свойства (показателя СП), $j=1,2,\dots,m$, зарегистрированное на i -м объекте (регионе), $i=1, 2, \dots, n$. Нормирование показателей осуществляется согласно преобразованиям (2), (3) или (4) в зависимости от типа показателя.

Процедура формирования главных компонент пронормированных показателей $\tilde{x}^{(1)}, \tilde{x}^{(2)}, \dots, \tilde{x}^{(m)}$ представляет собой реализацию следующих этапов обработки исходных данных:

1) вычисление средних величин исходных нормированных показателей $\tilde{x}_i^{(j)}$, ($j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n$) согласно выражению (6):

$$\bar{x}^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^{(j)}; \quad (6)$$

2) формирование на основе центрированных значений исходных показателей $(\tilde{x}_i^{(j)} - \bar{x}^{(j)})$ элементов σ_{jk} ковариационной матрицы $\Sigma = (\sigma_{jk})$, ($j, k = 1, 2, \dots, m$), согласно формуле (7):

$$\sigma_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i^{(j)} - \bar{x}^{(j)}) (\tilde{x}_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)}); \quad (7)$$

3) определение собственных значений λ матрицы Σ -корней характеристического уравнения, представленного выражением (8):

$$|\Sigma - \lambda I_m| = 0, \quad (8)$$

где $|A|$ – определитель матрицы A ; I_m – единичная матрица размерности m ; $\lambda = (\lambda_p)$, ($p = 1, 2, \dots, m$);

4) определение компонент c_j^p собственного вектора $C^{(p)} = (c_1^{(p)}, c_2^{(p)}, \dots, c_m^{(p)})^T$ из системы уравнений:

$$(\sum -\lambda_p I) \begin{pmatrix} c_1^{(p)} \\ c_2^{(p)} \\ \dots \\ c_m^{(p)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (9)$$

5) расчет для каждого i -го региона значений характеризующих его главных компонент:

$$z_i^{(p)} = c_1^{(p)}(\tilde{x}_i^{(1)} - \bar{x}^{(1)}) + c_2^{(p)}(\tilde{x}_i^{(2)} - \bar{x}^{(2)}) + \dots + c_m^{(p)}(\tilde{x}_i^{(m)} - \bar{x}^{(m)}), \quad (10)$$

где $z_i^{(p)}$ – p -я главная компонента i -го региона; $p=1,2,\dots,m$, m – количество показателей; $i=1,2,\dots,n$, n – количество обследуемых регионов.

После получения значений главных компонент необходимо осуществить отбор наиболее значимых согласно условию минимума компонент для превышения порогового значения суммарной доли объясненной дисперсии (11), то есть достаточной меры информативности отобранных главных компонент:

$$r = \min(D_r = \frac{\sum_{k=1}^r \lambda_k}{\sum_{l=1}^m \lambda_l} \geq \delta), \quad (11)$$

где r – количество главных компонент, удовлетворяющее условию (11); δ – порог объясненной дисперсии D_r (информативности).

Информативность совокупности отобранных главных компонент признается удовлетворительной при значении порога 0,7.

Для выявления относительного вклада каждой компоненты в совокупную объясненную дисперсию необходимо произвести вычисление значений весовых коэффициентов каждой q -й компоненты (12):

$$w_q = \frac{\lambda_q}{\sum_{l=1}^m \lambda_l}. \quad (12)$$

Формирование интегрального показателя СП (14) для i -го региона осуществляется с помощью линейной свертки главных компонент с учётом весовых коэффициентов:

$$b_i = \sum_{q=1}^r z_i^{(q)} w_q. \quad (14)$$

Значение искомого интегрального индекса СП региона будет определяться выражением (15):

$$I_i = \frac{b_i - b_{\min}}{b_{\max} - b_{\min}}. \quad (15)$$

В этом соотношении b_i – текущее значение интегрального показателя СП, определяемое формулой (14), b_{\min} и b_{\max} – минимально и максимально возможные значения интегрального показателя СП среди всех регионов.

Из соотношения (15) видно, что верхняя граница области изменения I_{SP_i} (1) отражает максимальную среди рассматриваемых объектов степень фона социальной напряженности, ее статического выражения – социального потенциала, нижняя (0) – ее минимальное значение среди рассматриваемых объектов.

Информационная категория «социальный потенциал» введена для количественного измерения социальной напряженности. С этой точки зрения социальная напряженность региона рассматривается как характеристика социальной системы, отражающая изменение социального потенциала в динамике как по отношению к себе самому (в предыдущий отсчет времени), назовем это автодинамикой, так и по отношению к своему положению относительно других регионов (межрегиональная динамика). Таким образом, индексы социальной напряженности будут формироваться на основе вычисления индексов социального потенциала.

Временной индекс социальной напряженности региона характеризует временную динамику индекса социального потенциала и рассчитывается как разность значений индексов социального потенциала региона для двух моментов времени (16), и в этом случае его можно рассматривать в качестве оценки автодинамики индекса социального потенциала региона:

$$I_{STT_i}(t_1, t_2) = I_{SP_i}(t_1) - I_{SP_i}(t_2), \quad (16)$$

где $I_{STT_i}(t_1, t_2)$ – значение временного индекса СН i -го региона для моментов времени t_1, t_2 ; $I_{SP_i}(t)$ – значение индекса СП i -го региона в момент времени t ; t_1, t_2 – моменты времени анализируемого временного ряда.

Данный индекс отражает величину изменения индекса СП для выбранного региона. Положительные значения характеризуют приращение индекса социального потенциала во времени (при условии $t_1 > t_2$), отрицательные свидетельствуют о снижении величины индекса СП обследуемого региона.

Однако в исследуемые моменты времени происходит изменение и социального потенциала других регионов. При условии более стремительного ухудшения обстановки в сравниваемых регионах по сравнению с обследуемым, несмотря на возрастание индекса социального потенциала, социальная напряженность в регионе должна снижаться, то есть авто- и межрегиональная динамика социального потенциала должна быть для этого региона отрицательной. Таким образом, изменение значения индекса социального потенциала не может однозначно сигнализировать о соответствующем изменении социальной напряженности в регионе как по отношению к самому себе, так и по отношению к своему положению среди других регионов. Данный тезис основывается на рассмотрении социальной системы с точки зрения теории социальных изменений [3], согласно которой при возникновении и возрастании противоречий между социальными стратами социальной системы внутренние связи трансформируются и адаптируются к происходящим изменениям.

В связи с этим необходимо оценивать изменение нормированных в рамках текущего отсчета времени значений индекса СП, в этом случае вводится временной относительный индекс социальной напряженности региона, который характеризует временную относительную динамику индекса социального потенциала и рассчитывается как разность значений нормированных в пределах отсчета времени индексов социального потенциала региона:

$$I_{STTR_i}(t_1, t_2) = \tilde{I}_{SP_i}(t_1) - \tilde{I}_{SP_i}(t_2), \quad (17)$$

где $I_{STTR_i}(t_1, t_2)$ – значение временного относительного индекса СН i -го региона для моментов времени t_1, t_2 ; $\tilde{I}_{SP_i}(t)$ – значение нормированного индекса СП i -го региона в момент t ; t_1, t_2 – моменты времени анализируемого временного ряда.

Нормирование индекса СП $I_{SP_i}(t)$ в данном случае осуществляется согласно выражению (2) с учетом монотонного характера индекса СП и прямого характера связи с социальной напряженностью.

Исходя из аналогичных рассуждений, введены индексы межрегиональной динамики социального потенциала для проведения межрегиональных сравнений по фоновому уровню социальной напряженности. Область изменения предложенных индексов составляет $[-1; 1]$.

Полученные результаты позволяют осуществлять сравнение регионов по критерию фонового уровня социальной напряженности, что дает возможность повысить обоснованность и снизить время принятия решений в процессах управления социальными системами. Для автоматизированной обработки данных и реализации всех последующих этапов методики разработана программа в нотации специализированного программного обеспечения MATLAB.

Разработанная методика и ее реализация в виде программы в нотации MATLAB является новым инструментом анализа ситуации социальной напряженности, позволяющим отслеживать повышение ее фонового уровня в регионах Российской Федерации с использованием статистических данных. Совершенствование методов получения и обработки массовой, экспертной и статистической информации для задач информационно-аналитического обеспечения управления социальными системами позволит осуществить разработку комплексной информационной технологии оценки и прогнозирования социальной напряженности в регионах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Россия в межстрановом анализе синтетических категорий качества жизни населения. Ч. 1. Методология анализа и пример ее применения // Мир России, 2001. – № 4. – С. 59-96.
2. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях. – М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – 118 с.
3. Козырев В.И. Социальные процессы и изменения // Социолог. исслед., 2005. – № 3. – С. 113-119.
4. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учебник для ВУЗов. В 2 т. Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика. 2-е изд., испр. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.
5. Чернышова Л.Д. Социальное управление в регионе // Социология власти, 2006. – № 6. – 23 с.

Грызлов Игорь Николаевич
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук
Тел.: 8 (4862) 74-96-58
E-mail: igryzlov@gmail.com

I.N. GRYZLOV (*Candidate of Engineering Sciences*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

METHOD OF FORMING INDEXES OF SOCIAL TENSION ON THE BASIS OF STATISTICAL INFORMATION

This article discusses one of the possible approaches to the development of indexes of social tension in Russia's regions through the use of statistical information using existing information technologies. The concept of «social potential» of the region is given. A method of forming the index of social potential of the region through the use of statistical information and a set of indexes auto- and cross-regional social tension are offered. The material is intended for professional information and analytical units.

Keywords: *region; social tension; social potential; the statistical indicator; criteria; methodology; index; information technology.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Ajvazyan S.A. Rossiya v mezhstranovom analize sinteticheskix kategorij kachestva zhizni naseleniya. Ch. 1. Metodologiya analiza i primer eyo primeneniya // Mir Rossii, 2001. – № 4. – S. 59-96.
2. Ajvazyan S.A. Integral'ny'e indikatory' kachestva zhizni naseleniya: ix postroenie i ispol'zovanie v social'no-e'konomicheskom upravlenii i mezhregional'ny'x sopostavleniyax. – M.: CEMI RAN, 2000. – 118 s.
3. Kozy'rev V.I. Social'ny'e processy' i izmeneniya // Sociolog. issled., 2005. – № 3. – S. 113-119.
4. Ajvazyan S.A., Mxitaryan V.S. Prikladnaya statistika. Osnovy' e'konometriki: uchebnik dlya VUZov. V 2 t. T. 1. Teoriya veroyatnostej i prikladnaya statistika. – 2-e izd., ispr. – M.: YuNITI-DANA, 2001. – 656 s.
5. Cherny'shova L.D. Social'noe upravlenie v regione / Sociologiya vlasti, 2006. – № 6. – 23 s.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ БИФУРКАЦИОННЫХ ДИАГРАММ

Автоматизация экспериментального бифуркационного анализа может сделать более доступным его использование в инженерной практике. В статье выполнены исследования в данном направлении и предложен алгоритм, в котором осуществляется выбор наиболее предпочтительной формы представления бифуркационной диаграммы, включая возможность устранения негативного влияния помеховой составляющей на четкость ее ветвей.

Ключевые слова: бифуркационный анализ; автоматизация научных исследований; натурный эксперимент; ШИМ-преобразователи.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных задач проектирования и эксплуатации импульсных преобразователей энергии (ИПЭ) – предотвращение потери устойчивости эксплуатационного процесса [1-2]. Поскольку динамика систем данного класса является нелинейной, то механизмы потери устойчивости эксплуатационного процесса обусловлены, в первую очередь, бифуркационными явлениями. Бифуркационные явления в динамике ИПЭ исследовались и продолжают исследоваться посредством вычислительных и натуральных экспериментов с 70-х годов XX века по настоящее время [2-4]. Парадокс заключается в том, что до сих пор применение бифуркационного анализа не характерно для инженерной практики. [2, 5, 6].

Большая часть работ по бифуркационному анализу динамики ИПЭ выполняется средствами вычислительного эксперимента. Поскольку математические модели ИСПЭ являются системами дифференциальных уравнений с переменной структурой, то решение обратных задач с целью обоснования полноты выявленной картины нелинейной динамики до сих пор остается затруднительным. При этом упрощения, вносимые в математические модели, приводят к тому, что высокая степень количественной адекватности (менее 10%) между результатами компьютерных и натуральных исследований может быть обеспечена одновременно только по отношению к нескольким (чаще всего к одной-двум) характеристикам. В этой связи в настоящее время возрастает роль натурального бифуркационного анализа динамики ИПЭ.

Стремительный рост возможностей электронных средств за последние десятилетия позволил решить проблему получения данных для построения натуральных бифуркационных диаграмм с требуемой скоростью и точностью. Однако методы анализа этих данных не претерпели существенных изменений. До сих пор с этой целью требуется привлечение квалифицированного эксперта, что обуславливает высокую трудоемкость и стоимость выполняемой экспертной оценки [7]. Автоматизация даже одного или нескольких этапов экспертной оценки позволила бы снизить затраты на ее выполнение и сделать более доступными инструменты повышения качества ИПЭ. Исследованиям в данном направлении посвящена статья.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Информация об эволюции нелинейной динамики традиционно представляется в форме бифуркационной диаграммы. Алгоритм построения бифуркационной диаграммы в настоящее время является традиционным. Цикл сбора данных заключается в последовательном выполнении следующих процедур: установка действующих параметров; пауза для завершения переходного процесса; сбор отсчетов переменной состояния с частотой ШИМ; запись данных в файл. Цикл повторяется при варьировании бифуркационного

параметра в рамках заданного диапазона для указанного шага и направления вариации. Обработка данных заключается в конвертировании данных в требуемый формат и выводе на экран полученных отсчетов для каждого из значений бифуркационного параметра.

В качестве примера для иллюстрации далее используются результаты натуральных экспериментов на установке импульсного электропривода постоянного тока [2]. В качестве переменной состояния в данном случае выступает ток на выходе ШИМ регулятора (i), в качестве бифуркационного параметра – коэффициент усиления пропорционального звена системы управления (α). Далее будет рассматриваться наиболее распространенный сценарий эволюции динамики ШИМ-преобразователей – переход к хаосу через удвоение периода 1-2-4-.... Будут анализироваться фрагменты этого сценария в случае каскада «жестких» бифуркаций. Фрагменты включают два периодических процесса, первый из которых происходит на частоте ШИМ ($f_{\text{ШИМ}}=1/T_{\text{ШИМ}}$) и является эксплуатационным режимом ИСПЭ (далее 1-процесс). Второй периодический процесс происходит на частоте в 2 раза меньшей, но с большей амплитудой и является примером не эксплуатационного режима (далее 2-процесс). На рисунке 1(а, б) представлены фрагменты временных рядов тока (i), иллюстрирующие 1-процесс и 2-процесс соответственно.

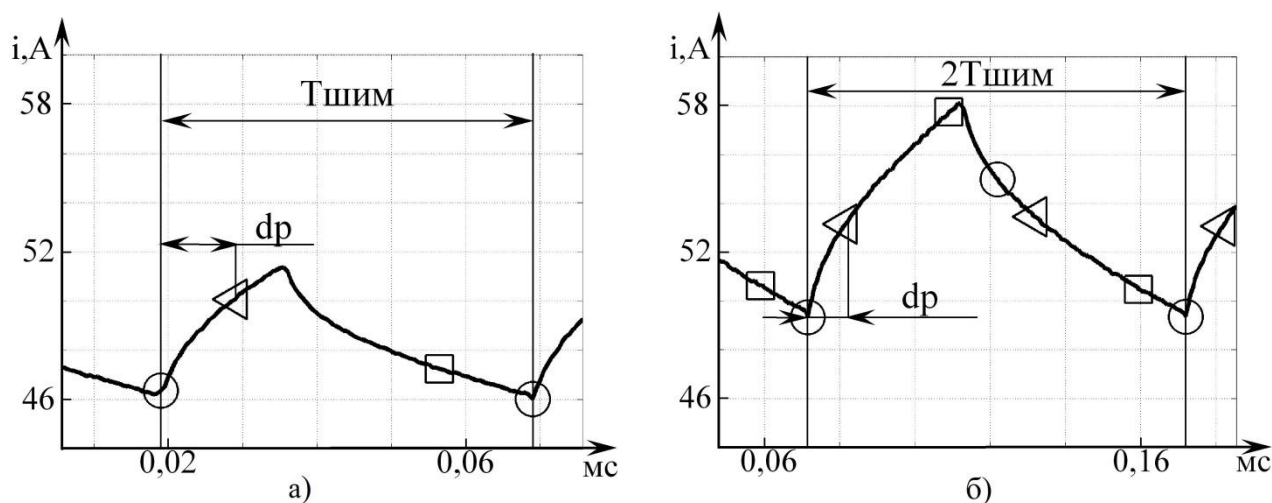


Рисунок 1 – Фрагменты экспериментальных i -временных рядов 1-процесса (а) и 2-процесса (б)

Рассмотрим три экспериментальные бифуркационные диаграммы (рис. 2(а, б, в)), которые получены при обработке одного и того же массива данных i -временных рядов. «Размытость» ветвей диаграмм обусловлена наличием низко- и высокочастотных помеховых составляющих в сигнале. Сходство этих диаграмм проявляется в том, что качественное изменение динамики ИСПЭ наблюдается при одном и том же значении бифуркационного параметра ($\alpha_{1,2}$). Однако взаимное расположение ветвей бифуркационных диаграмм является различным, что обусловлено различными моментами начала сбора данных. В первом случае сбор данных осуществляется в момент синхроимпульса (обозначен окружностями на рисунке 1(а, б)), во втором случае сбор данных осуществляется в момент времени, отстающий от синхроимпульса на 20% длительности периода ШИМ (обозначен треугольниками на рисунке 1(а, б)), в третьем случае сбор данных осуществляется в момент времени, отстающий от синхроимпульса на 75% длительности периода ШИМ (обозначен квадратами на рисунке 1(а, б)).

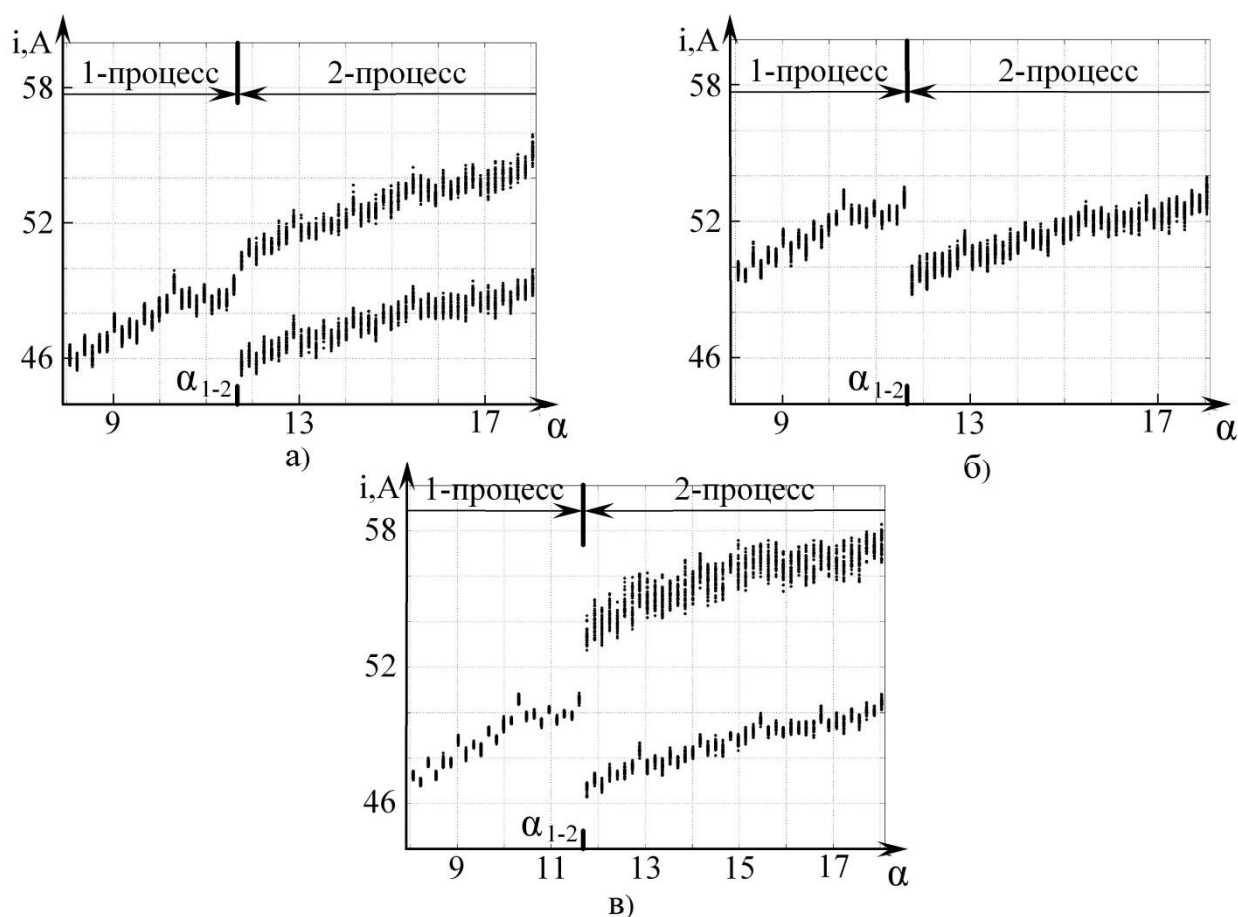


Рисунок 2 – Экспериментальные бифуркационные диаграммы, полученные для отсчетов, начало которых совпадает с синхроимпульсом (а) и смещено относительно него на 20% (б) и 75% (в) длительности периода ШИМ

Результатом работы эксперта, выполняющего бифуркационный анализ, должна быть информация, готовая для практического использования. Однако приведенные примеры показывают, что существуют проблемы преобразования «данных» (в качестве которых выступают временные ряды переменных состояния) к «информации», обладающей указанными свойствами. Например, ветви 2-процесса на рисунке 2(б) практически сливаются между собой и не позволяют на основе условия периодичности Пуанкаре однозначно распознать 2-процесс. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что момент сбора отсчетов для формирования бифуркационных диаграмм определяет их качество – взаимное расположение между ветвями различных процессов, а также расположение ветвей в рамках одного периодического процесса. Кроме того, экспериментальный бифуркационный анализ остается достаточно трудоемким процессом, его автоматизация является актуальной. В статье предлагается одно из решений данной задачи, в котором учитываются вопросы выбора момента сбора данных и устранения негативного влияния помеховой составляющей на четкость ветвей диаграммы.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для выполнения исследований в алгоритм построения бифуркационной диаграммы были внесены дополнения. В частности, сбор отсчетов переменной состояния (i) для построения бифуркационных диаграмм выполнялся с частотой, в 100 раз превышающей частоту ШИМ. Для автоматизации экспериментального бифуркационного анализа помимо i -временных рядов осуществлялся сбор временных рядов функции коммутации (u_{kf}) и синхроимпульса (u_{cf}). Примеры фрагментов синхронизированных i -, u_{kf} -, u_{cf} -временных рядов в случаях 1-процесса и 2-процесса представлены на рисунке 3(а, б) соответственно.

Перечисленные дополнения были внесены в первой процедуре (A1) в предлагаемом далее (рис. 5(a)) алгоритме обработки данных. В ходе второй процедуры (A2) выполняется конвертирование данных. Конвертирование представляет собой преобразование бинарных данных, полученных платой сбора L-Card (компания «Л Кард», г. Москва), в формат, который используется далее при обработке и анализе данных на языке программирования Python 2.7. С этой целью формируется текстовый массив, в котором столбцы соответствуют каналам платы сбора, и производится пересчет значений массива по следующей формуле:

$$\frac{const \cdot \text{кодАЦП} \cdot U_{ref}}{2^N - 1},$$

где $const = 25$ – константа, равная значению делителя напряжения; кодАЦП – код результата преобразования аналогового сигнала в дискретный; U_{ref} – напряжение уставки для платы сбора; $N = 13$ – максимальный разряд АЦП, используемый для кодирования.

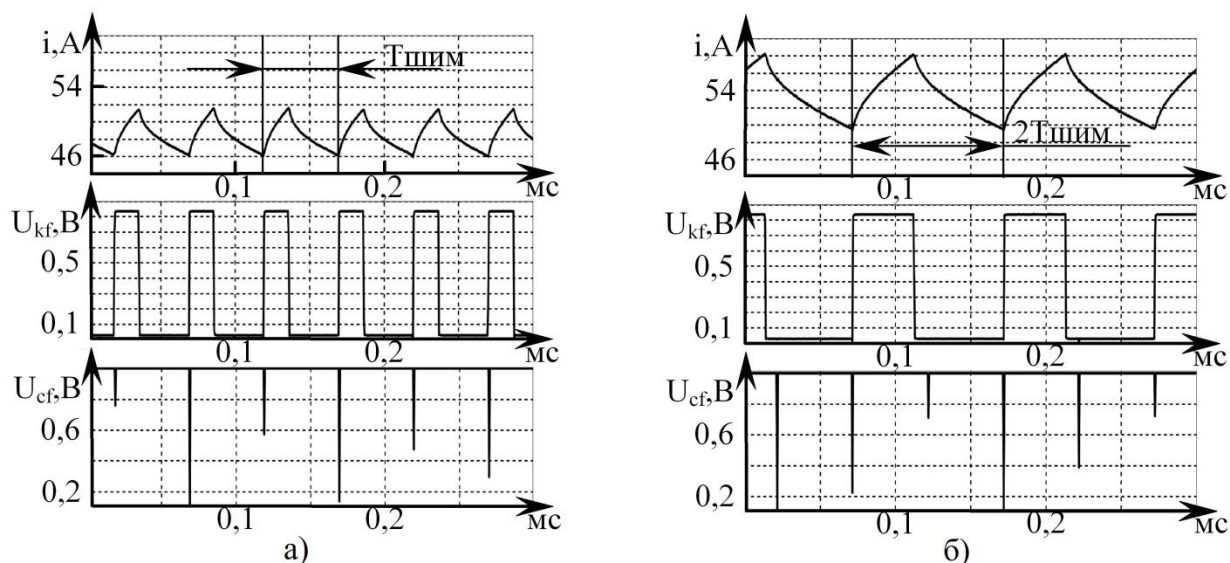


Рисунок 3 – Фрагменты экспериментальных i -, U_{kf} -, U_{cf} -временных рядов 1-процесса (а) и 2-процесса (б)

В ходе третьей процедуры (A3) формируются временные ряды переменной состояния ($i_{ШИМ}$) с частотой ШИМ, в которых момент начала выборки (dp) задается относительно момента синхроимпульса в % от длительности периода ШИМ (рисунке 1 (а,б)). Варьирование значения dp осуществляется в диапазоне от 0 до 100% с шагом 1%. Примеры $i_{ШИМ}$ -временных рядов 2-процесса, полученные для $dp=0\%$, $dp=20\%$ и $dp=75\%$, представлены на рисунке 4 (а, б, в) соответственно. В ходе четвертой процедуры (A4) выполняется традиционное построение бифуркационных диаграмм, ветви которых формируются из массивов переменной состояния, отстоящих между собой на шаг варьирования бифуркационного параметра (рис. 2 (а, б, в)). В ходе пятой процедуры (A5) задается местоположение бифуркационной точки. С этой целью выполняется последовательность следующих преобразований подобно [8]: разделение массива $i_{ШИМ}$ на число составляющих, равное количеству ветвей; вычисление математических ожиданий каждой из составляющих; формируется верхняя и нижняя ветвь бифуркационной диаграммы на основе анализа математических ожиданий. В ходе шестой процедуры (A6) выполняется аппроксимация ветвей диаграммы полиномом 2 степени встроенными функциями пакета *Numpy* в рамках одноименных периодических процессов и оценка среднего расстояния между ветвями (dm).

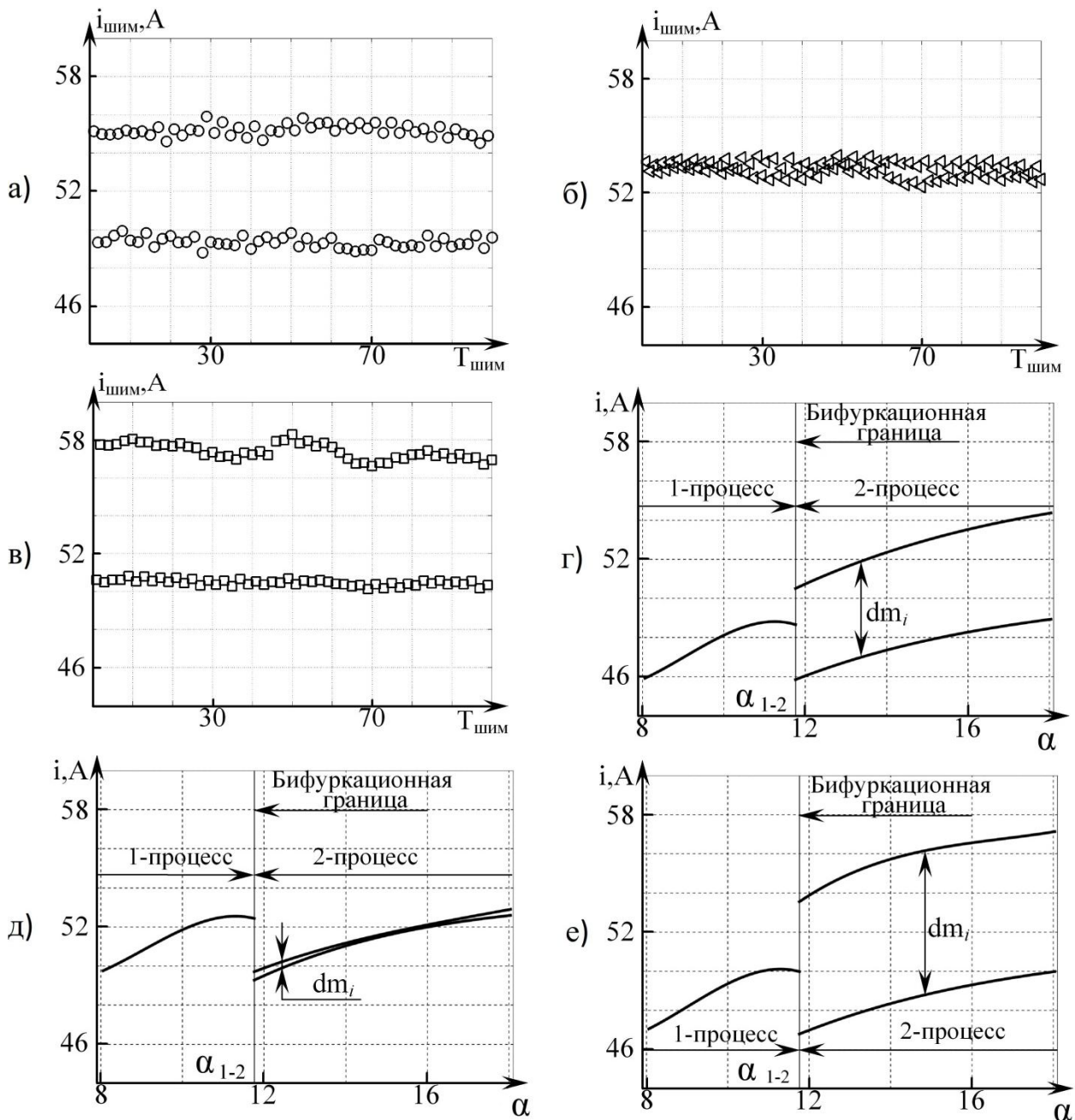


Рисунок 4 – Экспериментальные $i_{\text{ШИМ}}$ -временные ряды 2-процесса, полученные для $dr=0\%$, $dr=20\%$ и $dr=75\%$ (а, б, в соответственно); результаты анализа экспериментальных бифуркационных диаграмм рисунок 2 (а, б, в) (г, д, е соответственно)

Примеры, иллюстрирующие результат обработки бифуркационных диаграмм (рис. 2(а, б, в) в соответствии с алгоритмом (рис. 5 (а)) представлены на рисунке 4 (г, д, е) соответственно. Эти примеры иллюстрируют зависимость качества полученной экспериментальной бифуркационной диаграммы от выбора момента сбора данных. Эта зависимость может быть оценена, во-первых, с точки зрения информативности отображения качественного изменения динамики по критерию среднего значения расстояния между ветвями (dm). В частности, можно выделить 2 диапазона значений dr , отображающих моменты начала сбора отсчетов переменной состояния (рис. 5 (б), верхняя часть): от 20 до 75% (когда наблюдается практически линейное монотонное увеличение значения dm) и от 75% до 20% (когда наблюдается монотонное уменьшение значения dm с наличием излома в окрестности момента синхроимпульса). Во-вторых, с точки зрения взаимного расположения ветвей разноименных периодических процессов сценария эволюции динамики. В этой связи

можно выделить три варианта (рис. 5 (б), нижняя часть): ветвь 1-процесса размещается над ветвями 2-процесса (при значениях dp от 7 до 43%); ветвь 1-процесса размещается в линию с верхней ветвью 2-процесса (при значениях dp от 2 до 7% и от 43 до 53%) ветвь 1-процесса размещается между ветвями 2-процесса (при значениях dp от 53 до 2%).

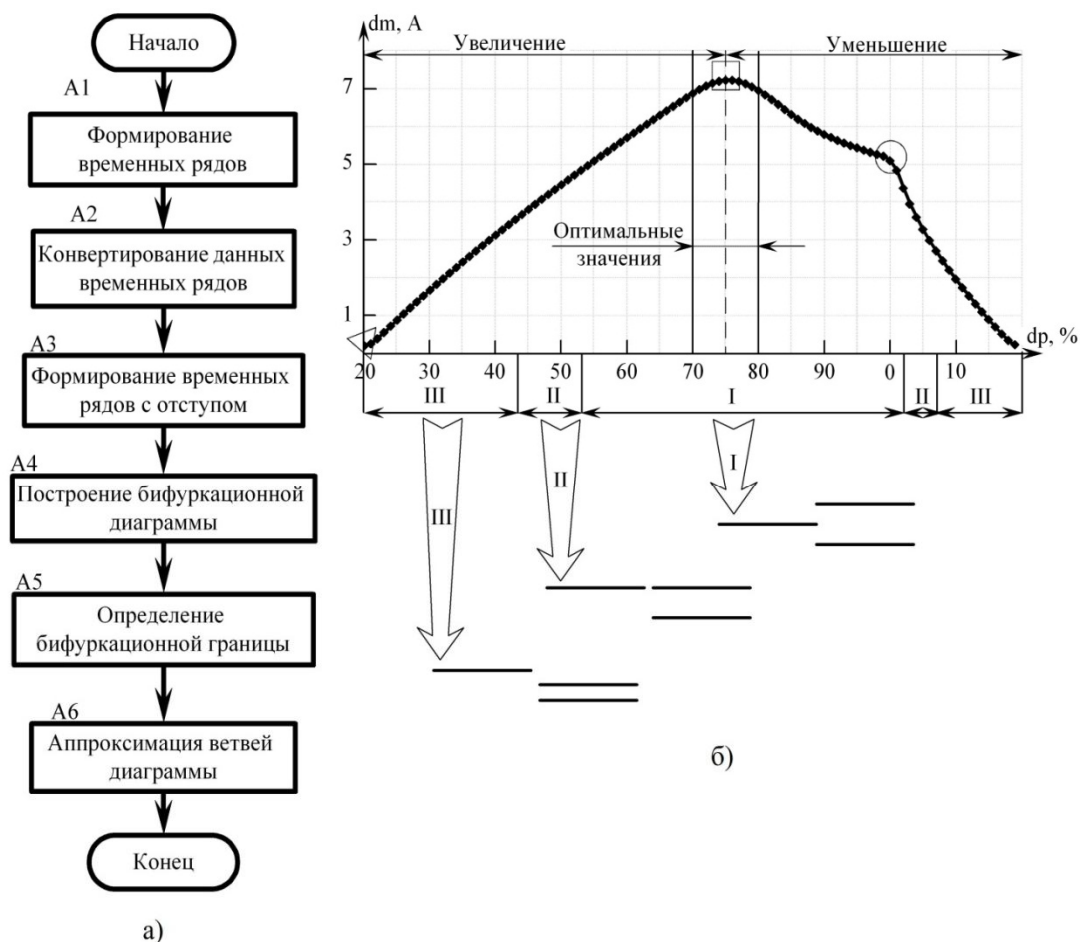


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма автоматизированного исследования экспериментальных бифуркационных диаграмм (а), зависимость $dm(dp)$ и три варианта формы бифуркационной диаграммы (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены алгоритм и результаты автоматизированного исследования экспериментальных бифуркационных диаграмм. В частности, используя предложенный анализ экспериментальной бифуркационной диаграммы можно осуществить выбор наиболее предпочтительной формы ее представления, включая отображение ветвей на основе функциональных зависимостей. Эта форма представления диаграммы может сделать более доступными инструменты бифуркационного анализа для использования в инженерной практике с целью повышения качества ИПЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang C.-H., Lee C.-H., Shih, K.-J., Wang, Y.-J. A Robust Technique for Frequency Estimation of Distorted Signals in Power Systems. // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2010. – V. 59(8). – P. 2026-2036.
2. Kolokolov Yu.V., Koschinsky S.L., Bagrov V.V. Experimental dynamics of electromechanical pulse energy conversion systems. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2006. – Vol. 55. – № 1. – P. 35-43

-
3. Basak B., Parui S. «Exploration of bifurcation and chaos in buck converter supplied from a rectifier», IEEE Trans. Power Electron, 2010. – Vol. 25. – № 6. – P. 1556-1564.
 4. Kavitha A., Uma G. «Experimental verification of hopf bifurcation in DC-DC Luo converter», IEEE Trans. Power Electron, 2008. – Vol. 23. – № 6. – P. 2878-2883.
 5. Jelali M. «An overview of control performance assessment technology and industrial applications»: Control Engineering Practice, 2006. – Vol. 14. – P. 441-466.
 6. Sun J. «Small-signal methods for AC distributed power systems – a review», IEEE Trans. Power Electron, 2009. – Vol. 24. – № 11. – P. 2545-2554.
 7. Колоколов Ю.В., Моновская А.В., Устинов П.С., Багров В.В. Проблема неопределенности в динамике импульсного электропривода постоянного тока // Системы управления и информационные технологии, 2010. – № 1.2(39). – С. 304-308.
 8. Kolokolov Yu.V., Monovskaya A.V., Ustinov P.S., Hamzaoui A., Essounbouli N. New Technique of Experimental Data Analysis for Early Detection of PWM Converter Faults Owing to Nonlinear Phenomena, Proc. the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 15-17 September 2011. – Prague, Czech Republic. – P. 550-555.

Колоколов Юрий Васильевич

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, г. Обнинск

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела прикладных системных исследований

E-mail: 2kolo@mail.ru

Моновская Анна Владимировна

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, г. Обнинск

Доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела прикладных системных исследований

E-mail: anna.monovskaya@mail.ru

Гусаков Артем Владимирович

Югорский Государственный Университет, г. Ханты-Мансийск

Инженер лаборатории систем управления и информационных технологий

E-mail: artyom.gusakov@gmail.com

YU.V. KOLOKOLOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head Researcher of Department of Applied System Researches*)

A.V. MONOVSKAYA (*Doctor of Engineering Sciences, Head Researcher of Department of Applied System Researches*)
Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, Obninsk

A.V. GUSAKOV (*Engineer of Laboratory of Control Systems and Information Technologies*)
UGRA State University, Khanty-Mansiysk

AUTOMATED RESEARCH OF EXPERIMENTAL BIFURCATION DIAGRAMS

Automation of the experimental bifurcation analysis can make it using in practical engineering more available. The results of the corresponding researches are presented in the paper. In particular, the algorithm realizing the choice of the preferable form of a bifurcation diagram, including the possibility of eliminating the influence of disturbances on the «clearness» of its branches, is offered.

Keywords: *bifurcation analysis; automation of scientific researches; experimental investigations; PWM converters.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Huang C.-H., Lee C.-H., Shih, K.-J., Wang, Y.-J. A Robust Technique for Frequency Estimation of Distorted Signals in Power Systems. // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2010. – V. 59(8). – P. 2026-2036.
-

-
2. Kolokolov Yu.V., Koschinsky S.L., Bagrov V.V. Experimental dynamics of electromechanical pulse energy conversion systems. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2006. – Vol. 55. – № 1. – P. 35-43
 3. Basak B., Parui S. «Exploration of bifurcation and chaos in buck converter supplied from a rectifier», IEEE Trans. Power Electron, 2010. – Vol. 25. – № 6. – P. 1556-1564.
 4. Kavitha A., Uma G. «Experimental verification of hopf bifurcation in DC-DC Luo converter», IEEE Trans. Power Electron, 2008. – Vol. 23. – № 6. – P. 2878-2883.
 5. Jelali M. «An overview of control performance assessment technology and industrial applications»: Control Engineering Practice, 2006. – Vol. 14. – P. 441-466.
 6. Sun J. «Small-signal methods for AC distributed power systems – a review», IEEE Trans. Power Electron, 2009. – Vol. 24. – № 11. – P. 2545-2554.
 7. Kolokolov Yu.V., Monovskaya A.V., Ustinov P.S., Bagrov V.V. Problema neopredelyonnosti v dinamike impul'snogo e'lektroprivoda postoyannogo toka // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tekhnologii, 2010. – № 1.2(39). – S. 304-308.
 8. Kolokolov Yu.V., Monovskaya A.V., Ustinov P.S., Hamzaoui A., Essounbouli N. New Technique of Experimental Data Analysis for Early Detection of PWM Converter Faults Owing to Nonlinear Phenomena, Proc. the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 15-17 September 2011. – Prague, Czech Republic. – P. 550-555.
-

В.Т. ЕРЕМЕНКО, С.В. ЕРЕМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ,
С.А. ЧЕРЕПКОВ, А.А. ЛЯКИШЕВ

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В СЕТЯХ АСУП НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ MPLS

В статье представлены общие подходы оптимизации трафика в сетях с многопротокольной коммутацией по меткам (MPLS), базирующиеся на RFC 2702. Дана формулировка общей задачи оптимизации трафика в сетях с использованием технологии MPLS. Произведен анализ моделей оптимизации трафика для MPLS сетей.

Ключевые слова: управление трафиком; маршрутизация; пропускная способность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при построении сетей передачи данных АСУП важными факторами при выборе используемой технологии построения их транспортной составляющей является их стоимость, увеличение пропускной способности, а также поддержка необходимого набора сетевых служб. С учетом определенных факторов можно выделить технологию многопротокольной коммутации по меткам (Multiprotocol Label Switching, MPLS), позволяющей передачу трафика через любую среду передачи данных с высокими показателями скорости, содержащую информацию любого вида.

Технология MPLS сочетает в себе гибкость IP-протокола, возможность использования виртуальных каналов, а так же поддержку технологии управления трафиком (Traffic Engineering, TE). При использовании данной технологии повышается масштабируемость сетей, становится дешевле и проще их построение и эксплуатация. Общий вид MPLS сети представлен на рисунке 1.

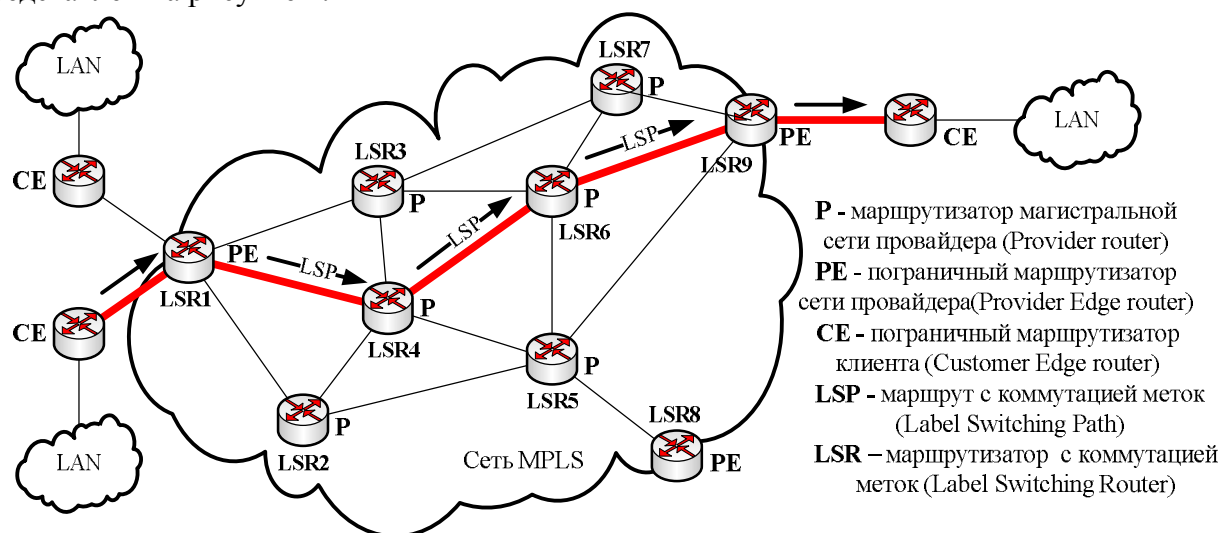


Рисунок 1 – Общий вид MPLS сети

Особенностью реализации технологии MPLS является разделение процесса коммутации пакета от анализа в его заголовке IP-адреса [1], что ведет к увеличению скорости коммутации пакетов. Данный механизм можно представить следующим образом:

- пакетам данных присваиваются метки;
- пакет передается на другой узел сети, где, согласно значению метки, принимается решение о дальнейшей передаче пакета данным другому узлу сети без изучения содержимого адресов инкапсулированных пакетов данных;

– создается сквозной виртуальный канал, независимый от среды передачи данных.

Эта технология применима ко всем протоколам сетевого уровня, так как MPLS как нижележащий протокол способен передавать информацию большому числу других вышележащих протоколов (например, IP). Также с помощью применения MPLS может осуществляться поддержка широкого спектра необходимых для функционирования АСУП сетевых служб.

Еще одним достоинством применения MPLS сетей является прозрачность использования виртуальных частных сетей (VPN) для конечного пользователя, так как основная нагрузка по их реализации ложится на провайдера и его сетевое оборудование [2].

Однако несмотря на большое количество преимуществ технологии MPLS, имеется и определенный недостаток – она применима только для связи между маршрутизаторами и не может быть использована для соединения с конечными абонентами сети.

В настоящее время технология MPLS находит себе применение в распределенных сетях предприятий различной направленности (торговли, производства, строительства, телекоммуникации и др.) [3].

При построении MPLS сетей одной из важных задач является анализ и оптимизация их характеристик, таких, как пропускная способность каналов, задержек при передаче данных и обеспечение заданного уровня качества предоставляемых услуг (Quality of Service, QoS).

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ТРАФИКА В MPLS СЕТЯХ

Согласно RFC 2702 «Requirements for Traffic Engineering Over MPLS» существует две задачи оптимизации производительности MPLS сетей [4]:

- ориентированные на оптимизацию трафика;
- ориентированные на оптимизацию имеющихся ресурсов.
- Задача оптимизации трафика включает в себя аспекты повышения QoS, такие, как:
- минимизация потерь пакетов в результате сетевого взаимодействия;
- минимизация задержек;
- максимизация пропускной способности;
- обеспечение заданного уровня сервиса.

Оптимизация имеющихся ресурсов заключается в достижении баланса, при котором нагрузка на все элементы сетевого взаимодействия распределяется равномерно согласно определенным критериям оптимизации. Это позволяет избежать неравномерной нагрузки на элементы сети, в результате чего повышается надежность и качество процесса передачи данных по сети. Эффективное управление распределением ресурсов – основная функция управления трафиком.

Одним из важных ресурсов в современных сетях является пропускная способность. При решении задачи оптимизации пропускной способности может возникнуть проблема перегрузки трафиком (не учитывая случайные всплески активности).

Существуют следующие причины возникновения перегрузки трафиком:

а) отсутствие необходимого количества или неэффективное размещение сетевых ресурсов в соответствии с поступающей нагрузкой;

б) неэффективное распределение трафика между сетевыми ресурсами (например, маршрутизаторами) в процессе передачи информации, когда одни элементы сети оказываются перегружены, а другие либо не загружены, либо вообще не используются;

в) потери, связанные с ограниченными размерами буферов промежуточных элементов сети.

Решением причины первой проблемы может быть привлечение дополнительного сетевого оборудования, его оптимальное размещение, а также его правильная настройка. При этом настройка сетевого оборудования может заключаться в ограничении скорости на определенных маршрутах или направлениях, управлением очередью поступающих пакетов на маршрутизаторах и т.п.

Решением причины второй проблемы может быть использование управления трафиком, которое включает в себя балансировку нагрузки за счет эффективного распределения ресурсов. В результате этого уменьшается значение потерь пакетов при передаче данных, уменьшается значение средней задержки, а также увеличивается пропускная способность сети и, как следствие, повышается QoS для конечных пользователей.

Решением третьей причины может быть управление очередями, заключающееся в эффективном применении таких алгоритмов, как:

- алгоритмы организации очереди;
- алгоритмы обработки очередей;
- алгоритмы сглаживания пульсации трафика.

MPLS технология при решении задачи обеспечения заданного уровня сервиса использует набор технологий, позволяющих приложениям задавать и получать установленный уровень услуг с точки зрения пропускной способности, временного разброса задержки отклика, а также от общей задержки передаваемых данных.

МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАФИКА

Одну из основных проблем управления трафика, связанную с маршрутизацией в MPLS сетях при обеспечении заданного уровня QoS, можно представить как задачу оптимального отображения порожденного подграфа MPLS $H=(U, F, d)$ на топологию физической сети, представленную в виде графа $G=(V, E, c)$, где V – множество узлов в сети (LSRs), E – множество маршрутов (LSPs), c – множество возможных связей между V и E , U – подмножество узлов в сети ($U \in V$), которые являются конечными точками по крайней мере одного маршрута, F – подмножество законченных маршрутов ($F \in E$), параметр d – множество требований и ограничений, относящихся к F . Очевидно, что H является направленным подграфом. Это видно из зависимости H от характеристик транзитивности G [5].

Проблема QoS маршрутизации в MPLS сети может быть сформулирована как задача оптимизации в виде функции с набором ограничений. Рассмотрим наиболее известные модели оптимизации.

Модель взвешенной суммы стоимости и пропускной способности.

М.К. Girish, В. Zhou и J.Q. Hu в своей работе [6] представили операцию отображения подмножества F в множество E , как определение значения переменной X_{il} , которая принимает значение 1, когда i -ый LSP совпадает с маршрутом l , иначе равно 0.

Цель состоит в том, чтобы вычислить X_{il} с минимальной суммой затрат и достаточной пропускной способности соединения, входящего в LSP, необходимой для передачи данных с заданным качеством. Цель формулируется следующим образом:

$$Z_R = \sum_{l \in E} a_l \sum_{i \in F} \lambda_i X_{il} \rightarrow \min \quad (1)$$

где a_l – стоимость на участке l , λ_i – эффективная пропускная способность i -ого LSP.

Модель Minimum interference routing algorithm (MIRA).

М. Kodialam и T.V. Lakshman [7, 8] предлагают идеи MPLS QoS-маршрутизации основанные на минимальном вмешательстве и базирующиеся на теории максимального сетевого потока [9]. Данная модель решает ряд проблем, которые будут описаны ниже.

MAX-MIN-MAX [8].

Смысл MAX-MIN-MAX состоит в том, что чем меньше максимальный поток между парой узлов входа-выхода (s,d), образующих LSP, тем выше вероятность отказа будущему запросу между (s,d). Поэтому основная задача – максимизировать наименьший максимальный поток. Например, если максимальный поток (s_1, d_1) минимален при выборе первого маршрута и максимальный поток (s_2, d_2) минимален, когда выбран второй маршрут,

первый маршрут будет выбран в случае, если $\theta_{s_1d_1} > \theta_{s_2d_2}$, где θ_{sd} – максимальный поток, который может быть передан между узлами s и d по остальным маршрутам сети, отличным от рассматриваемого.

Пусть $I(\theta)$ обозначает возрастающий поток θ , тогда его первый элемент $I_1(\theta)$ является наименьшим максимальным потоком.

Задачу оптимизации, в этом случае, можно записать как:

$$I_1(\theta) \rightarrow \max. \quad (2)$$

WSUM-MAX [8].

MAX-MIN-MAX рассматривает только первый элемент $I(\theta)$, не рассматривая максимальный поток других пар входа-выхода. WSUM-MAX решает эту проблему, рассматривая взвешенную сумму максимального потока всех пар входа-выхода. Если через α_{sd} ввести весовой коэффициент конкретного LSP (s,d), тогда задачу оптимизации можно записать в следующем виде:

$$\sum_{(s,d) \in P \setminus (a,b)} \alpha_{sd} \theta_{sd} \rightarrow \max. \quad (3)$$

LEX-MAX [10].

WSUM-MAX только рассматривает взвешенную сумму максимального потока всех пар входа-выхода. Максимальное значение суммы максимального потока некоторых пар входа-выхода может опускаться почти до нуля. LEX-MAX решает эту проблему посредством максимизации свободных маршрутов в лексикографическом порядке. На первом шаге LEX-MAX максимизируется $I_1(\theta)$, затем $I_2(\theta)$, $I_3(\theta)$ и т.д. Это можно сформулировать так:

$$\sum_{i=1}^P \alpha_i \sum_{(s,d) \in P} y_{i,sd} \theta_{sd} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где $y_{i,sd}$ равно 1, если $\theta_{sd} = I_i(\theta)$, иначе равно 0.

Описание α_i дается в [9]. α_i выбирается так, чтобы удостовериться, что различие значения пропускной способности в i -ом наименьшем максимальном потоке превесило эффект максимальной разницы во всех $(i+1)$ -ых, $(i+2)$ -ых, ..., P -ых наименьших максимальных потоках.

Модель Profile-Based Routing (PBR).

MIRA только рассматривает сокращение максимального потока без оценки ожидаемой пропускной способности пар входа-выхода. Это является проблемой топологии «автостоянка», топологии «концентратор» и топологии «дистрибьютор». S. Suri, M. Waldvogel, D. Bauer и P.R. Warkhede в своей работе [11] предложили решение этой проблемы с помощью модели PBR, основанной на теории многовариантного сетевого потока. Основная идея PBR состоит в использовании как информации о парах входа-выхода, так и о распределении трафика. Несмотря на полную непредсказуемость времени отклика на запросы установки LSP и изменения требований к пропускной способности, пропускную способность B_i для каждого класса трафика можно получить посредством измерения или вычисления i -ого SLA (*Service Level Agreement*).

Модель PBR рассчитывает путь каждого запроса LSP для каждого класса трафика i , базирующегося на остаточной пропускной способности $r_i(e)$ для каждого соединения e , а не для каждого маршрута.

Чтобы вычислить остаточную пропускную способность $r_i(e)$, S. Suri и др. сводят проблему многовариантности сетевого потока к обработке каждого класса трафика как отдельного. Цель состоит в том, чтобы найти маршруты в сети, по которым проходит наибольший трафик. Переменная $X_i(e)$ вычисляется как суммарный объем трафика, переданного через соединение e . Исходя из этого, проблема многовариантности сетевого потока решается следующим образом:

$$\sum \text{cost}(e) \sum_{i=1}^k X_i(e) \rightarrow \min. \quad (5)$$

$X_i(e)$ может использоваться в качестве исходного значения для вычисления остаточной пропускной способности $r_i(e)$ для i класса трафика, соединения e .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование MPLS сетей в распределенных сетях АСУП, имеющих сложную структуру, является одной из возможностей повышения качества используемых служб. Возможность получения служб с заданным уровнем качества – одна из приоритетных задач любого предприятия, строящего свою структуру управления и информационного обмена с помощью сетевого взаимодействия и распределенного хранения данных. Применение технологии MPLS в сетях АСУП позволяет повысить эффективность использования имеющийся транспортной среды.

Одной из основных задач при построении MPLS сетей АСУП является оптимизация трафика. RFC 2702 «Requirements for Traffic Engineering Over MPLS» дает описание основных подходов к повышению характеристик сетевого взаимодействия.

Технология MPLS использует новые подходы к организации и оптимизации трафика, базирующейся на QoS маршрутизации. В работе были исследованы наиболее известные модели и алгоритмы оптимизации сетевого взаимодействия MPLS трафика. Из их анализа можно сделать следующий вывод:

- рассмотренные модели не являются универсальными и дают выигрыш от их применения только при определенных условиях сетевого взаимодействия;
- применение многокритериальных алгоритмов оптимизации сетевого взаимодействия MPLS трафика является одним из перспективных направлений исследований в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А.Б. Механизм эффективного туннелирования в сети MPLS // «Вестник связи», 2004. – № 2.
2. Еременко В.Т., Афонин С.И., Краснов Д.А. и др. Математическая модель оценки производительности беспроводной вычислительной сети АСУ предприятия // Информационные системы и технологии, 2011. – № 5. – С. 11-20.
3. Еременко В.Т., Афонин С.И. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий // Информационные системы и технологии, 2012. – № 2 – С. 99-105.
4. RFC 2702 «Requirements for Traffic Engineering Over MPLS». <http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt>.
5. Ying-Xiao Xu, Gen-Du Zhang. Models and algorithms of QoS-based routing with MPLS traffic engineering. // High Speed Networks and Multimedia Communications 5th IEEE International Conference. July 2002. – P. 128-132.
6. Girish M.K., Zhou B., Hu J.Q. Formulation of the traffic engineering problems in MPLS based IP networks. // Proceedings of the Fifth IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2000). – P. 214-219.
7. Kodialam M., Lakshman T.V. On-line Routing of Guaranteed Band-width Tunnels. // Seventh IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM/IP Networks. June 1999.
8. Kodialam M., Lakshman T.V. Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering // Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE Infocom). March 2000. – P. 884-893.
9. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J.B. Network flows: theory, algorithms and applications // Prentice Hall, 1993.
10. Kar K., Kodialam M., Lakshman T.V. MPLS traffic engineering using enhanced minimum interference routing: an approach based on lexicographic max-flow // Proceedings of International Workshop on QoS. June 2000. – P. 105-114.
11. Suri S., Waldvogel M., Warkhede P.R. Profile-based routing: a new framework for MPLS traffic engineering // Washington University Computer Science Technical Report WUCS-00-21, July 2000.

Еременко Владимир Тарасович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

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

Тел.: 8 (4862) 41-98-79

E-mail: wladimir@orel.ru

Еременко Сергей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-58

E-mail: sv5771@mail.ru

Анисимов Дмитрий Владимирович

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 920 286 86 35

E-mail: dimadikiy@mail.ru

Черепков Сергей Анатольевич

Академия ФСО, г. Орел

Преподаватель

Тел.: 8 953 615 84 01

E-mail: perspectiva2010@mail.ru

Лякишев Александр Александрович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 919 777 06 64

E-mail: stiplchez@list.ru

V.T. EREMENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Head of the Department «Electronics, Computer Facilities and Information Security»*)

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

D.V. ANISIMOV (*Research Associate*)

S.A. CHEREPKOV (*Teacher*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

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

ANALYSIS OF MODELS TRAFFIC IN THE NETWORKS CAM TECHNOLOGY BASED MPLS

This paper presents the general approaches of a traffic optimization in networks with Multiprotocol Label Switching, based on RFC 2702. The formulation of the general problem of a traffic optimization in networks with MPLS technology. Article contains the analysis of models of a traffic optimization for MPLS networks.

Keywords: *traffic engineering; routing; bandwidth.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERANED)

1. Gol'dshtejn A.B. Mexanizm e'ffektivnogo tunnelirovaniya v seti MPLS // «Vestnik svyazi», 2004. – № 2.
 2. Eryomenko V.T., Afonin S.I., Krasnov D.A. i dr. Matematicheskaya model' ocenki proizvoditel'nosti besprovodnoj vy'chislitel'noj seti ASU predpriyatiya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 5. – S. 11-20.
 3. Eryomenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya texnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelyonny'x predpriyatij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2 – S. 99-105.
-

-
4. RFC 2702 «Requirements for Traffic Engineering Over MPLS». <http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt>.
 5. Ying-Xiao Xu, Gen-Du Zhang. Models and algorithms of QoS-based routing with MPLS traffic engineering. // High Speed Networks and Multimedia Communications 5th IEEE International Conference. July 2002. – P. 128-132.
 6. Girish M.K., Zhou B., Hu J.Q. Formulation of the traffic engineering problems in MPLS based IP networks. // Proceedings of the Fifth IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2000). – P. 214-219.
 7. Kodialam M., Lakshman T.V. On-line Routing of Guaranteed Band-width Tunnels. // Seventh IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM/IP Networks. June 1999.
 8. Kodialam M., Lakshman T.V. Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering // Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE Infocom). March 2000. – P. 884-893.
 9. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J.B. Network flows: theory, algorithms and applications // Prentice Hall, 1993.
 10. Kar K., Kodialam M., Lakshman T.V. MPLS traffic engineering using enhanced minimum interference routing: an approach based on lexicographic max-flow // Proceedings of International Workshop on QoS. June 2000. – P. 105-114.
 11. Suri S., Waldvogel M., Warkhede P.R. Profile-based routing: a new framework for MPLS traffic engineering // Washington University Computer Science Technical Report WUCS-00-21, July 2000.
-

ПОВЫШЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ВНЕШНИЙ АКУСТИЧЕСКИЙ ШУМ В СИСТЕМЕ ОБМЕНА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Рассматриваются характеристики акустических речевых сигналов и акустических шумов, рассматривается их влияние на отношение сигнал/шум в системах громкоговорящей связи, исследуются спектральные функции речевых сигналов и акустических помех, сформулированы рекомендации создания алгоритмов подавления акустических помех методами линейной фильтрации.

Ключевые слова: *внешние акустические помехи; акустический речевой сигнал; моделирование линейной фильтрации; громкоговорящая связь; отношение сигнал/шум.*

Исследования спектральных функций речевых сигналов и внешних шумовых помех в [1, 2] показали, что спектр внешних акустических шумов смещен относительно спектра речевых сигналов в низкочастотную область, что позволяет предполагать возможность применения метода линейной фильтрации для повышения отношения $P_c/P_{ак.пом.}$ в системах телекоммуникаций аудио-обмена. Другой фактор, позволяющий применить линейную фильтрацию для подавления акустических шумов, это возможность увеличения области режекции в диапазоне от $F=0$ Гц, до $F_n=300-1000$ Гц, в соответствии с исследованиями в [1-6]. Из этих исследований видно, что при увеличении нижней границы воспроизводимых частот до $F_n = 1000$ Гц величина слоговой разборчивости S практически не изменяется, принимает значение более 93%, что является допустимым в соответствии с ГОСТ 16600-72 и рекомендациями ITU-T P.48, P.340.

Таким образом, вышеперечисленные факторы позволяют рассмотреть возможность проектирования адаптивных алгоритмов обработки речевых сигналов и подавления акустических помех за счет управляемого изменения области режекции в интервале от 0 Гц до (300÷1000) Гц в зависимости от помеховой обстановки.

Рассмотрим в качестве модели адаптивной фильтрации полосовой фильтр прямоугольной формы с плавающим низкочастотным срезом F_n в АЧХ канала в пределах $0 \leq F_n \leq F_B$, где F_B – фиксированный высокочастотный срез АЧХ фильтра. Если модель АЧХ полосового фильтра $K(f)$ задать в виде

$$K(f) = \begin{cases} 1, & \text{при } F_n \leq f \leq F_B, \\ 0, & \text{при других } f, \end{cases} \quad (1)$$

то при известной спектральной функции речевого сигнала $G(f)$ [1], P_c на выходе полосового фильтра (1) определяется как

$$P_c = \int_{F_n}^{F_B} K^2(f)G(f)df = \int_{F_n}^{F_B} G(f)df. \quad (2)$$

Соответственно, изменяя F_n в пределах $0 \leq F_n \leq F_B$, получаем зависимость P_c от значения частоты низкочастотного среза F_n АЧХ канала. Запишем спектральную функцию энергетического спектра речевого сигнала в виде ДПФ от АКФ этого сигнала [2]:

$$G(\Delta f \cdot \ell) = \sum_{\ell=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{k-1} R(kT) e^{-j2\pi\Delta f \cdot \ell \cdot kT}, \quad (3)$$

где $\Delta f = \frac{F\delta}{N}$ – интервал дискретизации спектральной функции по частоте; N – число отсчетов речевого сигнала на конечном интервале; ℓ – номер частотной дискретной составляющей

отсчета спектральной функции, находится в пределах $0 \leq \ell \leq N-1$; $R(kT)$ – АКФ речевого сигнала представляется сеточной функцией в таблице 1 для одной из реализаций речевого сигнала [2].

Таблица 1 – Сеточная функция АКФ речевого сигнала

k_h, k_l	$k_0=0$	$k_1=7$	$k_2=25$	$k_3=54$	$k_4=93$	$k_5=130$
$R(k_h)$	$R(k_0)=0,126$	$R(k_1)=0,115$	$R(k_2)=0,037$	$R(k_3)=-0,048$	$R(k_4)=-0,016$	$R(k_5)=-0,025$
k_h, k_l	$k_6=182$	$k_7=210$	$k_8=228$	$k_9=245$	$k_{10}=253$	
$R(k_h)$	$R(k_6)=0,026$	$R(k_7)=0,008$	$R(k_8)=-0,003$	$R(k_9)=-0,001$	$R(k_{10})=0$	

Математическая модель АКФ речевого сигнала представляется аппроксимацией интерполяционным многочленом Лагранжа десятого порядка с погрешностью $\varepsilon = 1,23\%$ в виде

$$R(k) = \sum_{k=0}^{H=10} R(k_h) \prod_{\substack{\ell=0 \\ \ell \neq h}}^{H=10} \frac{k - k_\ell}{k_h - k_\ell}, \quad (4)$$

где k – текущая задержка кратная периоду дискретизации T ; k_h – задержка в узле с номером h ; ℓ – текущие задержки остальных узлов при $\ell \neq h$.

Аналогично (2) вычисляется мощность акустических помех $P_{ак.пом.}$ в виде

$$P_{ак.пом.} = \int_{F_n}^{F_g} G_{\Pi}(f) df.$$

Спектральная функция $G_{\Pi}(\ell \Delta f)$ акустического шума вычисляется как в (3) и имеет вид

$$G_{\Pi}(\Delta f \cdot \ell) = \sum_{\ell=0}^{N-1} \sum_{K=0}^{K-1} R_{\Pi}(kT) e^{-j2\pi \Delta f \cdot \ell \cdot kT}, \quad (5)$$

где $R_{\Pi}(kT)$ – АКФ помехи представляется также ее аппроксимацией многочленом Лагранжа.

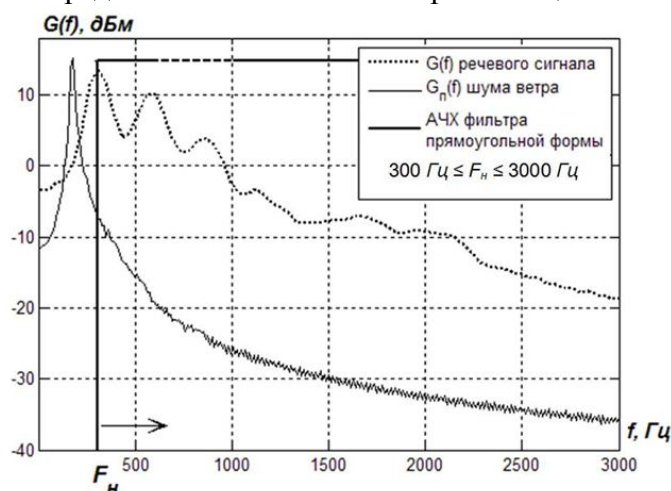


Рисунок 1 – Модель фильтрации спектральных функций речевого сигнала $G(f)$ и помехи $G_{\Pi}(f)$ от изменения F_n

Процесс фильтрации спектральных функций речевого сигнала $G(f)$ и помехи $G_{\Pi}(f)$ и, соответственно, изменения отношения $P_c/P_{ш.}$ в зависимости от изменения F_n в пределах $300 \text{ Гц} \leq F_n \leq 3000 \text{ Гц}$ проиллюстрированы на рисунке 1. На рисунке 1 видно, что основная энергия спектральной функции $G_{\Pi}(f)$ остается вне полосы пропускания фильтра прямоугольной формы.

Вычисление отношения значений P_c и $P_{ак.пом.}$ на выходе фильтра прямоугольной формы показывает зависимость степени подавления акустических шумов относительно речевых сигналов от величины области режекции от 0 Гц до F_H в АЧХ тракта. В дискретном случае представления спектральных функций получим отношение $P_c/P_{ак.пом.}$ в виде

$$\frac{P_c}{P_{ак.пом.}} = \frac{\sum_{\ell_H}^{\ell_B} G(\ell \cdot \Delta f)}{\sum_{\ell_H}^{\ell_B} G_{II}(\ell \cdot \Delta f)}, \quad (6)$$

где при длительности интервала анализа $\tau_{сегм}$ $N = \frac{\tau_{сегм}}{T}$ – число отсчетов в интервале

анализа; $\Delta f = \frac{F\partial}{N}$ – интервал дискретизации спектральной функции по частоте; $\ell_H = \frac{F_H}{\Delta f}$ –

номер частотного интервала для низкочастотного среза АЧХ F_H ; $\ell_B = \frac{F_B}{\Delta f}$ – номер частотного

интервала для высокочастотного среза F_B .

Изменением ℓ_H в выражении (6) отношения $P_c/P_{ак.пом.}$ получаем функцию изменения этого отношения на выходе фильтра прямоугольной формы в зависимости от ширины области подавления, которая находится в пределах от 0 до $F_H = \ell_H \cdot \Delta f$.

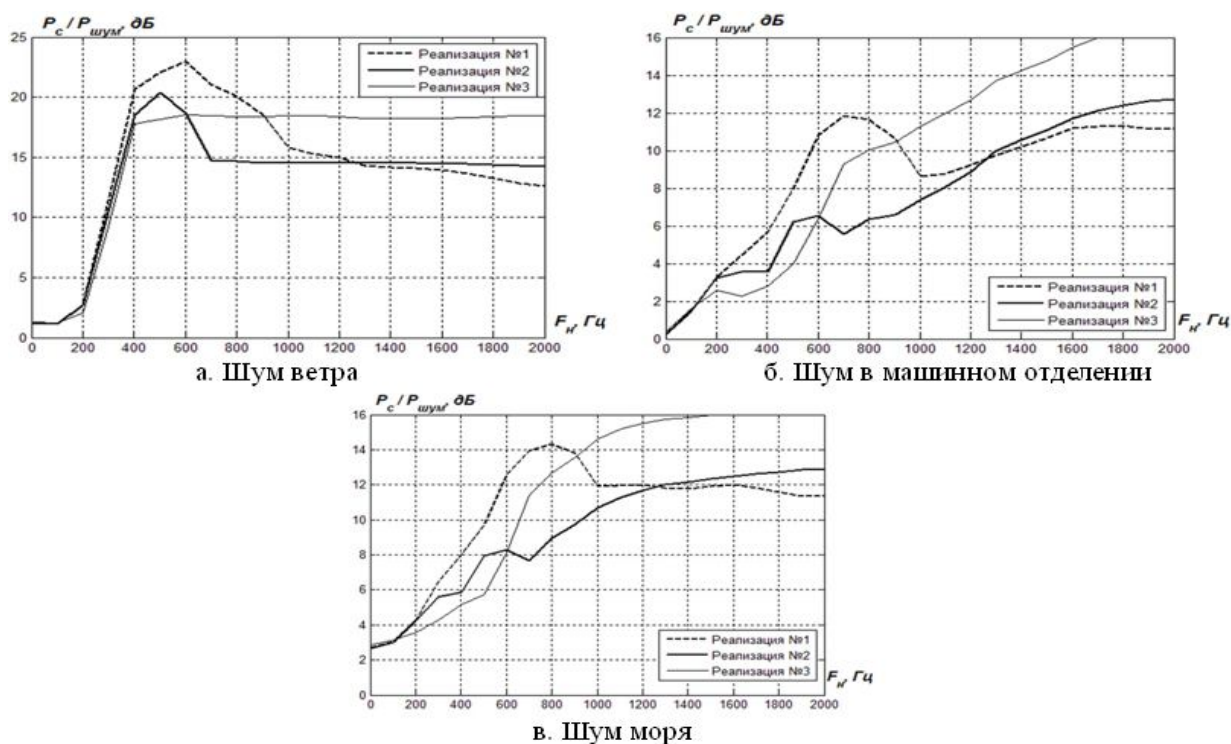


Рисунок 2 – Отношение $P_c/P_{ак.пом.}$ на выходе фильтра прямоугольной формы в зависимости от F_H

Полученные результаты исследований влияния изменения F_H на $P_c/P_{ак.пом.}$ при фиксированной $F_B = 6000$ Гц (рис. 2).

В исследованиях рассмотрены случаи для трех различных реализаций речевых сигналов относительно различных внешних шумовых помех.

Из графиков (рис. 2) видно, что внешние акустические помехи вида «шум ветра», если установить $F_H = 500$ Гц, подавляются на (17÷23) дБ. При воздействии акустической помехи

вида «шум в машинном отделении» и при $F_n = 700$ Гц, такой акустический шум подавляется до -12 дБ. При воздействии акустической помехи вида «шум моря» при $F_n = 800 \div 1000$ Гц данная помеха подавляется на (11÷15) дБ [2]. Полученные результаты исследований показывают, что методом линейной фильтрации можно обеспечить в системе телекоммуникаций обмена речевой информацией необходимое отношение $P_c./P_{ш.}$ и, соответственно, слоговую разборчивость $S \geq 93\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотов Ю.А., Кульков Я.Ю. Аппроксимация закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника, 2006. – № 11. – С. 63-66.
2. Кропотов Ю.А., Быков А.А. Проектирование помехозащищенных систем громкоговорящей связи: монография // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co/KG, Saarbrücken, Germany, 2011. – 151 с.
3. Кропотов Ю.А. Исследование вопросов повышения эффективности передачи информации речевым сигналом // Радиотехника, 2006. – № 11. – С. 66-67.
4. Кропотов Ю.А., Быков А.А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ, 2010. – № 1. – С. 60-64.
5. Кропотов Ю.А. Временной интервал определения закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника, 2006. – № 6. – С. 97-98.
6. Кропотов Ю.А., Быков А.А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2011. – № 2. – С. 61-65.

Кропотов Юрий Анатольевич

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроника и вычислительная техника»
Тел.: 8 (49234) 7-72-72
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

YU.A. KROPOTOV (*Candidate of Engineering Sciences, Professor, Head of Department « Electronics and Computer Facilities»*)
Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University named after Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom

INCREASE THE SIGNAL/EXTERNAL SPEAKER NOISE IN THE INFORMATION SPEECH EXCHANGE SYSTEM

In this paper we consider the acoustic characteristics of speech and acoustic noise, also considered their impact on the signal/noise ratio in speakerphone systems, researched the spectral features of speech signals and acoustic noise, makes recommendations to create acoustic noise suppression algorithms for linear filtering methods.

Keywords: *external acoustic noise; acoustic speech signal; modeling of linear filtering; speakerphone; signal/noise ratio.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kropotov Yu.A., Kul'kov Ya.Yu. Approssimaciya zakona raspredeleniya veroyatnosti amplitud rechevogo signala // Radiotexnika, 2006. – № 11. – S. 63-66.
 2. Kropotov Yu.A., By'kov A.A. Proektirovanie pomexozashhishhyonny'x sistem grmkogvryashhej svyazi: monografiya // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co/KG, Saarbrücken, Germany, 2011. – 151 s.
 3. Kropotov Yu.A. Issledovanie voprosov povy'sheniya effektivnosti peradachi informacii rechevy'm signalom // Radiotexnika, 2006. – № 11. – S. 66-67.
-

-
4. Kropotov Yu.A., By'kov A.A. Algoritm podavleniya akusticheskix shumov i sosredotchenny'x pomex s formantny'm raspredeleniem polos rezhekcii // Voprosy' radioelektroniki. Seriya OT, 2010. – № 1. – S. 60-64.
 5. Kropotov Yu.A. Vremennoj interval opredeleniya zakona raspredeleniya veroyatnosti amplitud rechevogo signala // Radiotexnika, 2006. – № 6. – S. 97-98.
 6. Kropotov Yu.A., By'kov A.A. Approksimaciya zakona raspredeleniya veroyatnosti otschyotov signalov akusticheskix pomex // Radiotexnicheskie i telekommunikacionny'e sistemy', 2011. – № 2. – S. 61-65.
-

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОТИВОБОРСТВА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

В статье на основе имитационного моделирования представлены процессы сбора информации из страниц социальных сетей и дано описание подсистемы запросов к хранимым данным на основе декларативного языка запросов.

Ключевые слова: социальные сети; имитационное моделирование; информационное управление; информационное противоборство.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемых данных. Одним из повсеместно используемых методов моделирования считается имитационное моделирование.

Под моделью принято понимать объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала [1]. Процесс замещения одного объекта другим и изучение последнего с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется моделированием.

В случае использования в качестве модели некоторого математического объекта, называемого математической моделью, применяют методы математического моделирования для изучения характеристик рассматриваемого реального объекта. Математическое моделирование для исследования характеристик процесса функционирования систем можно разделить на аналитическое, комбинированное и имитационное [1].

При аналитическом моделировании процессы функционирования элементов системы определяются заданными функциональными соотношениями (алгебраическими, интегро-дифференциальными, конечно-разностными и т.п.) или логическими условиями. Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование объединяет достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей производится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы; для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели.

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм отражает процесс функционирования некоторой системы во времени, причем воспроизводятся элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. В связи с этим на основании исходных данных возможно получение сведений о состояниях процесса в дискретные моменты времени.

В настоящее время имитационное моделирование – наиболее эффективный метод исследования больших систем, а часто и единственный доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Имитационное моделирование информационного влияния, управления и противоборства в социальных сетях должно обеспечивать:

- а) изменение структуры социальной сети;
 - б) моделирование процессов для их анализа;
 - в) возможность включать разработанные математические модели.
-

МОДЕЛЬ ДАННЫХ

Для достаточно полного и целостного представления социальной сети, необходимого для имитационного моделирования, структура системы включает следующие онтологии: базовая онтология социальной сети и онтология социально-сетевых сервисов. Базовая онтология социальной сети содержит описывающие социальную сеть и деятельность пользователей сети классы понятий с заданными на них семантическими отношениями: Агент, Доверие, Социальная сеть и др. Онтология социально-сетевых сервисов содержит понятия и отношения, используемые для описания конкретных социально-сетевых сервисов.

СБОР ИНФОРМАЦИИ

Онлайновая социальная сеть в контексте ресурсов Всемирной паутины (web-ресурсы) представляет собой совокупность взаимосвязанных персональных страниц пользователей. Для сбора требуемой информации разработан поисковый робот; схема процесса сбора информации представлена на рисунке 1. Пользователем задается начальное множество ссылок. Робот по ссылке из множества ссылок полностью скачивает выбранную страницу. Далее на основе описания данного социально- сетевого сервиса из онтологии описаний (ключевые слова в html-тэгах страницы, расположение ключевых слов во фрагментах текста) текстовое содержимое страницы анализируется, из нее извлекаются требуемые объекты и связи (например, пользователи и их активность, рейтинг, контакты и ссылки на контакты), соответствующие понятиям и отношениям базовой онтологии. Извлеченная информация помещается в хранилище. Затем из множества ссылок удаляется обработанная ссылка и в него добавляются ссылки на контакты, извлеченные из содержимого страницы. Робот по ссылке из множества закачивает страницу и продолжает свою работу, пока множество ссылок не пусто [2].

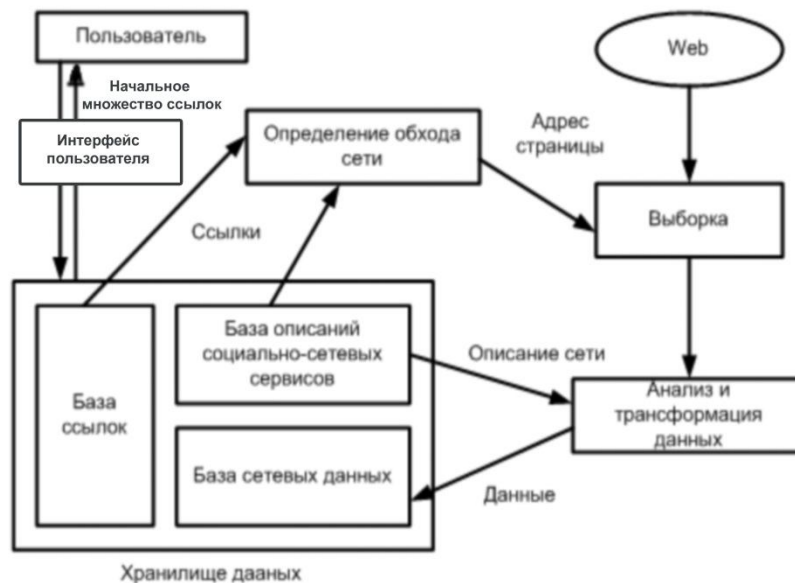


Рисунок 1 – Схема процесса сбора информации из страниц социальной сети

ЗАПРОСЫ К ХРАНИМЫМ ДАННЫМ

В связи с тем, что социальная сеть представляет собой граф, для анализа социальной сети используется специальный декларативный язык запросов, который:

- позволяет аналитикам выполнять семантический поиск и проводить многошаговый (итеративный) анализ на больших графах;
- легко интегрирует функции анализа графов в себя;
- использует онтологии для обогащения запросов.

Указанным требованиям удовлетворяет модифицированный декларативный язык запросов SPARQL, который реализует, к примеру, поиск всех пользователей в социальной сети, связанных прямо или косвенно с данным пользователем и т.п. Ключевыми элементами такого языка являются поддержка работы с путями в графе, поиск с использованием групповых символов, функции агрегирования (сумма, среднее, минимум, максимум), функции агрегирования множеств (объединение, пересечение, дополнение), поддержка пользовательских функций. Для работы с онтологиями используются функции библиотеки JENA [2].

Представленная на рисунке 2 схема процесса подсистемы запросов имеет следующее содержание: подсистема получает запрос в виде набора полей, переводит его на декларативный язык запросов, производит предварительную обработку запроса (анализируются конструкции, не свойственные языку SPARQL, производятся первичные вычисления и замена конструкций в запросе), передает запрос на выполнение и получает результаты, после чего они обрабатываются и представляются пользователю в виде текста, таблицы или графа.

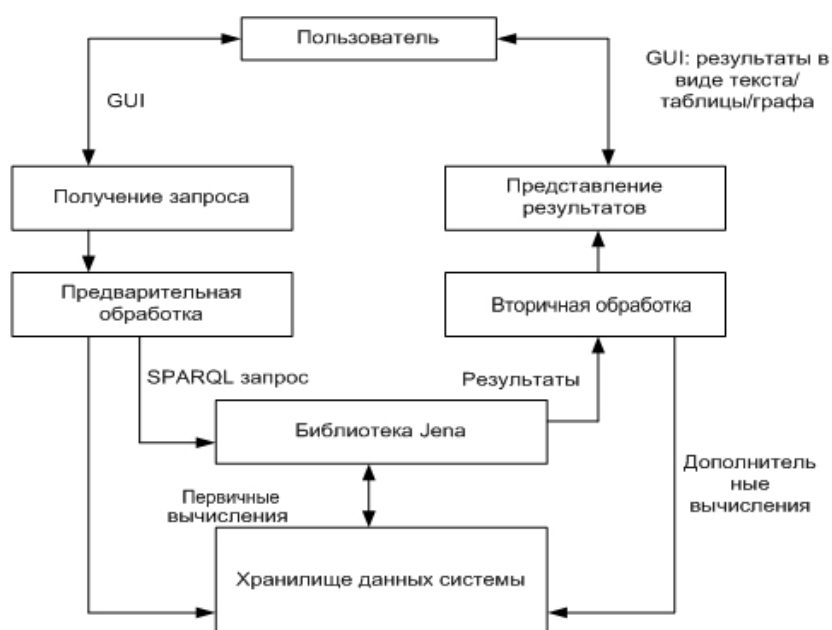


Рисунок 2 – Схема процесса подсистемы запросов

ИНТЕРАКТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Как известно, для того, чтобы получить представление о массивах неоднозначных и зачастую противоречивых данных, широко используются программные средства визуального представления информации. Для тех же целей разработана подсистема интерактивной визуализации. Такая подсистема используется для эффективного визуального представления (в виде графа) результатов запросов к данным социальных сетей, чтобы наглядно довести до пользователя информацию о структуре данных и помочь ему разобраться в их большом объеме.

ОПЕРАТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ

Оперативность управления в социальной сети – это способность быстро реагировать на изменение обстановки и внешнее воздействие в соответствии с целевым назначением.

Оперативность характеризует время реакции социальной сети на внешние воздействия и зависит от времени прохождения сигнала (команды) от управляющего органа (центра) к управляемому субъекту (агенту).

При наличии взаимоотношений центр-агент в социальной сети оперативность определяется как максимальное суммарное время реакции по всем ветвям связей от центра к агенту:

$$O = \max \{ \min \{ T(a_k, b_i) \} \},$$

где T – время реакции, a_k – центр, b_i – агент.

При отсутствии взаимоотношений центр-агент оперативность определяется как максимальное (из всех путей) суммарное время реакции между двумя наиболее удаленными вершинами, одна из которых имеет максимальную степень, а другая – минимальную. Если все степени вершины одинаковы, то предварительно следует удалить ребро с максимальным весом. После удаления ребра структура превращается в линейную. Центр задается в условии задачи номером вершины. При этом размещение центра может быть задано феноменологически, исходя из учета некоторой совокупности факторов (например, финансовые, энергетические или иные затраты на создание центра и его коммуникаций). Наиболее целесообразно размещать центр в той вершине графа, которая доставляет минимум параметру оперативности. С этой целью на графе исследуемой структуры строится дерево минимального веса, после чего отдельные вершины назначаются кандидатами на центр той из вершин, которая доставит минимум параметру оперативности, присваивается статус центра.

ПРИМЕР

Рассмотрим три этапа вычисления значения оперативности для кольцевой структуры, построенной на полном графе, представленном на рисунке 3. Вес ребер исходного графа задан матрицей. Первый этап сводится к решению задачи о коммивояжере. На втором этапе решения удаляется наиболее «тяжелое» ребро с весом 41, соединяющее вершины 4 и 6. На третьем этапе две вершины 1 и 2 выделяются в качестве конкурирующих кандидатов на центр. Вершина 1 наиболее удалена от периферийной вершины 4 на расстояние $73=28+31+14$, а вершина 2 удалена от вершины 6 на расстояние $90=28+22+40$. Следовательно, размещение центра в вершине 1 следует считать оптимальным, поскольку вершина 1 доставляет минимум параметру оперативности из двух максимумов 73 и 90 [3].

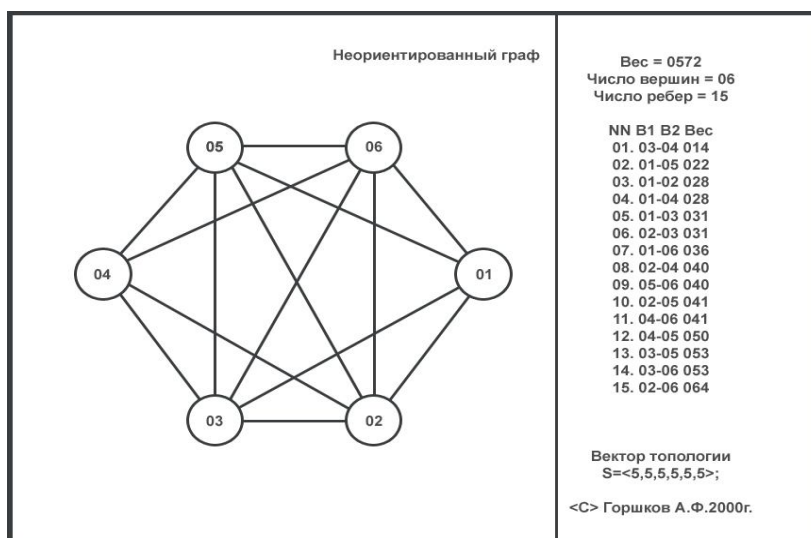


Рисунок 3 – Полносвязная организационная структура

Централизация – это возможность выдачи управляющих воздействий от центра к управляемому субъекту. Она определяется как сумма кратчайших расстояний между центром и управляемым субъектом, деленная на число последних. В структурах с одинаковыми степенями всех вершин графа предварительно удаляется ребро с наибольшим весом. Центр задается в условии задачи номером вершины.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n L(a_k, b_i)_i}{n_i},$$

где L – кратчайшее расстояние между центром и управляемым субъектом; n – число управляемых субъектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имитационное моделирование в социальных сетях базируется на онтологиях социальных сетей и социально-сетевых сервисов. Обход агентов в такой сети осуществим при помощи поискового робота, а анализ самой сети реализуется посредством декларативного языка запросов. Визуальное представление информации достигается путем применения средств подсистемы интерактивной визуализации.

К числу основных достоинств метода имитационного моделирования при исследовании сложных систем можно отнести следующие:

- особенности процесса функционирования системы могут быть исследованы в любых условиях;
- продолжительность испытаний заметно сокращается за счет применения ЭВМ по сравнению с натурным экспериментом;
- имитационная модель позволяет включать результаты натуральных испытаний реальной системы или ее частей для проведения дальнейших исследований;
- имитационной модели присуща гибкость варьирования структуры, алгоритмов и параметров моделируемой системы, что позволяет осуществить поиск оптимального варианта системы.

Основным недостатком, проявляющимся при машинной реализации метода имитационного моделирования, является то, что решение, полученное при анализе имитационной модели, всегда носит частный характер, так как оно соответствует фиксированным элементам структуры, алгоритмам поведения и значениям параметров системы, начальных условий и воздействий внешней среды. Поэтому для полного анализа характеристик процесса функционирования социальных сетей, а не получения только отдельной точки, приходится многократно воспроизводить имитационный эксперимент, варьируя исходные данные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для ВУЗов. – М.: Высш. шк., 1985. – 271 с.: ил.
2. Губанов Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили // РАН. Ин-т проблем управления. – 2-е изд., стер. – М.: Физматлит: Изд-во МЦНМО, 2010. – 226 с.
3. Компьютерное моделирование менеджмента: учеб. пособие для ВУЗов / А.Ф. Горшков, Б.В. Евтеев, В.А. Коршунов и др.; под общ. ред. Н.П. Тихомирова. – М.: Экзамен, 2004. – 526 с.

Белякова Дарья Эдуардовна

ФГБОУ ВПО Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Студент кафедры «Информационные системы»
Тел.: 8 953 618 06 14
E-mail: d.e.belyakova@gmail.com

Еременко Ирина Александровна

ФГБОУ ВПО Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»
Тел.: 8 920 812 65 64

D.E. BELYAKOVA (*Student of the Department «Information Systems»*)

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

MODELING OF CONTROL AND CONFRONTATION IN SOCIAL NETWORKS

In the article the processes of information collection out of the social networks pages are performed and the description of the query subsystem to the stored data on basis of declarative query language is given

Keywords: *social networks; imitating modeling; information control; information confrontation.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. Modelirovanie sistem: uchebnik dlya VUZov. – M.: Vy'ssh. shk., 1985. – 271 s.: il.
2. Gubanov D.A. Social'ny'e seti: modeli informacionnogo vliyaniya, upravleniya i protivborstva / D.A. Gubanov, D.A. Novikov, A.G. Chxartishvili // RAN. In-t problem upravleniya. – 2-e izd., ster. – M.: Fizmatlit: Izd-vo MCNMO, 2010. – 226 s.
3. Komp'yuternoe modelirvanie menedzhmenta: ucheb. posobie dlya VUZov / A.F. Gorshkov, B.V. Evteev, V.A. Korshunov i dr.; pod obshh. red. N.P. Tixomirova. – M.: E'kzamen, 2004. – 526 s.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ

Предлагается способ оценки параметров криптографических ключей на примере криптоалгоритма ГОСТ 28147–89.

Ключевые слова: криптографический ключ; оценка параметров ключей; критерий пиков; критерий серий.

За последние 2 десятилетия появилось большое количество публикаций, периодических и непериодических изданий по проблемам безопасности компьютерной информации, в том числе, и по криптографической защите информации [1, 2]. В них приводятся достаточно полные описания криптографических алгоритмов, по которым несложно выполнить алгоритмизацию и написать текст программы, реализующей тот или иной алгоритм. Между тем, согласно принципам построения симметричных криптосистем, предложенным основоположником теории современных симметричных криптосистем А. Крехгоффом [3], стойкость криптосистемы должна определяться исключительно стойкостью ключа. И если процедуры генерации ключей рассматриваются в современной литературе по криптографии, то процедурам оценки параметров ключа должного внимания не уделяется. Скорее всего, это связано с тем, что ключевая информация является весьма секретной информацией и приводит значения ключей для оценки их свойств не представляется возможным. Тем не менее, в ряде случаев, например, в процессе обучения студентов, имеет смысл генерировать ключи с последующей оценкой их параметров, т.к. в этом случае не требуется обеспечивать конфиденциальность информации.

Что же представляет собой криптографический ключ для симметричной криптосистемы, например, для криптосистемы ГОСТ 28147–89 [1], с точки зрения теории обработки информации? В данном случае ключ представляет собой последовательность из 256 бит, каждый из которых, как известно, может принимать 2 значения: 0 и 1. Для других симметричных криптосистем длина ключа отличается от значения 256 бит, но это не столь важно. Важно, что значения битов должны иметь случайный характер в пределах всего ключа.

Известно [1], что для получения распределения, сколь угодно близкого к случайному, используются аппаратные генераторы случайных чисел. Флуктуационные процессы в полупроводниках («белый шум»), используемые для определения значения текущего бита ключа в этих генераторах, могут считаться случайными, однако стоимость таких устройств весьма велика [4]. Однако далее выполняется процесс квантования по уровню и по времени, что вносит в процесс генерации ключа элементы детерминированности, поэтому ключи, полученные таким способом, все равно следует проверять на случайность.

Программные генераторы случайных чисел вряд ли могут считаться истинными генераторами случайных, так как несмотря на элемент случайности вносимый перемешиванием и взбиванием при использовании симметричных криптосистем [1], генерация все равно выполняется по какому-либо алгоритму. Поэтому ключи, генерируемые программными генераторами случайных (а точнее, псевдослучайных чисел), следует обязательно проверять на случайность.

Теория оценки параметров дискретных случайных величин известно давно и достаточно хорошо изучена [5]. Основная проблема при оценке случайности значений битов криптографических ключей заключается в том, что приходится оценивать не сами значения битов (а их всего 2 – 0 и 1), а последовательности (цепочки) битов. В данной статье предлагается способ оценки значений криптографических ключей на предмет случайности. В

связи с тем, что примеры криптографических ключей могут представлять собой конфиденциальную информацию, в данной статье примеры криптографических ключей не приводятся.

Математическая модель данного вопроса выглядит следующим образом. Имеется набор из $n = 256$ нулей и единиц. Этот набор представляет собой выборку из генеральной совокупности, имеющей дискретное распределение с двумя значениями – $x_1 = 0$ и $x_2 = 1$ и соответствующими вероятностями – $p_1 = p_2 = 0,5$. Математическое ожидание данной случайной величины равно 0,5.

Для решения вопроса о случайности данной выборки предлагается выполнить от одного до трех этапов с последовательной проверкой выполнения трех условий.

На первом этапе необходимо установить, значимо или не отличается относительная частота появления нулей (единиц) в данной выборке от теоретического значения вероятности появления единицы (нуля), равной 0,5. Другими словами, нужно проверить, является ли количество нулей и единиц в выборке примерно равным. Если нет, то значимо ли отклонение в ту или иную сторону. В качестве уровня значимости здесь и в дальнейшем достаточно выбрать $\alpha = 0,05$. Этот этап, конечно, не дает ответа на вопрос о случайности выборки. Здесь не учитывается взаимное расположение нулей и единиц, а сравнивается только их количество. Но в случае значимого отклонения относительной частоты от 0,5, можно утверждать, что выборка не является случайной. Положительным для дальнейшего исследования является незначимое отклонение.

Рассмотрим случай, когда будет оцениваться частота появления единиц. Вычисляется наблюдаемое значение по формуле [6]:

$$x_{\text{набл}} = \frac{\left(\frac{m}{n} - p_0\right) \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{p_0 \cdot q_0}}, \quad (1)$$

где m – количество единиц в ключе (определяется для конкретного ключа); n – общее количество единиц и нулей в ключе; $n = 256$; p_0 – гипотетическая вероятность появления единицы; $p_0 = 0,5$; q_0 – гипотетическая вероятность появления нуля; $q_0 = 1 - p_0 = 0,5$.

По таблице функции Лапласа находится критическая точка $x_{\text{кр}}$, значение функции Лапласа для которой будет равно значению $0,5 \cdot (1 - \alpha)$, где уровень значимости α в данном случае равен 0,05.

Далее выполняется сравнение наблюдаемого значения $x_{\text{набл}}$, рассчитанного по формуле (1), и критического значения $x_{\text{кр}}$. Если $|x_{\text{набл}}| < x_{\text{кр}}$, то следует перейти ко второму и третьему этапу. Если $|x_{\text{набл}}| \geq x_{\text{кр}}$, то ключевая последовательность не является случайной, т.е. данный ключ не рекомендуется использовать.

На втором этапе предлагается использовать критерий пиков или критерий поворотных точек, на основе которого можно проверить, не слишком ли часто (или редко) в последовательности возникают изолированные нули или единицы [7]. Этот этап позволяет исключить из рассмотрения выборки, имеющие вид «гребенки», или наоборот, содержащие только наборы групп нулей и единиц.

При использовании критерия пиков для проверки качества криптографических ключей точкой поворота ε_i будем называть i -й бит в ключевой последовательности, для которого выполняются соотношения:

$$\varepsilon_{i-1} < \varepsilon_i > \varepsilon_{i+1} \quad (2)$$

или

$$\varepsilon_{i-1} > \varepsilon_i < \varepsilon_{i+1}, \quad (3)$$

причем i принимает значения от 2 до 255.

Обозначим через p общее число полученных поворотных точек, определенное из соотношений (2) и (3).

Например, в последовательности 01101011 имеются 3 точки поворота, а в последовательности 0110111 – одна точка поворота.

Математическое ожидание числа точек поворота \bar{M} определяется по формуле:

$$\bar{M} = \frac{2}{3}(n-2), \quad (4)$$

где n – общее количество единиц и нулей в ключе; $n = 256$.

Подставив значение в (4), для $n = 256$ получаем, что $\bar{M} = 169,333$.

Дисперсия числа точек поворота σ^2 определяется по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{16 \cdot n - 29}{90}, \quad (5)$$

где n – общее количество единиц и нулей в ключе; $n = 256$.

Подставив значение в (5), для $n = 256$ получаем, что $\sigma^2 = 45,188$.

Определяем критическое значение числа точек поворота $p_{кр}$ при уровне значимости α , равном 0,05, по формуле:

$$p_{кр} = \bar{M} - 1,96 \cdot \sqrt{\sigma^2}. \quad (6)$$

Полученное при расчете значение округляется до целого числа.

Подставив значения в (6), для $n = 256$ получаем, что $p_{кр} = 156$.

Далее проверяется соотношение

$$p < p_{кр}. \quad (7)$$

Если соотношение (7) выполняется, то результат этапа положительный.

На третьем этапе проверки будет использоваться критерий серий [7]. При использовании этого критерия отсекаются выборки, содержащие большое количество слишком длинных (или слишком коротких) наборов последовательных нулей и единиц.

Второй и третий этапы могут осуществляться независимо друг от друга в любой последовательности.

При использовании критерия серий для оценки качества криптографических ключей выделяются последовательности из следующих подряд друг за другом нулей или единиц (серии) и определяется их общее число v . Протяженность самой длинной серии (максимальное количество нулей или единиц) обозначим как K_{\max} . Для того, чтобы ключевая последовательность была случайной выборкой, протяженность самой длинной серии не должна быть слишком большой, а общее число серий – слишком малым.

Определяем критическое значение числа нулей (единиц) в самой длинной серии $K_{кр}$ при уровне значимости α , равном 0,05, по формуле:

$$K_{кр} = 3,3 \cdot (\lg n + 1), \quad (8)$$

где n – общее количество единиц и нулей в ключе; $n = 256$.

Полученное при расчете значение округляется до целого числа. Подставив значения в (8), для $n = 256$ получаем, что $K_{кр} = 11$.

Определяем критическое значение общего числа серий $v_{кр}$ при уровне значимости α , равном 0,05, по формуле:

$$v_{кр} = 0,5 \cdot (n + 1 - 1,96\sqrt{n-1}), \quad (9)$$

где n – общее количество единиц и нулей в ключе; $n = 256$.

Полученное при расчете значение округляется до целого числа. Подставив значения в (9), для $n = 256$ получаем, что $v_{кр} = 112$.

Выборка признается случайной, а результат выполнения этапа – положительным, если для 5-процентного уровня значимости α выполняются следующие неравенства:

$$K_{\max} \leq K_{кр} \quad (10)$$

$$v \geq v_{кр} \quad (11)$$

Если хотя бы одно из этих неравенств (10) и (11) нарушается, то результат этапа признается отрицательным.

Выборку можно считать независимой, т.е. ключ можно использовать, если на всех трех этапах проверки получен положительный результат. Если на первом этапе ответ отрицательный, то выборка, безусловно, неслучайная, и ключ использовать не рекомендуется. При отрицательном результате только на одном из двух последних этапов выборку можно признать как случайной, так и неслучайной. При принятии решения основную роль в этой ситуации будет, скорее всего, играть степень секретности данного ключа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях / под ред. В.Ф. Шаньгина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2001. – 376 с.: ил.
2. Шаньгин В.Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учеб. пособие. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2008. – 416 с.: ил.
3. Auguste Kerckhoffs (Аугуст Керхгофф – биография) [Электронный ресурс]. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Auguste_Kerckhoffs (дата обращения: 10.06.2012).
4. Шифрование файлов и папок. Сайт фирмы «Анкад» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ancud.ru/catalog-encr.html> (дата обращения: 20.07.2012).
5. Елисеева И.И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики: учебник / под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.: ил.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для ВУЗов. – 7-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2001. – 479 с.: ил.
7. Экономико-математические методы и прикладные модели: учеб. пособие для ВУЗов / В.В. Федосеев, А.Н. Гармаш, Д.М. Дайитбегов и др.; под ред. В.В. Федосеева. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.

Гусаров Александр Вячеславович

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительные системы»
Тел.: (4855) 21-97-16
E-mail: alvgus@mail.ru

Гусаров Надежда Ивановна

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика»
Тел.: (4855) 21-34-48
E-mail: gusarova-73@mail.ru

A. V. GUSAROV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department «Computer Systems»*)

N.I. GUSAROVA (*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department «Higher Mathematics»*)
Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk

ABOUT ONE WAY OF CRYPTOGRAPHIC KEYS PARAMETERS EVALUATION

A method for estimating parameters of cryptographic keys for GOST 28147–89 crypto-algorithm.

Keywords: *cryptographic key; key parameter estimation; peaks criterion; series criterion.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Romanecz Yu.V., Timofeev P.A., Shan'gin V.F. Zashhita informacii v komp'yuterny'x sistemax i setyax / pod red. V.F. Shan'gina. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Radio i svyaz', 2001. – 376 s.: il.
 2. Shan'gin V.F. Informacionnaya bezopasnost' komp'yuterny'x sistem i setej: ucheb. posobie. – M.: ID «Forum»: INFRA-M, 2008. – 416 s.: il.
 3. Auguste Kerckhoffs (August Kerxgoff – biografiya) [E'lektronny'j resurs] – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Auguste_Kerckhoffs (data obrashheniya: 10.06.2012).
 4. Shifrovanie fajlov i papok. Sajt firmy' «Ankad». [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.ancud.ru/catalog-encr.html> (data obrashheniya: 20.07.2012).
 5. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. Obshaya teoriya statistik: ucheb. posobie / pod red. I.I. Eliseevoj. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Finansy' i statistika, 2004. – 656 s.: il.
 6. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: ucheb. posobie dlya VUZov. – 7-e izd., ster. – M.: Vy'sshaya shkola, 2001. – 479 s.: il.
 7. E'konomiko-matematicheskie metody' i prikladny'e modeli: ucheb. posobie dlya VUZov / V.V. Fedoseev, A.N. Garmash, D.M. Dajitbegov i dr.; pod red. V.V. Fedoseeva. – M.: YuNITI, 1999. – 391 c.
-

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ОТ УТЕЧКИ ПО АКУСТИЧЕСКИМ И ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

В данной статье авторами освещается проблема оценки защищенности речевого сигнала, циркулирующего в защищаемом помещении, от утечки по акустическим и виброакустическим каналам. Также представлены критерии защищенности речевого сигнала и способы защиты речевой информации.

Ключевые слова: речевой сигнал; акустические и виброакустические каналы; защита речевой информации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с резким повышением интереса к проблемам информационной безопасности, возникает необходимость правильной оценки защищенности информации.

На сегодняшний день существует множество технических каналов утечки информации, разновидностью которых являются каналы утечки речевой информации, подразделяющиеся на воздушные, вибрационные, акустоэлектрические, параметрические и другие.

Для руководства организаций, особое значение занимает безопасность конфиденциальных разговоров в кабинете. Для этого проводится специсследование помещения. Одной из основных частей этой работы является оценка защищенности информации от утечки по акустическим и виброакустическим каналам.

Защита речевой информации от утечки по акустическим и виброакустическим каналам – это комплекс организационных, организационно-технических и технических мероприятий, исключающих или ослабляющих бесконтрольный выход конфиденциальной информации за пределы контролируемой зоны. Для исключения утечки конфиденциальной информации из категорированного помещения необходимо произвести оценку ее защищенности.

Оценка защищенности воздушного и вибрационного каналов основывается на инструментально-расчетном способе определения отношений «речевой сигнал/акустический (вибрационный) шум» (далее «сигнал/шум») в контрольных точках в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц с последующим сравнением полученных отношений «сигнал/шум» с нормированными значениями или с последующим пересчетом полученных значений «сигнал/шум» в числовую величину словесной или формантной разборчивости речи и сравнения ее с нормированным значением.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Для проведения инструментального контроля с использованием аппаратуры общего применения должны быть сформированы передающий и приемный измерительные комплексы.

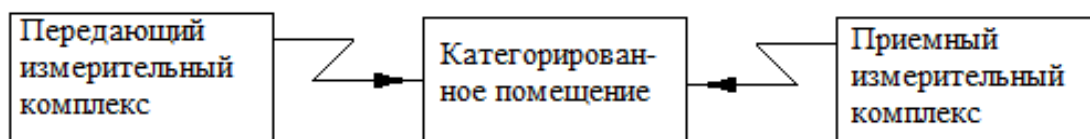


Рисунок 1 – Структура методики измерений параметров каналов утечки речевой информации

Передающий и приемный измерительные комплексы должны содержать:

- генератор шума;
- усилитель мощности;
- акустический излучатель;
- измерительный микрофон;
- шумомер;
- полосовые октавные фильтры со среднегеометрическими частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

В качестве тестового (контрольного) сигнала рекомендуется использовать акустический шумовой сигнал с нормальным распределением плотности вероятности мгновенных значений в пределах каждой октавной полосы частот. В зависимости от технических возможностей используемых генераторов шума контрольный сигнал может излучаться одновременно во всех октавных полосах или последовательно в каждой отдельно взятой полосе. С целью сокращения времени на проведение контроля рекомендуется использовать тестовый (контрольный) сигнал, излучаемый одновременно во всех октавных полосах.

Допускается также использование гармонических (тональных сигналов) со среднегеометрическими частотами октавных полос. В этом случае в контрольной точке необходимо провести не менее трех измерений на частотах $f_{срi} \pm \Delta f$, где $f_{срi}$ – среднегеометрическая частота i -октавной полосы; Δf – частотная поправка, равная 10-15% от $f_{срi}$.

При настройке и оценке системы эффективность работы в значительной степени зависит от числа и размещения контрольных точек (К.Т.) в конкретном выделенном помещении. Измерения в КТ для настройки системы выполняются в соответствии с методикой НМД АРР. Контрольные точки можно разделить на группы: размещаемые на окнах, дверях и стенах. На рисунке 2 представлено выделенное помещение, которое необходимо оценить на предмет утечки акустической информации.

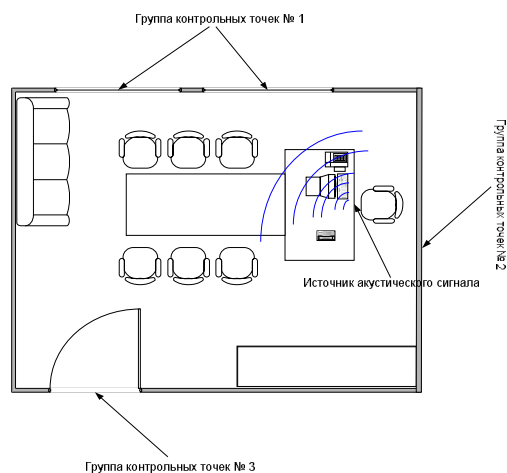


Рисунок 2 – Выбор групп контрольных точек в выделенном помещении

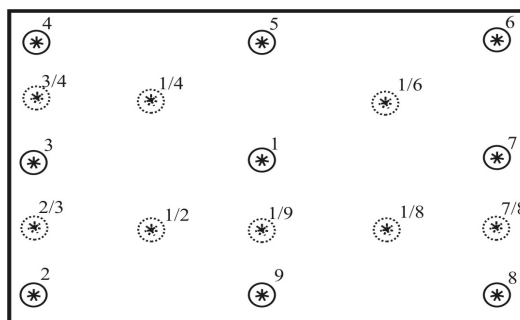


Рисунок 3 – Рекомендуемое распределение контрольных точек на стекле и их типовая нумерация

Общие рекомендации при выборе КТ на остеклении окон (группа контрольных точек № 1) представлены на рисунке 3.

В соответствии со схемой приведённой на рисунке 3, первое изменение и расчёт параметра защищённости выполняется в КТ1. Далее выполняются измерения в КТ по порядку возрастания номеров, не исключая тех, которые размещаются в непосредственной близости от преобразователей.

Далее приведены общие рекомендации при выборе контрольных точек для дверных проёмов (группа контрольных точек № 2). Контрольные точки при настройке системы рекомендуется выбирать в зависимости от конструкции и размеров дверного проёма. При одностворчатой конструкции и верхнем расположении акустического излучателя достаточно одной К.Т. по центру двери в 0,5 м от её полотна. В случае наличия щели между полом и полотном двери необходимо произвести измерения в двух К.Т. на высоте 1,5 и 0,5 м от уровня пола.

Для двухстворчатого проёма рекомендуется настраивать акустические преобразователи системы в трёх К.Т. – по центру проёма и напротив левого и правого обрезов дверной коробки. В случае наличия щели число К.Т. возрастает до шести.

Общие рекомендации при настройке защиты ограждающих конструкций. Контрольные точки на ограждающих конструкциях для настройки системы (по вибрационному каналу) рекомендуется размещать на максимальном удалении от вибровозбудителей и в местах известных неоднородностей конструкции (трещины, изменения толщины, переходы от материала к материалу и т.д.).

Общее число К.Т. должно составлять в среднем не менее 2-3 на 5 погонных метров конструкции (при условии её однородности).

При переходах от материала к материалу необходимо в обязательном порядке размещать К.Т. по обе стороны перехода в 10-15 см от границы раздела с шагом порядка 1 м.

По акустическому каналу ограждающие конструкции (стены, перегородки, полы, потолки) для настройки акустических излучателей контролируются на максимальном удалении от них и в районе известных неоднородностей (трещины, щели, проёмы, заглушенные двери, встроенные шкафы и т.д.). Рекомендованный шаг расположения К.Т. вдоль конструкции – не более 2-3 м.

Расчет параметров защищенности речевого сигнала.

Дано: L_{sh} , дБ – уровень звукового давления шума;

L_{a_sh} , дБ – уровень звукового давления сигнал+шум;

F , кГц – октавная частота;

L_{ozvN} , дБ – норма озвучивания помещения;

L_{ozv} , дБ – калибровочный (реальный) уровень озвучивания помещения;

A , дБ – формантный параметр речевого спектра;

k – весовой коэффициент октавной полосы.

Найти: E -октавное соотношение сигнал/шум;

W – словесная разборчивость;

Y – формантная разборчивость.

Для уровней сигнал+шум в каждой октавной полосе:

$$L_a = (L_{a1}, L_{a2}, L_{a3}, L_{a4}, L_{a5}, L_{a6}).$$

Аналогично для уровня шума в каждой октавной полосе:

$$L_{sh} = (L_{sh1}, L_{sh2}, L_{sh3}, L_{sh4}, L_{sh5}, L_{sh6}).$$

В качестве исходных данных присутствуют результаты озвучивания помещения, которые включают в себя октавную частоту (F , кГц), норму озвучивания (L_{ozvN} , дБ) и калибровочный (реальный) уровень озвучивания (L_{ozv} , дБ).

$$F=(0.25,0.5,1,2,4,8);$$

$$L_{ozvN}=(66,66,61,56,53,50);$$

$$L_{ozv}=(86,86,81,76,73,70).$$

Далее необходимо найти учет поправки уровня озвучивания (Δl) для каждой октавной полосы:

$$\Delta l = L_{ozv} - L_{ozvN}.$$

После этого производится расчет уровней акустического сигнала L_c . Все расчеты проводятся для значений в каждой октавной полосе.

$$\begin{aligned} L_c &= L_{a_sh} - 0, & \text{если} & \quad L_{a_sh} - L_a > 10, \\ L_c &= L_{a_sh} - 1, & \text{если} & \quad 6 \leq L_{a_sh} - L_a \leq 10, \\ L_c &= L_{a_sh} - 2, & \text{если} & \quad 4 \leq L_{a_sh} - L_a < 6, \\ L_c &= L_{a_sh} - 3, & \text{если} & \quad 3 \leq L_{a_sh} - L_a < 4, \\ L_c &= L_{a_sh} - 4, & \text{если} & \quad 2 \leq L_{a_sh} - L_a < 3, \\ L_c &= L_{a_sh} - 7, & \text{если} & \quad 1 \leq L_{a_sh} - L_a < 2, \\ L_c &= 10 \cdot \log(10^{0.1(L_{a_sh}+0.1)} - 10^{0.1L_{sh}}). \end{aligned}$$

После нахождения уровней акустического сигнала производится расчет октавного соотношения сигнал/шум (с учетом реальных уровней озвучивания):

$$E = L_c - L_{sh} - \Delta l.$$

Вспомогательными данными являются формантный параметр речевого спектра в октавной полосе (A , дБ) и весовой коэффициент октавной полосы частот (k).

$$A = (18, 14, 9, 6, 5, 3);$$

$$k = (0.03, 0.12, 0.2, 0.3, 0.26, 0.05).$$

Далее формируем матрицу z :

$$z = 0 \text{ если } E \geq A;$$

$$z = 1 \text{ если } E < A.$$

После этого необходимо найти октавный индекс артикуляции речи (r):

$$r = k \cdot \left[z - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp(-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E - A|)^2)}{1 + 10^{0.1|E - A|}} \right].$$

Затем интегральный индекс артикуляции речи (R):

$$R = \sum r.$$

Завершающим этапом необходимо определить словесную разборчивость речи (показатель противодействия акустической речевой разведке):

$$W = 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot (1 - \exp(-11 \cdot R)), \quad \text{если} \quad R < 0.15,$$

$$W = 1 - \exp\left(\frac{-11 \cdot R}{1 + 0.7 \cdot R}\right).$$

Перевод в формантную разборчивость (Y) производится в соответствие с матрицей перевода:

$$Y := \begin{pmatrix} 6 & 13 & 20 & 26 & 32 & 38 & 43 & 48 & 52 & 56 & 60 & 63 & 67 & 70 & 72 & 75 & 77 & 79 & 81 & 83 & 84 & 86 & 87 & 88 & 89 & 90 & 91 & 92 & 92.5 & 93 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 29 & 30 \end{pmatrix},$$

где верхняя строчка – это словесная разборчивость (W), а нижняя – формантная разборчивость (Y).

В результате проведения измерений формантной разборчивости возникает возможность определить степень защищенности речевого сигнала от утечки по акустическим и виброакустическим каналам.

Контрольный пример.

Дано: 1. $\Delta l = 81 - 61 = 20$ [дБ];

$L_a = 35$ дБ. 2. $L_c = 40 - 2 = 38$ [дБ];

$L_{a_sh} = 40$ дБ 3. $E = 38 - 35 - 20 = -17$ [дБ];

-
- $F=1\text{кГц}$. 4. $r = 0,2 \cdot \left| 0 - 0,78 + 5,46 \exp(-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |-17-9|)^2) / 1 + 10^{0,1 \cdot |-17-9|} \right|$;
- Найти: $r = 0,003$;
- $Y, \%$ 5. $R = 0,003$;
6. $W = 1,54 \cdot 0,003^{0,25} \cdot (1 - \exp(-11 \cdot 0,003)) = 0,01 \cdot 100 = 1\%$;
7. $Y = 0,833$;
8. $0,833 <, > Y_n$;

Примечание: расчет проводился только в одной октавной полосе $F = 1\text{кГц}$.

КРИТЕРИИ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Практический опыт показывает, что составление подробной справки о содержании перехваченного разговора невозможно при словесной разборчивости менее 60-70%, а краткой справки-аннотации – при словесной разборчивости менее 40-50%. При словесной разборчивости менее 20-30% (формантной 3-5%) значительно затруднено установление даже предмета ведущегося разговора, а при словесной разборчивости менее 10% (формантной 1,8%) это практически невозможно даже при использовании современной техники фильтрации помех.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Пассивные методы защиты направлены на уменьшения (ослабления) уровня речевого сигнала.

Активные методы защиты заключаются в создании маскирующих акустических и вибрационных помех средствами разведки, то есть использованием виброакустической маскировки информационных сигналов.

Пассивные. Звукоизоляция:

- использование специальных звукопоглощающих материалов;
- установка на расстоянии в 6-10 см от стен и перегородок помещений однослойных и многослойных ограждений;
- установка виброизолирующих опор;
- звукоизоляция отверстий и проемов в перекрытиях;
- звукоизоляция окон;
- оборудование входа в помещение звукоизолирующим тамбуром;
- звукоизоляция вентиляционных систем.

Активные. Зашумление:

- применение генераторов «белого» шума;
- применение генераторов «розового» шума;
- применение генераторов шумовой «речеподобной» помехи.

Приведенная методика оценки защищенности речевого сигнала от утечки по акустическим и виброакустическим каналам дает возможность выбрать контрольные точки, рассчитать значения разборчивости речи, классифицировать помещение по уровню защищенности и выбрать средства и методы противодействия акустической и виброакустической разведке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие / В.К. Железняк. – СПб: ГУАП, 2006. – 188 с.
 2. Технические средства и методы защиты информации: учебник для ВУЗов / Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мещеряков Р.В. и др. / под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2009. – 508 с.
-

-
3. Система постановки виброакустических и акустических помех «Шорох 3». Техническое описание и инструкция по эксплуатации МСШЕ 42-7700-296-2613-8 ТО и ИЭ. – Москва, 2008.
 4. ГОСТ Р 50840-95. Государственный стандарт Российской Федерации. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. Издание официальное. – М.: Госстандарт России, 1997.
 5. Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации. – М.: Специальная техника, 2000. – № 4.
 6. Кученков Е.Б., Музалев Е.А. Экспериментальная оценка акустической защищенности исследуемых помещений. – М.: Вопросы защиты информации, 1999. – № 3.
 7. Хорев А.А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. – М.: Гостехкомиссия РФ, 1998. – 320 с.

Комашинский Владимир Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, сотрудник
Тел.: 8 920 082 93 93

Сазонов Георгий Михайлович

Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник

V.V. KOMASHINSKIY (*Candidate of Engineering Sciences, Employee*)

G.M. SAZONOV (*Employee*)

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

**METHODS OF SECURITY ASSESSMENT OF THE SPEECH SIGNAL FROM THE
LEAKAGE THROUGH ACOUSTIC AND VIBROACOUSTIC CHANNELS**

In this article, the authors revealed the problem of security assessment of the speech signal circulating in the space to be protected from leakage via acoustic and vibroacoustic channels. The same criteria are protected speech and how to protect voice communications.

Keywords: *speech signal; acoustic and vibration and acoustic channels; the protection of voice communications.*

BIBLIOGRAPHY (TRASLITERATED)

1. Zashhita informacii ot utechki po texnicheskim kanalam: uchebnoe posobie / V.K. Zheleznyak. – SPb.: GUAP, 2006. – 188 s.
 2. Texnicheskie sredstva i metody' zashhity' informacii: uchebnyk dlya VUZov / Zajcev A.P., Shelupanov A.A., Meshcheryakov R.V. i dr. / pod red. A.P. Zajceva i A.A. Shelupanova. – M.: OOO «Izdatel'stvo Mashinostroenie», 2009. – 508 s.
 3. Sistema postanovki vibroakusticheskix i akusticheskix pomex «Shorox 3». Texnicheskoe opisaniye i instrukciya po e'kspluatacii MSShE 42-7700-296-2613-8 TO i IE'. – Moskva, 2008.
 4. GOST R 50840-95. Gosudarstvenny'j standart Rossijskoj Federacii. Peredacha rechi po traktam svyazi. Metody' ocenki kachestva, razborchivosti i uznavaemosti. Izdaniye oficial'noe. – M.: Gosstandart Rossii, 1997.
 5. Zheleznyak V.K., Makarov Yu.K., Xorev A.A. Nekotory'e metodicheskie podhody' k ocenke e'ffektivnosti zashhity' rechevoj informacii. – M.: Special'naya texnika, 2000. – № 4.
 6. Kuchenkov E.B., Muzalev E.A. E'ksperimental'naya ocenka akusticheskoy zashhishhyonnosti issleduemy'x pomeshenij. – M.: Voprosy' zashhity' informacii, 1999. – № 3.
 7. Xorev A.A. Zashhita informacii ot utechki po texnicheskim kanalam. Chast' 1. Texnicheskie kanaly' utechki informacii. – M.: Gostexkomissiya RF, 1998. – 320 s.
-

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В данной статье авторы освещают разработку автоматизированного поста телекоммуникационной системы газового контроля, предназначенного для сбора данных о концентрациях токсичных и взрывоопасных веществ в составе воздушной среды на промышленных и коммунальных объектах с замкнутым пространством и вероятностью загазованности. Разработан комбинированный алгоритм прогнозирования значений концентраций с применением искусственных нейронных сетей и вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: телекоммуникационная система; модуль сбора данных; беспроводная связь; искусственная нейронная сеть; временной ряд; прогнозирование значений ряда.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы обеспечения безопасных условий работы персонала в промышленности, коммунальных сетях, на объектах с замкнутым пространством, с имеющейся вероятностью выделения и накопления токсичных и взрывоопасных газообразных веществ (колодцы, шахты и др.) являются приоритетными и обязательными. Работа на подобного рода объектах связана с риском и опасностью для жизни и здоровья людей, в частности, с риском отравления/удушения вредными, скопившимися концентратами газов и возможного взрыва и возгорания скопившихся газовых смесей. Поэтому создание телекоммуникационных систем и устройств дистанционного контроля за концентрациями токсичных и взрывоопасных газовых смесей и их постоянного мониторинга является весьма актуальной задачей. Решение этой задачи позволит осуществить безопасный контроль, работу и обслуживание на соответствующего рода объектах, снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, исключить человеческие жертвы, существенно минимизировать возможные экономические потери, связанные с возникновением и развитием аварийных ситуаций в промышленности и сфере ЖКХ.

Автоматизированная телекоммуникационная система газового контроля позволит создать единую систему метрологического обеспечения проведения работ и обслуживания объектов промышленности и коммунального хозяйства, единую систему информационно-справочных данных.

В разработке подобной системы и устройства заинтересованы предприятия добывающей нефтегазовой, горной, химической промышленности, а также отрасль жилищно-коммунального хозяйства. При этом одной из важнейших функций разрабатываемой телекоммуникационной системы является не только детектирование и оповещение об опасных уровнях токсичных и взрывоопасных газовых смесей с привязкой всех данных к картографической основе, но и прогнозирование значений временных рядов концентраций газов. Качественно проведенное прогнозирование и моделирование ситуации обеспечит своевременное принятие управляющих решений, направленных на удаление скопившихся токсичных и взрывоопасных газовых смесей из рабочей зоны с целью исключения аварийных ситуаций, минимизации экономического ущерба. На процесс прогнозирования существенное влияние оказывает флуктуация сигнала или присутствия значительной нелинейности в данных. Существует большое количество методов интерполяции и экстраполяции временных рядов [1]. Интерес вызывает разработка комбинированного метода прогнозирования в нейросетевом базисе с использованием вейвлет-преобразования. Кроме газового контроля на объектах с замкнутым пространством и

вероятностью загазованности решение задачи прогнозирования значений временных рядов находит применение в широком спектре отраслей.

РАЗРАБОТКА ПОСТА СБОРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ

В состав поста сбора данных телекоммуникационной системы газового контроля входят два модуля (рис. 1). Модуль А отвечает за сбор информации о наличии в среде легковоспламеняющихся, взрывоопасных и токсичных газообразных веществ и включает в себя один многокомпонентный или несколько чувствительных к определенному типу газа датчиков. Второй модуль (модуль Б) предназначен для управления модулем сбора, графической и звуковой индикации результатов измерения и передачи данных по беспроводному радиоканалу единому информационному центру накопления и обработки информации распределенной телекоммуникационной системы.

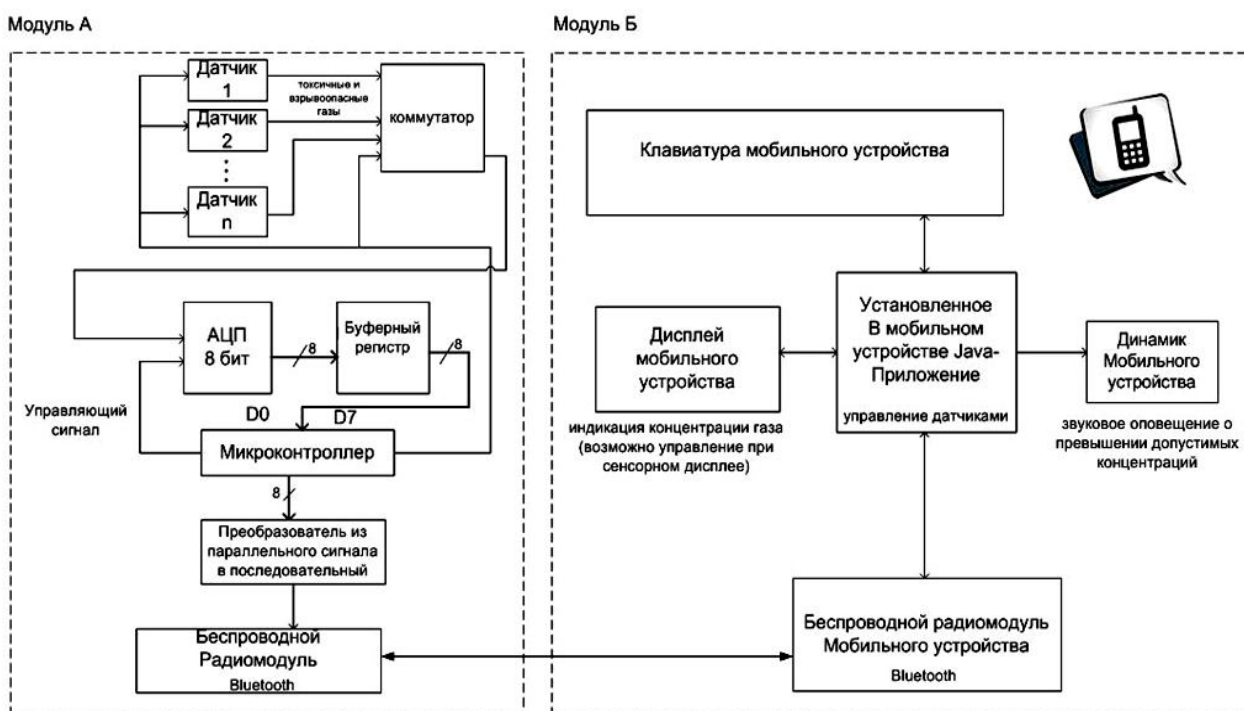


Рисунок 1 – Структура поста сбора данных телекоммуникационной системы

В модуль А входит микроконтроллер, который обеспечивает приём управляющих сигналов от модуля Б, управляет сбором данных от датчиков токсичных и взрывоопасных веществ и преобразует данные о концентрациях к формату, пригодному для передачи по радиоканалу. В модуле А в базовой комплектации используются следующие датчики: датчик метана (ch4) на основе сенсора типа tgs2611 и датчик сероводорода (h2s) на основе сенсора типа tgs 825. Ввиду гибкости системы тип газовых сенсоров и количество датчиков могут быть подобраны в соответствии с объектом контроля. Коммутатор подключает два канала с датчиков к АЦП. Информация с АЦП через буферный регистр попадает во внутреннюю память микроконтроллера. Он обеспечивает приём управляющих сигналов от модуля Б, управляет сбором данных от датчиков токсичных и взрывоопасных веществ и преобразует данные о концентрациях газов и сигналов аварийного состояния водопровода к формату, пригодному для передачи по радиоканалу Bluetooth. Питание модуля А обеспечивается высокоемкими аккумуляторами.

В качестве второго модуля может выступать переносное мобильное устройство типа сотовый телефон, коммуникатор или планшет, с предустановленным программным приложением для iOS, Android, WP7, способным обеспечить управление модулем сбора,

индикацию концентраций выбранного газа и оповещение о превышении допустимых норм. Для передачи данных и управляющих сигналов между модулями используется стандартный для большинства современных мобильных устройств беспроводной радио-интерфейс Bluetooth, что повышает надежность, взаимозаменяемость компонентов. В случае выхода из строя штатного мобильного блока индикации и управления осуществляющий газовый контроль персонал может применить другое мобильное устройство с поддержкой технологии Bluetooth для дальнейшей работы (анализа среды). Для этого необходимо лишь установить управляющее программное приложение на мобильное устройство.

При этом модуль управления и индикации может располагаться от модуля сбора данных с датчиками на расстоянии, ограниченном спецификацией Bluetooth (до 100 метров). Имеется возможность увеличения радиуса действия до 1 км за счет применения в каждом из модулей приемопередатчиков Bluetooth с антеннами направленного действия. При этом на мобильном устройстве установлено геоинформационное приложение, позволяющее отобразить всю необходимую информацию на карте, которая может быть пригодна для ремонтных и обслуживающих бригад. При этом для передачи данных между стационарными постами контроля, передвижными мобильными станциями и единым информационным центром системы используется встроенный в мобильное устройство трансивер, обеспечивающий связь согласно высокоскоростным технологиям 3G (4G, LTE).

Для хранения данных в едином информационном центре сбора и обработки информации предполагается разработать базы данных. Автоматизированные стационарные посты контроля имеют адресную картографическую привязку, поэтому вся тематическая и атрибутивная информация будет связана с конкретными объектами картографической основы геоинформационной системы (ГИС) [2]. Интеграционный характер геоинформационной системы позволит создать на их основе мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления информации по вопросам контроля за параметрами загазованности, сигналами обнаружения аварийных ситуаций и дальнейшего прогнозирования газового состояния объектов промышленности и ЖКХ с привязкой к карте.

Все поступающие с автоматизированных постов контроля данные проходят предварительную проверку, включающую в себя оценку достоверности измеряемых параметров с целью выявления метрологических погрешностей и неисправностей измерительного и передающего оборудования.

Все пункты контроля объединяются в сеть и взаимодействуют с вычислительной сетью региона, с сервером, отвечающим за сбор, анализ и хранение информации. Основным звеном в системе является программа, осуществляющая сетевой сбор информации и её обработку.

Предлагаемый проект телекоммуникационной системы контроля предполагает организацию дистанционного мониторинга состояния объектов промышленности и ЖКХ, дистанционного взаимодействия пунктов контроля с вычислительными сетями региона, а также регистрацию и обработку данных дистанционного контроля параметров промышленных объектов и коммунальных сетей с последующим выявлением опасных и проблемных объектов и участков.

Пункты контроля в любое время без прерывания работы всей вычислительной сети могут быть подключены к ней или отключены. Функционирование вычислительной сети не зависит от состояния отдельного пункта контроля.

Представляемая телекоммуникационная система газового контроля промышленных и коммунальных объектов имеет открытую архитектуру, что обеспечивает широкие возможности по наращиванию ее мощности как в плане включения в ее состав новых постов контроля, так и в плане их оснащения широким спектром датчиков. Открытость системы базируется на известных принципах работы аппаратного и программного обеспечения.

Система контроля позволяет выдавать информацию оперативно, позволяет определять объективно и достоверно масштабы аварий. На основании полученных данных

можно разрабатывать мероприятия по предотвращению человеческих жертв и минимизации экономического ущерба.

В состав проектируемой автоматизированной системы входит также программное обеспечение, предназначенное для прогнозирования уровней концентраций токсичных и взрывоопасных газов на контролируемых объектах и участках.

АЛГОРИТМ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Общая концепция алгоритма прогнозирования значений временных рядов в нейросетевом базисе с применением вейвлет-преобразования представлена на рисунке 2.

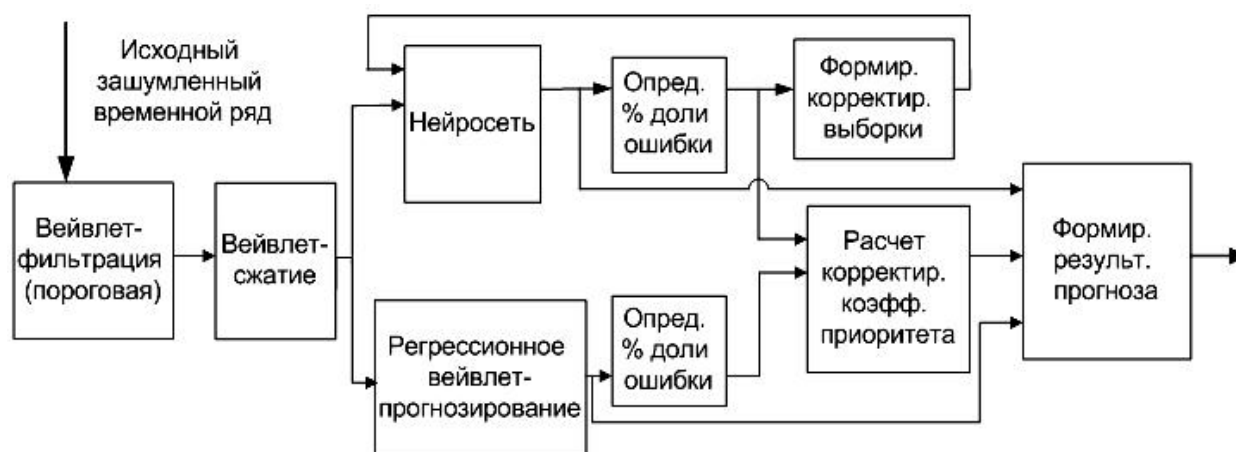


Рисунок 2 – Алгоритм комбинированного прогноза

После выполнения этапа предварительного вейвлет-преобразования [3] (сглаживание и сжатие временного ряда) временной ряд подается на подсистемы прогнозирования и коррекции результатов.

Далее из множества значений ряда выделяются два непересекающихся подмножества (как правило, хронологически следующих одно за другим). Одно из них представляет собой обучающую выборку (ОБ), на которой будет выполняться обучение нейронная сеть (НС). Другое подмножество представляет собой контрольную выборку (КВ), которая не предъявляется НС в процессе обучения и используется для проверки качества прогноза. Таким образом, прогнозирование временного ряда сводится к задаче интерполяции функции многих переменных. НС используется для восстановления этой функции по множеству наборов, входящих в состав ОБ.

На этапе структурного синтеза производится выбор архитектуры НС и структуры связей между нейронами.

На этапе параметрического синтеза НС выполняется обучение НС. Как правило, используются методы градиентного спуска, в частности, алгоритм обратного распространения ошибки и его модификации.

Далее осуществляется проверка ошибки прогноза НС на КВ. В результате сравнения выходных данных с контрольными вычисляется процентная доля ошибки для заданного входного временного ряда. Учитывая этот процент ошибки и разницу между выходным сигналом и КВ, формируется корректирующая выборка, представляющая собой модификацию весовых коэффициентов НС. Таким образом, помимо первого этапа формирования начальной процедуры обучения с применением ОБ происходит постоянная адаптация и усовершенствование НС с учетом накопленного опыта, то есть повторный переход к этапу параметрического синтеза и, следовательно, сведение вероятности появления ошибки НС к минимуму.

Стоит также отметить, что в данной системе на начальном этапе её работы приоритет отдается регрессионному вейвлет-прогнозированию, т.к. НС требуется определенный период, чтобы результат был приемлемого качества, то есть с низкой процентной долей

ошибки. Поэтому при первых запусках системы наряду с НС для получения пусть и не эталонных, но относительно достоверных прогнозов параллельно включается замещающая подсистема регрессионного вейвлет-прогнозирования, работающая согласно алгоритму:

1) Преобразуем временной ряд данных в массив (X_b, Y_b) , в котором X_b – равномерно распределенные временные отрезки. Для каждого отрезка i находится среднее значение $Y_b(i)$ на данном отрезке.

2) Выполняем вейвлет-разложение сигнала $Y_b(i)$. На данном этапе посредством скейлинг и вейвлет-функций осуществляется аппроксимация сигнала $Y_b(i)$ коэффициентами разложения. В результате получают усредненные аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты:

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

где J – уровень вейвлет-разложения; l – номер временного интервала.

Полученные коэффициенты полностью характеризуют функцию регрессии \bar{f} , с помощью которой может быть выполнена операция экстраполяции.

3) С помощью обратного вейвлет-преобразования по коэффициентам $\bar{C}_{J,k}$ и $\bar{d}_{J,k}$ восстанавливается прогнозируемое значение временного ряда $y(j)$ для произвольного значения параметра $x(j)$, лежащего внутри или за границами исходного диапазона значений времени:

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

Прогнозированию подвергался исходный тестовый временной ряд концентраций сероводорода (744 отсчета, измерения проводились каждый час в течение месяца).

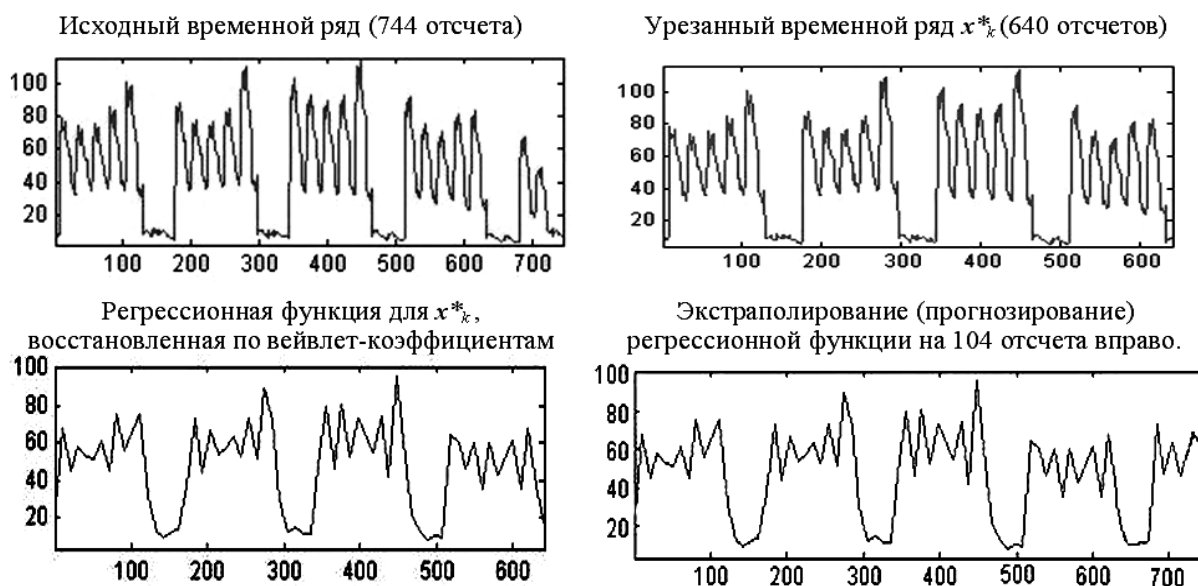


Рисунок 3 – Результаты эксперимента

При этом в качестве обучающей выборки использовался урезанный ряд, состоящий из 640 отсчетов, прогнозировались 104 следующих отсчета (рис.3), представляющие значения ряда [4].

Была оценена эффективность предварительного регрессионного вейвлет-прогнозирования (табл. 1) по критерию средней процентной ошибки:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{x_k - \bar{x}_k}{x_k} \right| \cdot 100\%.$$

Также для оценки может использоваться логарифмическая ошибка прогноза:

$$EL = \left| \ln \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{x_k}{\bar{x}_k} \right) \right| \cdot 100\%,$$

либо средняя квадратическая ошибка (Mean Square Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-1} e_t^2.$$

Таблица 1 – Статистика и ошибки предварительного этапа прогнозирования

Параметр	26 отсчетов (часов)		52 отсчетов (часов)		78 отсчетов (часов)		104 отсчетов (часов)	
	Реальн. данные	Прогн. данные	Реальн. данные	Прогн. данные	Реальн. данные	Прогн. данные	Реальн. данные	Прогн. данные
Среднее	16,34	17,31	17,52	19,65	19,25	34,32	20,69	38,34
Мода	4,32	6,34	4,71	7,72	4,72	8,37	4,72	9,77
Максимальное	35,24	32,46	67,55	70,86	67,55	68,82	67,55	70,86
Минимальное	3,43	4,21	3,64	8,61	3,64	8,61	3,64	8,61
Размах вариации	31,81	62,25	63,91	62,25	63,91	60,21	63,91	62,25
Дисперсия	12,67	14,12	22,66	25,49	19,37	25,12	19,43	28,08
<i>MAPE</i>	5,93		12,15%		78,28		85,31%	
<i>MSE</i>	0,94		4,53		227,11		311,52	
<i>EL</i>	5,77%		11,47%		57,58%		61,68%	

После того, как процентная доля ошибки искусственной нейронной сети и подсистемы регрессионного вейвлет-прогнозирования сравнивается, система автоматически переходит на прогнозирование с применением нейронной сети [5], накопившей к этому моменту необходимый «опыт» для адекватной оценки прогноза и выдающей с каждой следующей выборкой более корректные и точные экстраполированные значения временного ряда.

ВЫВОДЫ

В ходе исследования была разработана структурная схема поста сбора данных телекоммуникационной системы газового контроля, назначением которого является дистанционный контроль за уровнями концентраций токсичных и взрывоопасных газов, который необходим для обеспечения безопасной работы на объектах с вероятной загазованностью. При этом в качестве модуля управления-индикации предлагается использовать стандартное мобильное устройство (телефон, КПК, планшет), поддерживающее стандартную технологию беспроводной передачи Bluetooth. Программное обеспечение телекоммуникационной системы и отдельных её частей учитывает основные тенденции рынка ПО мобильных и вычислительных устройств. На основе математических аппаратов вейвлет-преобразования и искусственных нейронных сетей разработан алгоритм комбинированного прогнозирования значений концентраций. Разработанный алгоритм используется в подсистеме прогнозирования единого информационного центра накопления и обработки данных системы. Средняя процентная ошибка при экстраполяции тестового временного ряда на 52 отсчета в подсистеме комбинированного прогнозирования на основе

вейвлет преобразования и аппарата НС при этом составляет 12,15% (высококачественный прогноз). К этому моменту процесс обучения НС должен завершиться. Применение описанного выше подхода позволит повысить качество и оперативность прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов А.А. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Информационные системы и технологии, 2010. – № 6(62). – С. 28-35.
2. Белов А.А., Кропотов Ю.А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – № 12. – С. 9-15.
3. Белов А.А. Вопросы обработки экспериментальных временных рядов в электронной системе автоматизированного контроля / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая, 2010. – № 1. – С. 95-101.
4. Белов А.А., Проскуряков А.Ю. Регрессионное прогнозирование и восстановление временных рядов на основе вейвлет-преобразования в системе экологического мониторинга // Проектирование и технология электронных средств, 2010. – № 1. – С. 27-31.
5. Белов А.А., Проскуряков А.Ю. Комбинированный алгоритм прогнозирования на базе вейвлет-преобразования и нейронных сетей // Методы и устройства передачи и обработки информации, 2011. – № 1(13). – С. 109-113.

Белов Алексей Анатольевич

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника и вычислительная техника»
Тел.: 8 (49234) 7-72-72
E-mail: aleks.murom@mail.ru

Проскуряков Александр Юрьевич

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
Аспирант
Тел.: 8 (49234) 7-72-72
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

A.A. BELOV (Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Department «Electronics and Computer Facilities»)

A.YU. PROSKURYAKOV (Post-graduate Student)

Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University Named After Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom

QUESTIONS OF PREDICTION CONCENTRATION LEVELS IN THE TELECOMMUNICATIONS INDUSTRIAL AND MUNICIPAL FACILITIES GAS CONTROL SYSTEM

In given article authors shine a problem of development automated telecommunications system for gas control designed to capture data of toxic and hazardous substances concentrations in the industrial and municipal facilities air, with a closed space and the possibility of gas contamination. Proposed a combined algorithm for predicting concentration values based on artificial neural networks and wavelet transformation.

Keywords: *telecommunication system; gas detector module; wireless communication; neural network; time series; prediction of the time series.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Belov A.A. Avtomatizirovanny'j analiz i obrabotka vremenny'x ryadov danny'x o zagryaznyayushhix
-

-
- vy'brosov v sisteme e'kologicheskogo kontrolya / A.A. Belov, Yu.A. Kropotov, A.Yu. Proskuryakov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 6(62). – S. 28-35.
2. Belov A.A., Kropotov Yu.A. Issledovanie voprosov szhatiya i poiska kartograficheskoy informacii metodom vejvlet-preobrazovanij v e'kologicheskoy geoinformacionnoj sisteme // Vestnik komp'yuternyx i informacionny'x texnologij, 2008. – № 12. – S. 9-15.
 3. Belov A.A. Voprosy' obrabotki e'ksperimental'ny'x vremenny'x ryadov v e'lektronnoj sisteme avtomatizirovannogo kontrolya / A.A. Belov, Yu.A. Kropotov, A.Yu. Proskuryakov // Voprosy' radioe'lektroniki. Seriya obshhetexnicheskaya, 2010. – № 1. – S. 95-101.
 4. Belov A.A., Proskuryakov A.Yu. Regressivnoe prognozirovanie i vosstanovlenie vremenny'x ryadov na osnove vejvlet-preobrazovaniya v sisteme e'kologicheskogo monitoringa // Proektirovanie i texnologiya e'lektronny'x sredstv, 2010. – № 1. – S. 27-31.
 5. Belov A.A., Proskuryakov A.Yu. Kombinirovanny'j algoritm prognozirovaniya na baze vejvlet-preobrazovaniya i nejronny'x setej // Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii, 2011. – № 1(13). – S. 109-113.
-

ТРЕБОВАНИЯ к оформлению статьи для опубликования в журнале «Информационные системы и технологии»

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные** элементы:

- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления;
- библиография.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

• Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

• **Обязательные элементы:**

- УДК
- **заглавие (на русском и английском языках)**
- **аннотация (на русском и английском языках)**
- **ключевые слова (на русском и английском языках)**
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

• Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

• **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!** Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

• **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

• В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт).

Сведения об авторах предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.
