

№ 3 (77) май-июнь 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 15.04.2013 г.

Подписано в печать 26.04.2013 г.

Формат 60x88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ № 226/13П1

*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.....5-12
2. Математическое и компьютерное
моделирование.....13-53
3. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах54-60
4. Телекоммуникационные системы
и компьютерные
сети.....61-101
5. Информационная безопасность и защита
информации.....102-149

Редакция

*О.И. Константинова
К.Д. Авазова
А.А. Митин*

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

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

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

№ 3 (77) May-June 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., Ctepanov Y.S.

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial board

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

*It is sent to the printer's on 15.04.2013,
26.04.2013 is put to bed
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies
The order № 226/13П1*

*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.....5-12
2. Mathematical modeling and computer simulation.....13-53
3. An information technologies in socio-economic and organizational-technical systems.....54-60
4. Telecommunication systems and computer networks.....61-101
5. Information and data security.....102-149

The editors

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

The address of the founder of journal

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

The address of the editorial office

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

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

© State University – ESPC, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

А.В. САВЧЕНКО, Д.Ю. АКАТЬЕВ

Методика формирования фонетической базы данных диктора из непрерывного потока разговорной речи на основе адаптивного алгоритма сегментации фонем и когнитивной кластерной модели речевых единиц.....5-12

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

С.В. БАРТОШ, А.Т. КОГУТ, А.А. ЛЮБЧЕНКО

Повышение эффективности сглаживания результатов имитационного моделирования.....13-22

Ю.С. СЕРБУЛОВ, Д.В. СЫСОЕВ, Д.А. ГЛУХОВ

Модель ресурсного взаимодействия конкурирующих систем в рыночных отношениях.....23-29

А.Н. КОНОПЛЕВ, Г.П. СУВорова

Математическая модель диагностики и восстановления технологического оборудования в мелкосерийном производстве30-36

А.Н. ЛАБУТИН, В.В. ЛОТАРЕВ

Нечеткое адаптивное управление насосными агрегатами водозаборной станции.....37-44

С.А. ЛУПИН, ТАН ШЕЙН, ЧЖО ЧЖО ЛИН

Особенности моделирования транспортных систем в условиях конкуренции.....45-53

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

И.Н. ГРЫЗЛОВ

Методика краткосрочного прогнозирования индекса протестной активности населения региона на основе использования статистической информации.....54-60

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

Д.В. БЕЙЛЕКЧИ

Метод автоматизированной оптимизации структуры аппаратно-программного обеспечения телекоммуникационных систем.....61-66

В.Т. ЕРЕМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ, Т.М. ПАРАМОХИНА, А.А. ЛЯКИШЕВ

Математическое моделирование беспроводного сегмента вычислительной сети АСУ ПП.....67-72

Д.А. КРАСНОВ

Моделирование оценки производительности беспроводной сети передачи данных АСУ ТП газотранспортного предприятия в условиях воздействия помех.....73-81

Ю.А. КРОПОТОВ

Адаптивный алгоритм подавления помех методом кратковременного ДПФ в телекоммуникационных системах аудио обмена.....82-84

А.В. МАКСИМЕНКО

Сравнение методов распределения ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетного трафика в сетях спутниковой связи.....85-90

С.В. МИТИН

Алгоритмы декодирования двоичной последовательности, закодированной с использованием дискретных хаотических отображений.....91-101

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

В.В. БУХАРИН, В.А. ЛИПАТНИКОВ, Д.В. САХАРОВ

Метод управления информационной безопасностью организации на основе процессного подхода.....102-109

М.Н. ГОРЮНОВ, А.Г. МАЦКЕВИЧ, С.В. ЕРЕМЕНКО, А.Л. ЕРШОВ

Моделирование системы обнаружения функциональных объектов программного обеспечения в условиях отсутствия исходных текстов.....110-117

А.А. ДВИЛЯНСКИЙ, В.А. ИВАНОВ

Оптимизация системы защиты информации объектов инфокоммуникационных систем от кибертеррористических угроз.....118-126

Ю.Б. ИВАНОВ, Е.И. ЛАРКИН, А.А. СЛЫШЕВ, А.В. КУТУЗОВ

Фильтрация IP-пакетов на основе динамических правил.....127-132

Д.О. МАРКИН, В.В. КОМАШИНСКИЙ

Комбинированный метод контентного анализа для обнаружения изображений с противоправным эротическим содержанием.....133-141

С.В. МОЖИН, А.В. БОНДАРЕВА

Модель представления вектора параметров сетевого трафика в маломерное пространство.....142-149

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

A.V. SAVCHENKO, D.YU. AKATJEV

The method of forming speaker phonetic database of a continuous speech on the basis of adaptive algorithm of phoneme segmentation and cognitive cluster model of speech units.....5-12

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

S.V. BARTOSH, A.T. KOGUT, A.A. LYUBCHENKO

Increasing of an efficiency of smoothing of the results of a simulation.....13-22

YU.F. SERBULOV, D.V. SY'SOEV, D.A. GLUXOV

Resource model of interaction competing systems into the market.....23-29

A.N. KONOPLEV, G.P. SUVOROVA

Mathematical model for diagnostic and recovery of manufacturing equipment in small-batch production.....30-36

A.N. LABUTIN, V.V. LOTAREV

Fuzzy adaptive control pump unit water intake station.....37-44

LUPIN S.A. TAN SHEJN, CHZHO CHZHO LIN

Features modeling transport systems in competition.....45-53

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

I.N. GRYZLOV

Method of short term forecast of protest activity index of the region on the basis of statistical information.....54-60

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

D.V. BEJLEKCHI

The method for automated optimization of hardware and software structure of telecommunications systems.....61-66

V.T. ERYOMENKO, D.V. ANISIMOV, T.M. PARAMOHINA, A.A. LYAKISHEV

Mathematical modeling of the wireless network segment industrial enterprises automatic control system.....67-72

D.A. KRASNOV

Assessment modelling evaluate the performance of the wireless data transmission network of ACS TP gas-transporting enterprises in the conditions of the impact of interference.....73-81

YU.A. KROPOTOV

Adaptive algorithm for interference suppression by DFT short-term method in telecommunication systems audio exchange.....82-84

A.V. MAKSIMENKO

Comparison of methods of resource allocation repeater maintenance multy priority traffic via satellite networks...85-90

S.V. MITIN

Decoding algorithms for binary sequences encoded using discrete chaotic maps.....91-101

INFORMATION AND DATA SECURITY

V.V. BUXARIN, V.A. LIPATNIKOV, D.V. SAXAROV

Method of organizational information security control based on process approach.....102-109

A.G. MATSKEVICH, S.V. ERYOMENKO, A.L. ERSHOV, M.N. GORUNOV

Modeling of detection software functional objects in the absence of the source text.....110-117

A.A. DVILYANSKIY, V.A. IVANOV

Optimization of system information security of the objects infocommunication systems from cyberterrorist threats.....118-126

YU.B. IVANOV, E.I. LARKIN, A.A. SLYSHEV, A.V. KUTUZOV

IP packet filtering based on dynamic rules.....127-132

D.O. MARKIN, V.V. KOMASHINSKIY

Combined method content analysis detection of images with unlawful sexual content.....133-141

S.V. MOZHIN, A.V. BONDAREVA

Model representation of the vector properties of the network traffic in a low-dimensional space.....142-149

УДК 004.934

А.В. САВЧЕНКО, Д.Ю. АКАТЬЕВ

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ФОНЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДИКТОРА
ИЗ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТОКА РАЗГОВОРНОЙ РЕЧИ
НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ФОНЕМ
И КОГНИТИВНОЙ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕЧЕВЫХ ЕДИНИЦ**

Рассмотрена проблема вариативности разговорной речи в задаче формирования фонетической базы данных. Для ее решения предложено использование автоматической сегментации речи на последовательность фонем на основе когнитивной акустической модели типа фонетического кластера, определенного на множестве минимальных звуковых единиц. Разработан адаптивный алгоритм наполнения каждого кластера одноименными минимальными звуковыми единицами из непрерывного потока речи диктора. Представлены результаты экспериментального исследования в задачах фонетического анализа речи и автоматического распознавания изолированных слов русского языка.

Ключевые слова: речь; русская речь; фонема; фонетический анализ речи; принцип минимума информационного рассогласования Кульбака-Лейблера; автоматическое распознавание речи.

ВВЕДЕНИЕ

При анализе разговорной (устной) речи на русском языке мы опираемся на наши точные знания в отношении его фонетического строя, количественного и качественного состава используемой фонетической системы, а также закономерностей ее функционирования в разговорной речи. Этими знаниями мы пользуемся, например, при транскрибировании потока речи. Однако при анализе разговорной речи на неизвестном нам языке нам недоступна, в общем случае, информация, относящаяся к его фонетической структуре. В этом случае мы можем либо, опираясь на наш лингвистический опыт, давать участкам речевого потока приблизительную интерпретацию в рамках Международного фонетического алфавита, либо, обратившись к акустическим понятиям, членить речь на некие минимальные звуковые единицы (МЗЕ) с соответствующими метками. Очевидно, что второй подход, положенный в основу информационной теории восприятия речи (ИТВР) [1], со всех точек зрения наиболее информативен и универсален. Множество меток всех МЗЕ и составит звуковой строй данного диалекта (языка), его фонетическую базу данных (ФБД).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проблема состоит в том, что разговорная речь по своим акустическим характеристикам широко варьируется, причем не регулярным образом, не только от одного языка к другому, но и от одного носителя к другому носителю одного и того же языка. В указанных условиях становится проблематичной сама идея выделения повторяющегося набора МЗЕ из разговорного потока речи. Кроме того, длительность отдельных МЗЕ не превышает нескольких миллисекунд, это главное препятствие для применения традиционных методов теоретической лингвистики к разговорной (устной) речи. С другой стороны, до настоящего времени проблема не была преодолена и методами экспериментальной фонетики. И главная причина здесь – отсутствие адекватной системы описания отдельных фонем.

В поисках путей решения указанной проблемы в упомянутой выше и недавно созданной ИТВР само понятие «фонема» впервые было строго определено в теоретико-информационном смысле как «множество однородных МЗЕ, объединенных в кластер по критерию минимального информационного рассогласования (МИР) в метрике Кульбака-

Лейблера [2]». Условно говоря, человеческий мозг объединяет и запоминает в себе как нечто целое (в виде абстрактного образа) разные образцы (произношения) каждой отдельной фонемы в соответствующей «сфере» своей памяти вокруг абстрактного «центра» с заданным «радиусом».

Нетрудно понять, что данным определением одновременно решается множество актуальнейших проблем в области фонетического анализа речи: и ее вариативности, и априорной неопределенности, и адекватного описания звукового строя языка в терминах ФБД, и, наконец, проблема обновления ФБД без разрушения их структуры.

Несмотря на существующие различия в реализациях некоторой r -ой фонемы все они воспринимаются человеком как нечто общее, иначе речь утратила бы свою информативность. Можно поэтому утверждать, что одноименные реализации $\mathbf{x}_{r,j}$, $j = \overline{1, J_r}$, $J_r \gg 1$ в сознании человека группируются в соответствующие классы

или речевые образы фонем $X_r = \{\mathbf{x}_{r,j}\}$, $r = \overline{1, R}$, вокруг некоторого центра – эталонной

метки данного образа. В информационной теории восприятия речи указанные эталоны определяются в строгом теоретико-информационном смысле: речевая метка $\mathbf{x}_r^* \in X_r$ образует информационный центр-эталон r -го речевого образа, если в пределах множества X_r она характеризуется минимальной суммой информационных рассогласований по

Кульбаку-Лейблеру относительно всех других его меток-реализаций $\mathbf{x}_{r,j}$, $j = \overline{1, J_r}$. В работах [3, 4] было показано, что в асимптотике, когда $n \rightarrow \infty$, и при гауссовом распределении речевого сигнала $\mathbf{P}_r = N(\mathbf{K}_r)$ с обратной АКМ ленточной структуры выражение для оптимальной решающей статистики МИР для авторегрессионной (АР) модели МЗЕ сводится к методу обеляющего фильтра [1]

$$\rho_{x,r} = \frac{1}{F+1} \sum_{f=0}^F \frac{\left| 1 + \sum_{m=1}^p a_r(m) \exp(-j\pi m f / F) \right|^2}{\left| 1 + \sum_{m=1}^p a_x(m) \exp(-j\pi m f / F) \right|^2} - 1. \quad (1)$$

Здесь $\{a_x(m)\}$, $\{a_r(m)\}$ – два вектора АР-коэффициентов: входного сигнала и r -го эталона, оба одного порядка $p > 1$. Преимуществом данной интерпретации критерия МИР является, прежде всего, возможность его эффективной реализации в адаптивном варианте на основе быстрых вычислительных процедур АР-анализа, таких, как метод Берга и др. [5].

Нетрудно увидеть, что именно в понятии информационного центра (ИЦ) r -го множества реализаций одноименных МЗЕ X_r дается наиболее информативное описание

свойств соответствующей фонемы. А множество всех ИЦ $\{\mathbf{x}_r^*\}$ определяет понятие ФБД для данного диктора. Одновременно становится очевидным и механизм формирования самого этого множества. Сначала анализируемый (входной) речевой сигнал $X(t)$ в дискретном времени $t = 0, 1, \dots$ разбивается на ряд последовательных сегментов данных $x(t)$ длиной в одну МЗЕ (примерно 10 – 15 мс.). После этого каждый такой парциальный сигнал рассматривается в пределах конечного списка фонем $\{X_r\}$ и отождествляется с той X_r , из них, которая отвечает критерию МИР относительно вектора $x(t)$. Это известная формулировка критерия МИР в задачах автоматического распознавания речи. Задача существенно упрощается, если воспользоваться гауссовой (нормальной) аппроксимацией

закона распределения каждой фонемы вида $\mathbf{P}_r = N(\mathbf{K}_r)$, где \mathbf{K}_r – автокорреляционная матрица (АКМ) размера $n \times n$, $n \geq 1$.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ РЕЧИ ДЛЯ ФОНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЧИ

Предположим, что речевой образ каждой фонемы $X_r = \{x_{r,j}\}$ представлен по-прежнему конечным (объема $J_r > 1$) множеством своих различных векторов-реализаций $\mathbf{x}_{r,j}$, $j = \overline{1, J_r}$, составленных из L последовательных во времени отсчетов одноименных МЗЕ $\{x_{r,j}(t)\}$ с периодом $T = 1/(2F) = const$. Здесь F – верхняя граница частотного диапазона речевого тракта. Рассматривая каждую такую реализацию в режиме «скользящего окна» длиной n отсчетов ($n \ll L$), будем иметь $(L - n)$ векторов (столбцов) данных $\{x_{r,j,i}\}$ размерностью $n = const$ каждый. Используя после этого формулу среднего арифметического, определим по ним выборочную оценку для АКМ гипотетического гауссова распределения $\mathbf{P}_r = N(\mathbf{K}_r)$.

Проблемы возникают в случае отсутствия априори классифицированных выборок $\{X_r\}$, т.е. при распознавании образов «без учителя». Автоматический анализ фонетического состава речи чаще всего относится именно к такому кругу задач. И статистические характеристики фонем, и их используемое каждым диктором число R из общего списка зависят от особенностей его речевого аппарата. Здесь требуется алгоритм с самообучением или адаптивный алгоритм фонетического анализа речи (ФАР). Для решения данной задачи в информационной теории разработан специальный инструмент: информационный $(R+1)$ -элемент. Информационный $(R+1)$ -элемент [1] – это условный термин, обозначающий устройство или алгоритм для автоматической классификации или распознавания сигнала \mathbf{x} в пределах некоторого множества классов-альтернатив \mathbf{P}_r , $r = \overline{1, R}$. В основе его функционирования применяется статистический подход и критерий МИР. В отличие от других аналогичных алгоритмов с R выходами $(R+1)$ -элемент имеет дополнительный $(R+1)$ -ый выход, который сигнализирует об отказе при распознавании образов одновременно от всех R заданных альтернатив. Указанная особенность и служит основой для построения эффективного алгоритма распознавания образов в условиях априорной неопределенности. Задача сводится к последовательности задач статистической классификации при переменном (нарастающем) числе альтернатив $R=1, 2, \dots$

Таким образом, для заданного речевого сигнала $X(t)$ требуется определить множество всех однородных сегментов (минимальных звуковых единиц типа отдельных фонем) $\{X_r\}$ как результат линейного членения исходного сигнала на квазистационарные последовательности фреймов $\{x_1, \dots, x_n\}$ одинаковой длительности $M = const$. Например, при частоте дискретизации телефонного канала связи $F=8$ кГц обычно полагают $M=100 \dots 200$ отсчетов (или 10-15 мс на каждый фрейм). Тогда алгоритм сегментации на последовательность фонем [6] сводится к последовательной проверке условия

$$\rho(x_i, X_L) < \rho^{(1)} = const \quad (2)$$

об однородности распределений вектора отсчетов \mathbf{x}_i анализируемого (текущего) фрейма и вектора отсчетов текущего однородного сегмента X_L . Здесь $\rho^{(1)}$ – допустимый уровень рассогласования в пределах однородного множества. При нарушении условия (2) в список однородных сегментов появляется еще один $L+1$ сегмент, состоящий из одного (последнего проверенного) фрейма \mathbf{x}_i .

Вычисления по схеме (2) повторяются циклически для всех последующих фреймов из речевого сигнала, причем повторяются «нарастающим итогом» для переменного значения $L=1, 2, \dots$. В результате получим множество из L^* выявленных на первом этапе обработки фонем. При этом понятно, что с точки зрения качества полученного результата первостепенный интерес представляет собой множество четких фонем. Поэтому далее используется дополнительная процедура отбраковки сомнительных по своей четкости фонем путем установления к ним требования по минимальной длительности однородных сегментов вида

$$V_l \geq V_0, \quad l = \overline{1, L^*}. \quad (3)$$

Здесь V_l – число отсчетов в векторе l -й фонемы X_l ; V_0 – пороговый уровень для минимального числа отсчетов в результирующем списке фонем. Множество $L < L^*$ четких фонем $\{X_l^*, l = \overline{1, L}$ и следует считать основным результатом фонетического анализа речи на первом этапе обработки речевого сигнала.

На втором этапе (периодизация второго уровня) выполняется объединение выделенных однородных сегментов в кластер одноименных речевых единиц типа отдельных фонем. Алгоритм сводится к последовательной проверке условия для всех $l = \overline{1, L}$

$$\exists r \in \{1, \dots, R\} \quad \exists j \in \{1, \dots, n_r\} \rho(X_l, X_j^{(r)}) < \rho^{(2)} = const \quad (4)$$

об однородности распределений вектора отсчетов анализируемого (текущего) сегмента X_l и вектора отсчетов эталонов каждой фонемы из текущего списка $\{X_r^*\}$. Здесь $\rho^{(2)}$ – допустимый уровень рассогласования в пределах одной фонемы, а кластер X_r^* представляет собой множество объема n_r близких однородных сегментов $X_r^* = \{X_1^{(r)}, \dots, X_{n_r}^{(r)}\}$. Если условие (4) выполняется для некоторого r , то X_l добавляется в кластер X_r^* , то есть используется алгоритм иерархической кластеризации типа single link [7]. При нарушении условия (4) в списке однородных сегментов появляется еще один эталон X_{R+1}^* , состоящий из одного (последнего проверенного) сегмента X_l .

Вычисления по схеме (4) повторяются циклически для всех последующих фреймов из речевого сигнала, причем повторяются «нарастающим итогом» для переменного значения $R=1, 2, \dots$. В результате получим множество кластеров $\{X_r^*\}$ из выявленных на втором этапе ФАР. Далее для каждого кластера выделяется его ИЦ [1]. В результате будем иметь ФБД – список фонем (ИЦ-эталонов) с некоторым фиксированным числом элементов R^* . Это важная характеристика как анализируемого речевого сигнала, так и самого диктора. Чем больше значение R^* для конкретного диктора, тем богаче с фундаментальной, фонетической точки зрения его речь. В данном выводе и состоит, по-видимому, главный смысл и назначение ФАР. Однако здесь же возникает и очевидная проблема: чрезмерно большое число фонем в речи диктора – это признак ее нечеткости или неинформативности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Программа экспериментальных исследований предложенного алгоритма (1-4) была разбита на два этапа. На первом этапе осуществлялось формирование базы эталонов МЗЕ по группе тестируемых дикторов и исследование особенностей звукового строя речи тех же дикторов в комфортных и некомфортных условиях [8]. На втором этапе оценивалось качество распознавания изолированных слов русского языка в зависимости от используемой ФБД. На обоих этапах для работы применялись специальные программные и аппаратные

средства: динамический микрофон AKG D77 S и ламповый микрофонный предусилитель ART TUBE MP Project Series USB. Частота дискретизации встроенного АЦП была установлена равной $F=8$ кГц. Формирование фонетической базы эталонов описано ниже.

Вначале для каждой из основных (продолжительных) фонем русского языка было записано в комфортных условиях по одному образцу МЗЕ от выбранного диктора-мужчины, всего 21 образец. Затем к этим образцам были добавлены эталоны того же диктора в тех же условиях, но произнесенные в разное время суток. При этом диктор произносил каждую фонему по 15-20 раз. Всего было сформировано шесть персональных баз эталонов от шести дикторов-мужчин, а также две базы эталонов от дикторов-женщин.

Далее каждый диктор в заведомо менее комфортных условиях (в нашем случае – после значительной физической нагрузки (пульс 140-160 ударов в мин)) произносил каждую из 21 фонем по 10-15 раз. И каждый раз информационной системой фиксировался соответствующий результат: текущее значение величины информационного рассогласования (ВИР) по отношению к заранее сформированной базе эталонов. Цель данного эксперимента – выбрать из общего списка фонем национального языка те фонемы, которые наиболее остро реагируют в своих реализациях на условия произнесения их диктором. Действительно, настраивая информационную систему на наиболее чувствительные фонемы, мы гарантируем максимальную чувствительность нашего восприятия по отношению к эмоциональному и физическому состоянию диктора. Средние значения ВИР для типичных диктора-мужчины и диктора-женщины по всему списку фонем в зависимости от условий их произнесения представлены в таблице 1. Важнейший момент – это количественная характеристика степени возбуждения диктора, а именно: ВИР между фонемами в текущем сигнале и их эталонами. Видно, что при изменении условий на некомфортные в среднем в 2-3 раза увеличилась вариативность произнесений данного диктора. Аналогичные результаты были получены и для других дикторов из контрольной группы.

Таблица 1 – Информационное рассогласование (1) для реализаций одной фонемы в зависимости от условий монолога

Дикторы Фонемы	Диктор-мужчина		Диктор-женщина	
	в комфортных условиях	в некомфортных условиях	в комфортных условиях	в некомфортных условиях
А	0.53	0.77	1.02	3.84
О	0.76	1.03	0.64	1.6
У	0.32	1.41	2.7	3.3
Э	1.73	3.21	2.17	4.35
Ш	1.47	1.22	2.36	1.73
Щ	0.94	1.73	1.59	2.64
Р	3.72	7.49	2.03	3.71
С	0.58	0.51	0.82	0.93
В	1.38	1.14	1.82	1.92
З	3.87	6.69	4.14	7.73
Ж	0.69	0.71	0.94	1.19
И	2.51	3.04	3.92	4.08
М	1.94	6.14	1.01	3.32
Л	4.7	0.69	2.04	1.86
ЛЬ	2.19	1.54	1.91	1.79
Ф	1.78	1.91	1.83	1.89
Х	0.86	6.9	0.91	4.7
Ч	1.96	1.94	2.13	2.11
Е	3.81	4.57	5.17	5.89
Ы	2.49	3.18	3.67	4.29
Н	1.48	0.41	3.5	2.84

В таблице серым фоном отмечены наиболее чувствительные к условиям своего произнесения фонемы. Видно, что, по крайней мере, три из них – «Х», «М» и «О» – одинаково высокочувствительны как в исполнении мужчин, так и женщин. Все остальные фонемы мало чувствительны к условиям произнесения. Именно такого рода фонемы могут быть положены в основу распознавания речи диктора или семантического анализа произнесенных им слов и фраз.

На втором этапе проведено исследование зависимости качества распознавания изолированных слов русского языка от применяемой ФБД. В качестве фонем использовались только гласные звуки русского языка («а», «е», «е», «и», «о», «у», «ы», «э», «ю», «я») как наиболее устойчивые [9] к вариативности произношения (табл. 1). Основным требованием к произнесению слов было разделение их 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. Далее в каждом слоге распознавалась гласная фонема. Решение в пользу слова-эталона принималось по критерию минимума расстояния между входящими в него гласными фонемами и слогами произнесенного слова.

В эксперименте были использованы три словаря:

а) прайс-лист (далее «Меню») одного ресторана быстрого обслуживания г. Н. Новгорода (289 наименований);

б) список из 1913 названий лекарств, продаваемых в одной аптеке г. Н. Новгорода (далее «Лекарства»);

в) названия 1830 крупных городов России (вместе с содержащими их областями (далее «Города»). Например, «Семенов (Нижегородская)», «Сочи (Краснодарский край)», «Казань (Татарстан)». При этом все города Московской области указываются без добавления наименования области, например, «Москва», «Истра».

Рабочий словарь системы распознавания формировался автоматически непосредственно по текстовому файлу [10], т.е. произносить все содержащееся в нем слова/словосочетания не требовалось. Для тестирования качества автоматического распознавания речи (АРР) каждым диктором были произнесены по 10 реализаций каждого слова из словаря эталонов. Для каждого словаря оценивались вероятности ошибки (отсутствие произнесенной команды в списке альтернатив). При этом использовались два режима. В первом применялась ФБД по умолчанию, записанная одним диктором-мужчиной (т.н. дикторонезависимый режим). Во втором режиме осуществлялась настройка системы под каждого диктора (дикторозависимый режим). В режиме настройки диктор четко проговаривал каждый из 10 гласных звуков русского языка. 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 основном для каждого звука потребовалось 2-3 итерации. Среднее время настройки всей фонетической базы данных в расчете на одного диктора составило 2,75 мин (минимальное время настройки – 1,5 мин, максимальное – 8,1 мин).

Результаты экспериментальных исследований в виде зависимости вероятности ошибки приведены в таблице 2 в формате: усредненная ошибка по дикторам \pm ее стандартное отклонение.

Таблица 2 – Вероятность ошибки распознавания изолированных слов в зависимости от применяемой ФБД

Словарь \ Режим	Дикторонезависимый режим	Дикторозависимый режим
Меню	6.5% \pm 4.3%	5.6% \pm 4%
Лекарства	24% \pm 9.5%	4.3% \pm 4%
Города	20.8% \pm 8.8%	8.3% \pm 5.1%

Сравнивая второй и третий столбец (табл. 2), нетрудно заметить, что настройка ФБД под тестируемого диктора позволяет достаточно существенно повысить качество АРР. При этом сама процедура настройки ФБД занимает у пользователя не более 10 мин. Таким образом, предложенный в работе алгоритм формирования ФБД позволяет существенно повысить точность распознавания речи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К числу приоритетных направлений применения ИТВР и ее когнитивной кластерной модели МЗЕ наряду с задачами прикладной лингвистики: распознаванием и семантическим анализом разговорной русской речи относятся также проблемы современной диалектологии. Как сопоставить разные диалекты между собой по степени их объективной близости или различий на базовом, фонетическом, уровне? И какова количественная мера таких различий? Какие тенденции сближения или удаления по фонетическому строю доминируют в настоящий момент в процессе исторического развития тех или иных диалектов? И, наконец, как можно лучше обучиться данному диалекту или, напротив, максимально ослабить его? Благодаря методологии ИТВР впервые в мировой науке открываются возможности дать четкие ответы на все перечисленные выше и подобные им вопросы. А это стимулирует, в свою очередь, научные исследования в области не только современной лингвистики, но и информатики и, прежде всего, прикладной информатики. Таким образом, полученные в статье результаты открывают качественно новые возможности для решения целого ряда актуальных задач (автоматическое формирование множества фонем по непрерывной речи, автоматическое распознавание русской речи, построение фонетической транскрипции речевого сигнала), которые до настоящего времени остаются не решенными или решены неудовлетворительно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по государственному контракту № 07.514.11.4137 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы». Исследование осуществлено в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013-2014 гг., проект № 12-01-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко В.В. Информационная теория восприятия речи // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2007. – Вып. 6. – С. 3-9.
2. Kullback S. Information Theory and statistics, Dover Pub., 1997. – 399 p.
3. Савченко В.В., Губочкин И.В. Фонетический анализ речи методом переменного дерева // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2008. – Вып. 3. – С. 14-20.
4. Савченко В.В. Фонема как элемент информационной теории восприятия речи // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2008. – Вып. 4. – С. 3-11.
5. Марпл С.Л.-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
6. Сорокин В.Н., Цыплихин А.И. Сегментация и распознавание гласных // Информационные процессы, 2004. – Т. 4. – № 2. – С. 202-220.
7. Sibson R. SLINK: an optimally efficient algorithm for the single-link cluster method // The Computer Journal (British Computer Society), 1973. – № 16(1). – P. 30-34.
8. Савченко В.В., Акатьев Д.Ю., Губочкин И.В. Исследование звукового строя национального языка на основе информационной теории восприятия речи // Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Серия «Информационные технологии», 2010. – № 3(1). – С. 215-222.
9. Савченко А.В. Автоматическое построение фонетической транскрипции речи на основе принципа минимума информационного рассогласования // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 8. – С. 14-19.

10. 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.

Савченко Андрей Владимирович

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, г. Нижний Новгород
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий
Тел.: 8 950 624 32 85
E-mail: avsavchenko@hse.ru

Акатьев Дмитрий Юрьевич

Нижегородский Государственный Лингвистический университет им. Н.А. Добролюбова, г. Нижний Новгород
Кандидат технических наук, доцент, профессор, заместитель заведующего кафедрой математики и информатики
Тел.: 8 904 789 83 30
E-mail: akatjev@lunn.ru

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

D.YU. AKATJEV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Deputy Head of the Department of Mathematics and Computer Science*)
Nizhny Novgorod State linguistic university, Nizhny Novgorod

**THE METHOD OF FORMING SPEAKER PHONETIC DATABASE
OF A CONTINUOUS SPEECH ON THE BASIS OF ADAPTIVE ALGORITHM
OF PHONEME SEGMENTATION AND COGNITIVE CLUSTER MODEL OF SPEECH UNITS**

The problem of conversational continuous speech variability is explored in the task of phonetic database forming. To solve it, we proposed to apply the phoneme segmentation on the basis of the cognitive acoustic model of the type of phonetic cluster defined in the set of minimum speech units. An adaptive algorithm for filling each cluster with stand-alone minimum speech units from the continuous speech is developed. The experimental study results in the tasks of phonetic speech analysis and isolated words recognition for Russian language are presented.

Keywords: *speech; Russian speech; phoneme; speech phonetic analysis; Kullback-Leibler minimum information discrimination principle; automatic speech recognition.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Savchenko V.V. Informacionnaya teoriya vospriyatiya rechi // Izvestiya VUZov Rossii. Radioelektronika, 2007. – Vy'p. 6. – S. 3-9.
2. Kullback S. Information Theory and statistics, Dover Pub., 1997. – 399 p.
3. Savchenko V.V. Gubochkin I.V. Foneticheskij analiz rechi metodom peremennogo dereva // Izvestiya VUZov Rossii. Radioelektronika, 2008. – Vy'p. 3. – S. 14-20.
4. Savchenko V.V. Fonema kak e'lement informacionnoj teorii vospriyatiya rechi // Izvestiya VUZov Rossii. Radioelektronika, 2008. – Vy'p. 4. – S. 3-11.
5. Marpl S.L.-ml. Cifrovoy spektral'ny'j analiz i ego prilozheniya. – M.: Mir, 1990. – 584 s.
6. Sorokin V.N., Cy'plixin A.I. Segmentaciya i raspoznavanie glasny'x // Informacionny'e processy', 2004. – T. 4. – № 2. – S. 202-220.
7. Sibson R. SLINK: an optimally efficient algorithm for the single-link cluster method // The Computer Journal (British Computer Society), 1973. – № 16(1). – P. 30-34.
8. Savchenko V.V., Akat'ev D.Yu., Gubochkin I.V. Issledovanie zvukovogo stroya nacional'nogo yazy'ka na osnove informacionnoj teorii vospriyatiya rechi // Vestnik NNGU im. N.I. Lbachevskogo. Seriya «Informacionny'e tehnologii», 2010. – № 3(1). – S. 215-222.
9. Savchenko A.V. Avtomatiucheskoe postroenie foneticheskoy transkripcii rechi na osnove principa minimuma informacionnogo rassglasovaniya // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij i, 2012. – № 8. – S. 14-19.
10. 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 tehnologii, 2012. – № 2.2(48). – S. 284-289.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СГЛАЖИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье описано исследование повышения эффективности сглаживания результатов имитационного моделирования процесса эксплуатации и технического обслуживания с целью получения результатов моделирования, пригодных в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: коэффициент технического использования; коэффициент готовности; дисперсия; метод понижения дисперсии.

При исследовании процедур идентификации, оптимизации, адаптивного управления [1, 2] возникает проблема численной неустойчивости в результатах моделирования. Например, при моделировании процесса эксплуатации и технического [3] обслуживания численная неустойчивость проявляется в случайном характере изменения оценок показателей надежности: коэффициента готовности $\overline{K}_Г(T_{об})$ и коэффициента технического использования $\overline{K}_{ТИ}(T_{об})$ (рис. 1). При этом оценки $\overline{K}_Г(T_{об})$ и $\overline{K}_{ТИ}(T_{об})$ вычислялись по формулам (1) и (2).

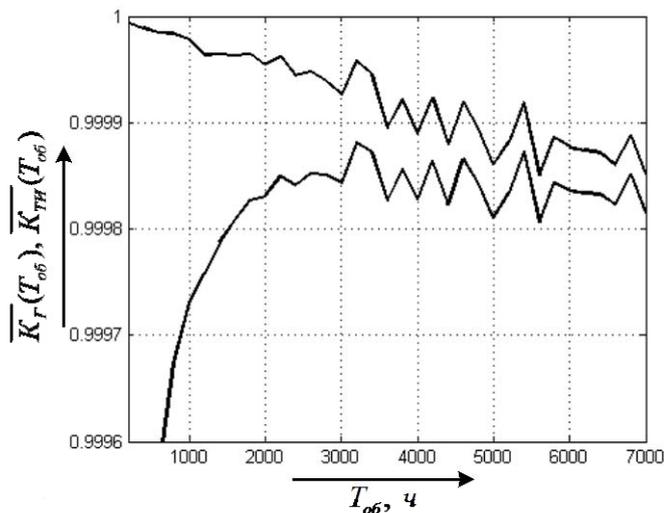


Рисунок 1 – Реализации оценок средних значений функций коэффициента готовности $K_Г(T_{об})$ и технического использования $K_{ТИ}(T_{об})$

$$\overline{K}_{ТИ}(T_{об}) = \frac{1}{Np_m} \sum_{j=1}^{Np_m} \frac{T_1^j(T_{об}) + T_2^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}{\sum_{i=1}^8 T_i^j(T_{об})}, m = \overline{M}; \quad (1)$$

$$\overline{K}_Г(T_{об}) = \frac{1}{Np_m} \sum_{j=1}^{Np_m} \frac{T_1^j(T_{об}) + T_2^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}{\sum_{i=1}^3 T_i^j(T_{об}) + T_6^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}, m = \overline{M}, \quad (2)$$

где Np_m – количество реализаций функций $K_Г(T_{об})$ и $K_{ТИ}(T_{об})$; $T_{об}$ – периодичность технического обслуживания; T_i^j – суммарное время пребывания в состоянии S_i для j -ой реализации; M – количество сечений семейства реализаций, определяемое как $T_{об_{MAX}} / \Delta T$.

Для получения результатов моделирования, которыми можно оперировать в дальнейших исследованиях, необходимо:

- 1) либо повысить количество прогонов модели для получения большого количества статистических данных, но при этом увеличиваются затраты машинного времени;
- 2) либо использовать методы понижения дисперсии для уменьшения дисперсии в выходных данных.

Для устранения численной неустойчивости в выходных данных использованы три метода понижения дисперсии: метод дополняющих случайных величин, метод стратифицированной выборки, метод значимой выборки.

МЕТОД ДОПОЛНЯЮЩИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Основная идея метода заключается в выполнении пар прогонов имитационной модели таким образом, чтобы небольшое значение наблюдения, полученное в результате одного из прогонов, компенсировалось за счет большого значения наблюдения, полученного в ходе другого прогона, то есть оба наблюдения являются отрицательно коррелированными. Тогда, если мы воспользуемся средним для двух значений наблюдений в паре как основной информационной точкой анализа, оно будет ближе к общему математическому ожиданию наблюдения, чем если бы оба наблюдения в паре были независимыми.

При реализации метода дополняющих случайных величин в ходе первого прогона использовалось отдельное случайное число U_k , в ходе второго прогона использовалось число $(1-U_k)$ вместо прямого вывода из генератора псевдослучайных чисел (ГПСЧ), поскольку $U \sim U(0,1)$ предполагает, что $1-U_k \sim U(0,1)$, т.е. величина $(1-U_k)$ также являлась случайным числом. Использование U_k в одном прогоне имитационной модели и дополняющей величины $(1-U_k)$ в парном прогоне было синхронизировано, то есть эти две величины использовались с одной и той же целью.

Предположим, что выполняется n пар прогонов имитационной модели, в результате имеем наблюдения $(X_1^{(1)}, X_1^{(2)}), \dots, (X_n^{(1)}, X_n^{(2)})$, где $X_j^{(1)}$ получено при первом прогоне (с использованием только величин U_k) из j -ой пары, а $X_j^{(2)}$ – в ходе дополняющего прогона (с использованием величин $(1-U_k)$) из j -ой пары. Как $X_j^{(1)}$, так и $X_j^{(2)}$ являются правильными данными наблюдений, так что $E(X_j^{(1)}) = E(X_j^{(2)}) = \mu$. Кроме того, каждая пара не зависит от любой другой пары, то есть при $j_1 \neq j_2$ величины $X_{j_1}^{(l_1)}$ и $X_{j_2}^{(l_2)}$ являются независимыми, несмотря на то, будут ли l_1 и l_2 равными. Оценка среднего отклика системы \overline{X}_j вычислялась по формуле [4]:

$$\overline{X}_j = \frac{1}{2}(X_j^{(1)} + X_j^{(2)}), \quad (3)$$

где $X_j^{(1)}$ и $X_j^{(2)}$ – отклики в первом и втором прогонах соответственно.

Поскольку величины X_j являются независимыми и одинаково распределенными, то имеет место формула (4) [5]. Если два прогона в паре выполняются независимо, то $Cov(X_j^{(1)}, X_j^{(2)}) = 0$. С другой стороны, если вызвана отрицательная корреляция между $X_j^{(1)}$ и $X_j^{(2)}$, то ковариация между величинами $Cov(X_j^{(1)}, X_j^{(2)}) < 0$, что приводит к понижению дисперсии оценки среднего $Var[\overline{X}(n)]$.

$$\text{Var}[\bar{X}(n)] = \frac{\text{Var}(X_j)}{n} = \frac{\text{Var}(X_j^{(1)}) + \text{Var}(X_j^{(2)}) + 2\text{Cov}(X_j^{(1)}, X_j^{(2)})}{4n}, \quad (4)$$

где $\text{Var}(X_j)$ – дисперсия среднего отклика; $\text{Var}(X_j^{(1)})$ – дисперсия величины $X_j^{(1)}$; $\text{Var}(X_j^{(2)})$ – дисперсия величины $X_j^{(2)}$.

При использовании дополнительных случайных величин нет полной уверенности в том, что этот метод будет эффективен. Заранее неизвестно, какого уменьшения дисперсии можно достигнуть.

В результате работы модели были получены выходные данные до ($K_{ТИ}$ и $K_{Г}$) и после ($\hat{K}_{ТИ}$ и $\hat{K}_{Г}$) применения метода дополнительных случайных величин, как показано на рисунке 2. Здесь видно сглаживание графиков.

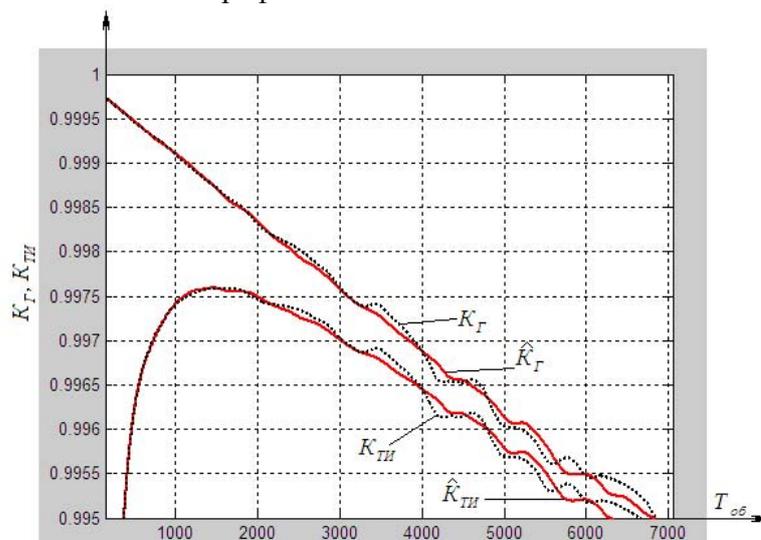


Рисунок 2 – Выходные результаты до и после применения метода дополнительных случайных величин

В ходе прогона модели проводился расчет дисперсии для каждого ансамбля реализаций N . На рисунке 3 показаны графики дисперсий для коэффициента готовности для случая без применения метода понижения дисперсии (DX_{Kg}) и с методом дополнительных

случайных величин (\hat{DX}_{Kg}). Как видно из рисунка 2, при применении дополнительных случайных величин дисперсия заметно ниже на всех ансамблях реализаций коэффициента готовности.

Для оценки эффективности применения метода производился расчет уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента готовности по формуле (5). Уменьшение дисперсии в графическом виде представлено на рисунке 4.

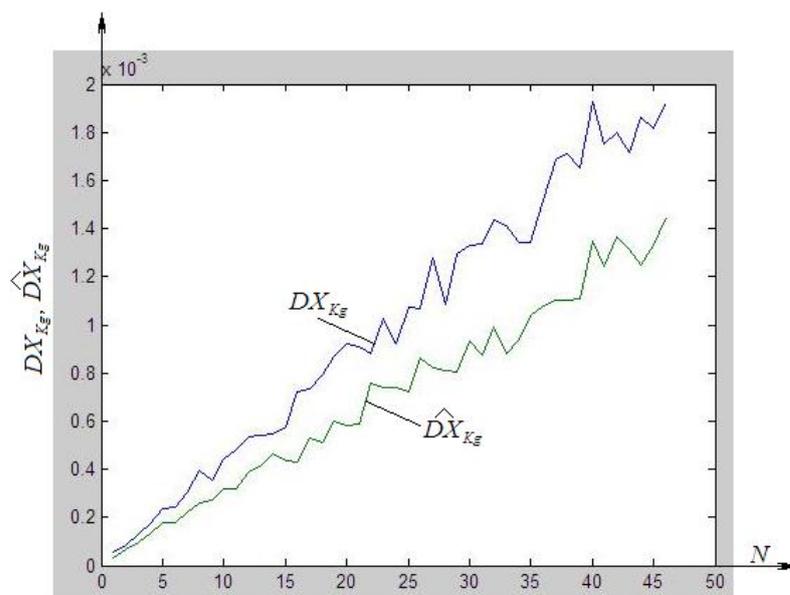


Рисунок 3 – Графики дисперсий коэффициента готовности до и после применения метода дополняющих случайных величин

Из рисунка 4, что на всех ансамблях реализаций коэффициента готовности достигнуто уменьшение дисперсии от 15 до 40%. После усреднения по всем точкам установлено, что в среднем удалось уменьшить дисперсию на 28%.

$$\varepsilon = \frac{DX_{Kg} - \hat{DX}_{Kg}}{DX_{Kg}} \cdot 100\%, \tag{5}$$

где DX_{Kg} – дисперсия коэффициента готовности до применения метода дополняющих случайных величин; \hat{DX}_{Kg} – дисперсия коэффициента готовности после применения метода дополняющих случайных величин.

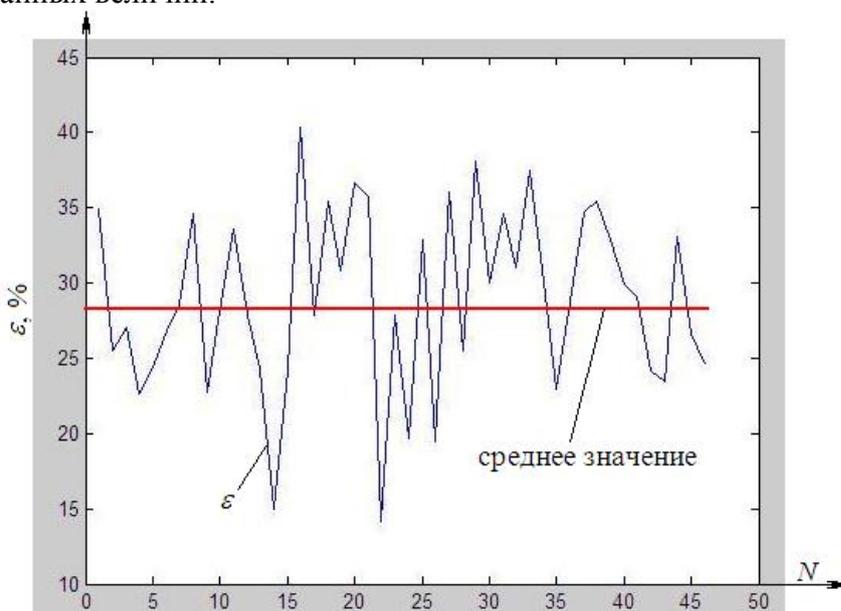


Рисунок 4 – График величины уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента готовности

МЕТОД СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ВЫБОРКИ

В начале процедуры ОАИ [6] генерировалось псевдослучайное число, которое потом использовалось для расчетов в каждом слое. Расслоение производилось на три слоя, т.е.

параллельно проводился расчет трех реализаций процедуры ОАИ. Число U , генерируемое ГПСЧ, принадлежало интервалу $[0, 1)$. Данный интервал разбивался на три подобласти (страты) с одинаковой вероятностью ($1/3$) – интервалы $[0; 1/3)$, $[1/3; 2/3)$, $[2/3; 1)$. В случае попадания числа в интервал $[0; 1/3)$ используемые псевдослучайные числа U_1 , U_2 и U_3 для соответствующего слоя определялись по формуле (6). В случае попадания числа в интервал $[1/3; 2/3)$ числа для каждого слоя определялись по формуле (7). В случае попадания числа в интервал $[2/3; 1)$ числа для каждого слоя определялись по формуле (8). Далее выходные данные находились как среднее арифметическое по трем реализациям [7].

$$\begin{cases} U_1 = U \\ U_2 = U + \frac{1}{3} \\ U_3 = U + \frac{2}{3} \end{cases} \cdot (6) \quad \begin{cases} U_1 = U - \frac{1}{3} \\ U_2 = U \\ U_3 = U + \frac{1}{3} \end{cases} \cdot (7) \quad \begin{cases} U_1 = U - \frac{2}{3} \\ U_2 = U - \frac{1}{3} \\ U_3 = U \end{cases} \cdot (8)$$

На рисунке 5 показаны выходные данные до (коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ и коэффициент готовности $K_{Г}$) и после (коэффициент технического использования $\hat{K}_{ТИ}$ и коэффициент готовности $\hat{K}_{Г}$) применения метода стратифицированной выборки, визуально видно сглаживание графиков.

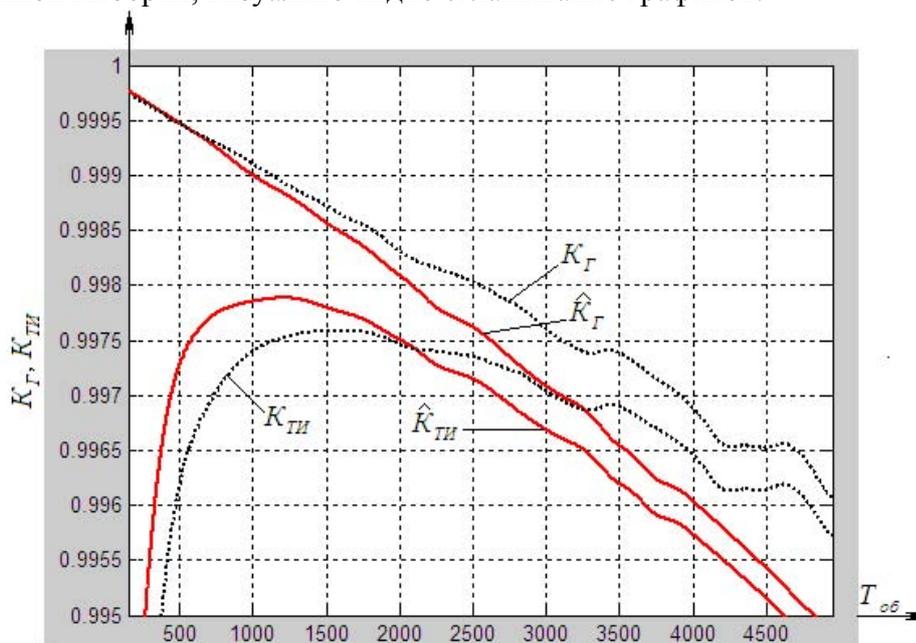


Рисунок 5 – Выходные результаты до и после применения метода стратифицированной выборки

В ходе прогонов модели проводился расчет дисперсии для каждого ансамбля реализаций. На рисунке 6 показаны графики дисперсий для коэффициента готовности для случаев без применения метода понижения дисперсии (DX_{Kg}) и с применением метода стратифицированной выборки (\hat{DX}_{Kg}). Как видно из рисунка, при применении стратифицированной выборки дисперсия заметно ниже на всех ансамблях реализаций коэффициента готовности.

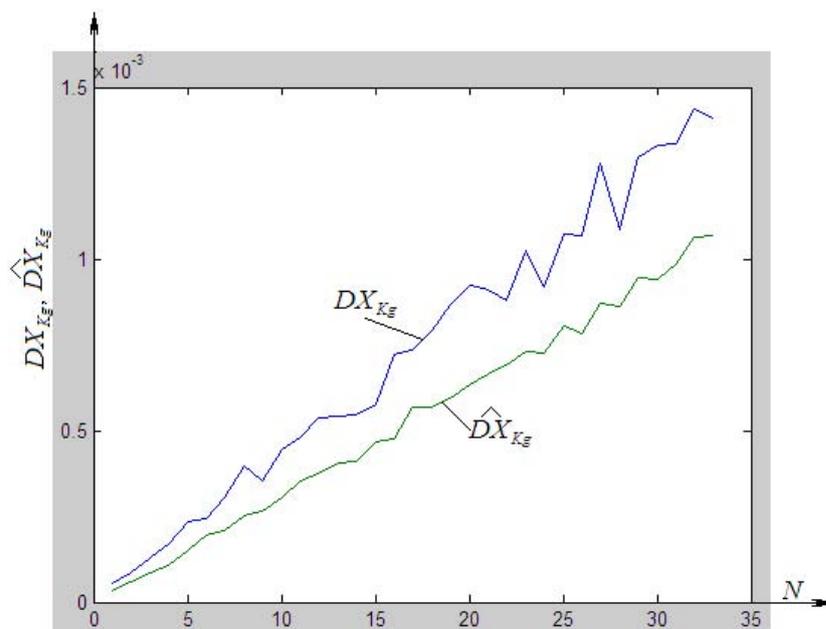


Рисунок 6 – Графики дисперсий коэффициента готовности до и после применения метода понижения дисперсии

Для оценки эффективности применения метода произведен расчет уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента готовности по формуле (5). Уменьшение дисперсии в графическом виде представлено на рисунке 7. Отсюда видно, что на всех ансамблях реализаций коэффициента готовности достигнуто уменьшение дисперсии от 19 до 38%. После усреднения по всем точкам установлено, что в среднем удалось уменьшить дисперсию на 28%. Однако применение метода стратифицированной выборки привело к искажению выходных данных. Поэтому данный метод не может применяться для понижения дисперсии в выходных данных для данной имитационной модели.

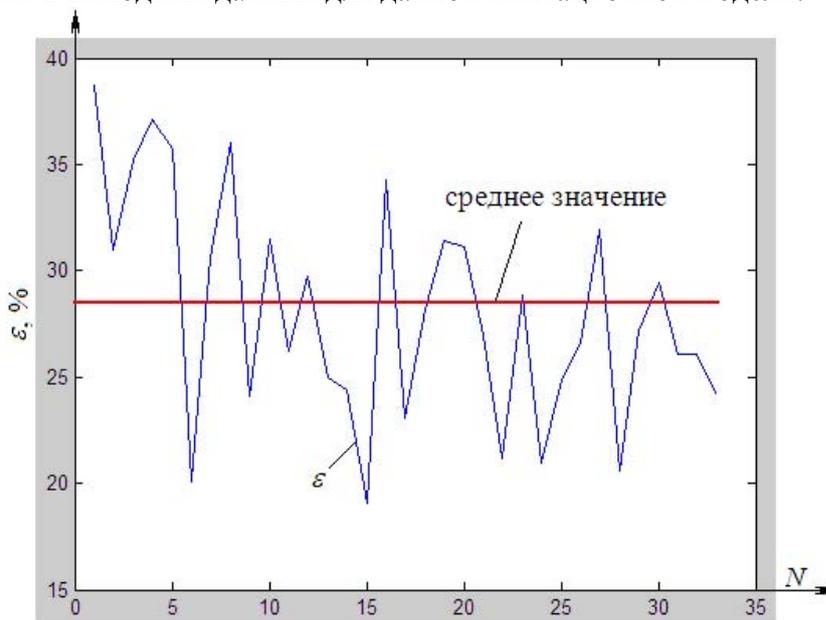


Рисунок 7 – График величины уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента готовности

МЕТОД ЗНАЧИМОЙ ВЫБОРКИ

Для реализации метода значимой выборки в новом выборочном процессе наблюдения корректировались своего рода взвешиванием так, чтобы среднее подкорректированных наблюдений было несмещенной оценкой среднего исходного процесса.

Для реализации метода значимой выборки была увеличена вероятность появления события состояния скрытого отказа посредством добавления коэффициента K_p в матрице переходных вероятностей.

Формулы для вычисления оценок значений функционалов $\overline{K}_\Gamma(T_{об})$ и $\overline{K}_{ТИ}(T_{об})$ в соответствии с введением коэффициента K_p приняли вид формул (9) и (10).

$$\overline{K}_{ТИ}(T_{об}) = \frac{1}{Np_m} \sum_{j=1}^{Np_m} \frac{T_1^j(T_{об}) + T_2^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}{\sum_{i=1}^5 T_i^j(T_{об}) + \frac{T_6^j(T_{об})}{K_p} + T_7^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}, m = \overline{1, M}, \quad (7)$$

$$\overline{K}_\Gamma(T_{об}) = \frac{1}{Np_m} \sum_{j=1}^{Np_m} \frac{T_1^j(T_{об}) + T_2^j(T_{об}) + T_8^j(T_{об})}{\sum_{i=1}^3 T_i^j(T_{об}) + \frac{T_6^j(T_{об})}{K_p} + T_8^j(T_{об})}, m = \overline{1, M}, \quad (8)$$

где Np_m – количество реализаций функционалов $K_\Gamma(T_{об})$ и $K_{ТИ}(T_{об})$; T_i^j – суммарное время пребывания в состоянии S_i для j -ой реализации; M – количество сечений семейства реализаций, определяемое как $T_{об_{MAX}} / \Delta T$.

На рисунке 8 показаны выходные данные до (коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ и коэффициент готовности K_Γ) и после (коэффициент технического использования $\hat{K}_{ТИ}$ и коэффициент готовности \hat{K}_Γ) применения метода значимой выборки при значении коэффициента $K_p = 1,5$. При значениях коэффициента $K_p = 1,5$ наблюдалось хорошее сглаживание выходных данных. При значениях K_p больше 2 наблюдались искажения выходных данных, например, при $K_p = 3$ результаты работы модели показаны на рисунке 9.

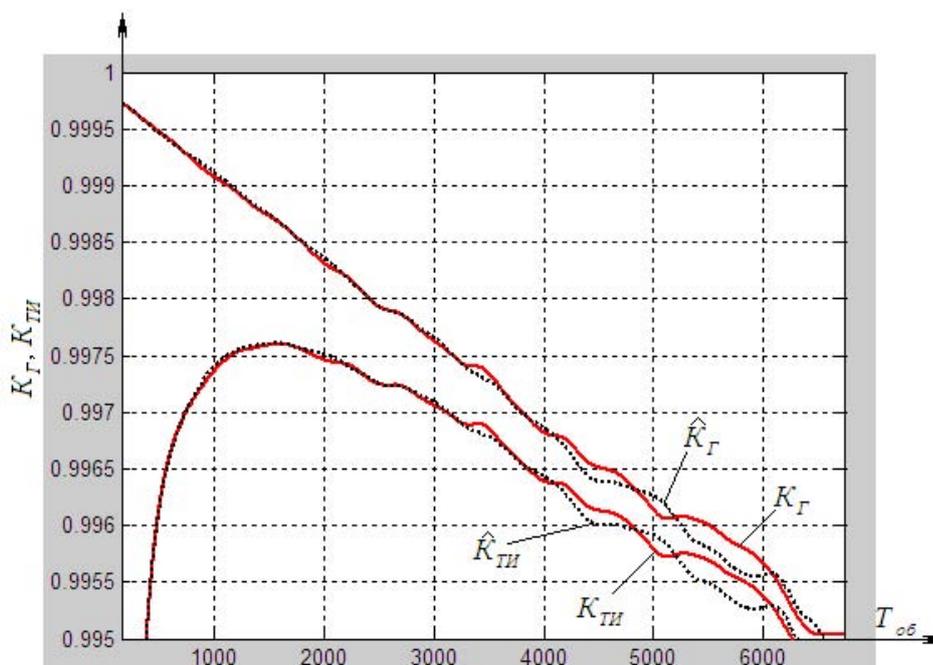


Рисунок 8 – Выходные результаты до и после применения метода значимой выборки при $K_p = 1,5$

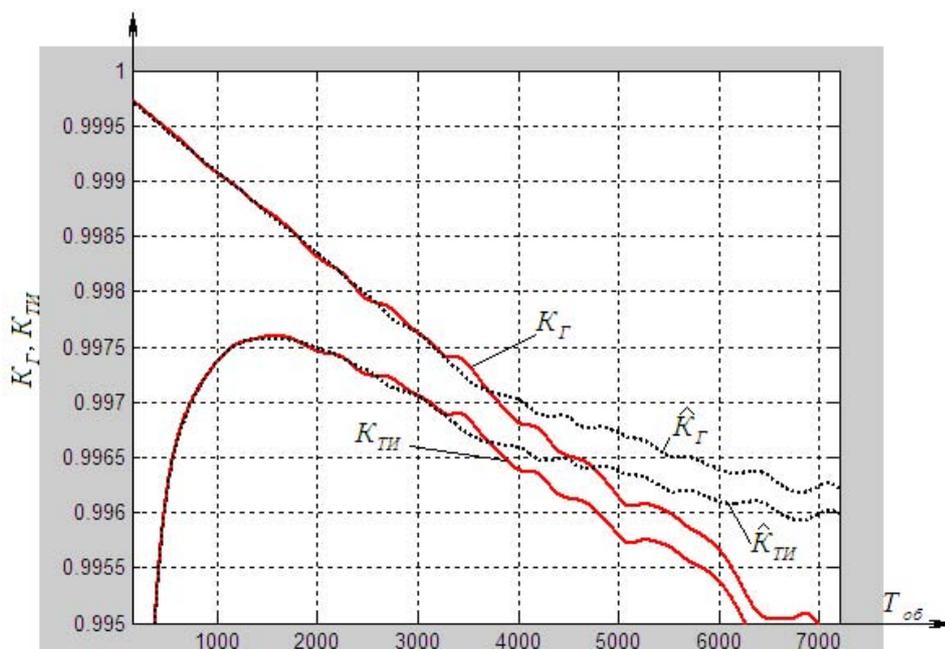


Рисунок 9 – Выходные результаты до и после применения метода значимой выборки при $K_p = 3$

Для оценки эффективности применения метода производился расчет уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента технического использования по формуле (5). Уменьшение дисперсии в графическом виде представлено на рисунке 10 для коэффициента $K_p = 1,5$. Как видно из рисунка 10, на всех ансамблях реализаций коэффициента технического использования наблюдалось уменьшение дисперсии.

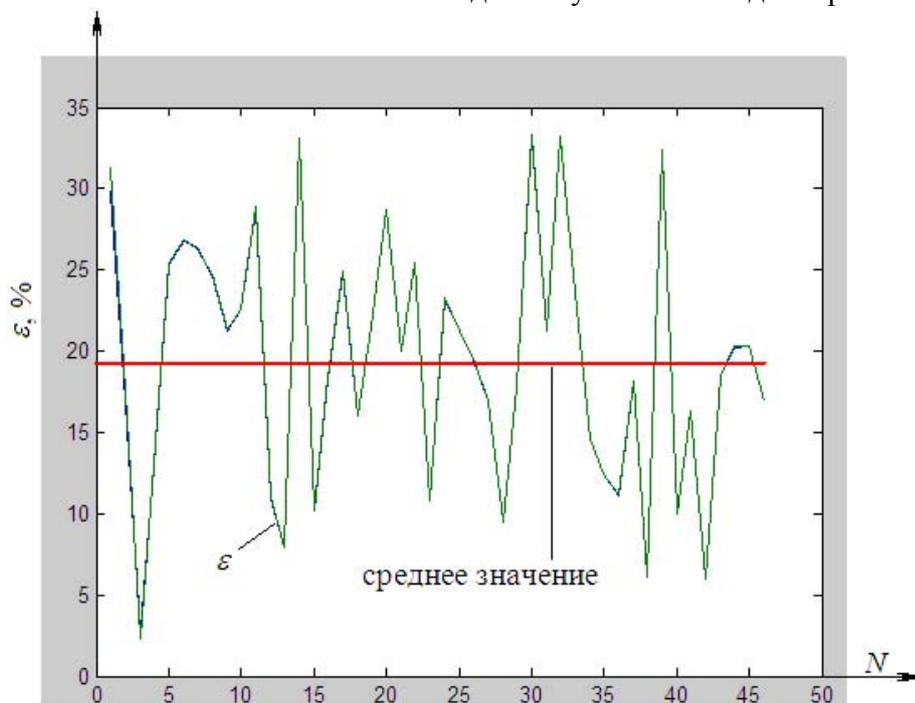


Рисунок 10 – График величины уменьшения дисперсии для каждого ансамбля реализации коэффициента технического использования при $K_p = 1,5$

В таблицах 1-2 показано, насколько удалось уменьшить дисперсию при различных значениях коэффициента K_p : минимальное, максимальное и среднее значения уменьшения

дисперсии по всем ансамблям реализаций коэффициента технического использования и коэффициента готовности.

Таблица 1 – Наблюдаемое уменьшение дисперсии коэффициента технического использования при различных значениях коэффициента K_p

	Значение коэффициента K_p				
	1,5	1,7	2	3	6
ε_{min} , %	2,5	11	13	30	42
ε_{max} , %	34	39,8	37,6	53	77
$\varepsilon_{срeдн}$, %	19,3	22,8	28,3	42,4	65,5

Таблица 2 – Наблюдаемое уменьшение дисперсии коэффициента готовности при различных значениях коэффициента K_p

	Значение коэффициента K_p				
	1,5	1,7	2	3	6
ε_{min} , %	2,5	11	13	30	42
ε_{max} , %	34	39,8	37,6	53	77
$\varepsilon_{срeдн}$, %	19,3	22,8	28,3	42,4	65,5

Таким образом, проведена адаптация методов понижения дисперсии: дополняющих случайных величин, стратифицированной выборки, значимой выборки – для использования в имитационной модели процесса функционирования и технического обслуживания устройств технологической радиосвязи. Получены оценки функционалов готовности и технического использования с дисперсией меньшей по сравнению с оценками без применения методов понижения дисперсии. При использовании метода стратифицированной выборки выходные данные имитационной модели были искажены. Поэтому данный метод не применим в данной имитационной модели.

Самым эффективным из рассмотренных методов показал себя метод значимой выборки. Его использование позволило уменьшить дисперсию в выходных данных от 13 до 37,6%. После усреднения по всем точкам установлено, что в среднем удалось уменьшить дисперсию на 28,3%. Также при использовании данного метода уменьшилось время выполнения программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Когут А.Т. Полиномиальная аппроксимация в некоторых задачах оптимизации и управления: монография. – Омск: ОмГУПС, 2003. – 243 с.
2. Когут А.Т., Тихонова Н.А. Применение алгоритмов линеаризации для идентификации и адаптивного управления в нелинейных динамических системах: монография. – Омск: ОмГУПС, 2008. – 125 с.
3. Любченко А.А. Анализ процессов технического обслуживания элементов сложных технических систем // Известия Транссиба. – № 1(5). – Омск: Изд-во ОмГУПС, 2011. – С. 88-94.
4. Любченко А.А. Алгоритмы автоматизации проектирования регламента планового обслуживания изделий промышленной радиосвязи // Известия Транссиба. – № 1(9). – Омск: Изд-во ОмГУПС, 2012. – С. 84-92.
5. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для ВУЗов. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
6. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. – СПб.: Издательская группа ВHV, 2004. – 847 с.

7. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. – М.: Статистика, 1978. – 335 с.

Бартош Станислав Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск
Аспирант
Тел.: 8 913 967 11 50
E-mail: watmash@mail.ru

Когут Алексей Тарасович

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск
Доктор технических наук, профессор
Тел.: 8 913 613 39 11
E-mail: kogutat@gmail.com

Любченко Александр Александрович

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск
Преподаватель
Тел.: 8 960 998 97 04
E-mail: lyubchenko@mail.ru

S.V. BARTOSH (*Post-graduate Student*)

A.T. KOGUT (*Doctor of Engineering Sciences, Professor*)

A.A. LYUBCHENKO (*Teacher*)
Omsk State Transport University, Omsk

**INCREASING OF AN EFFICIENCY OF SMOOTHING
OF THE RESULTS OF A SIMULATION**

In the article described a research of increasing of the efficiency of smoothing of the results of the simulation of an operational process and the maintenance works (a servicing) for the purpose of getting of the results of the simulation applicable for a further research.

Keywords: *coefficient of technical use; availability coefficient; variance; method for reducing the variance.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kogut A.T. Polinomial'naya approksimaciya v nekotory'x zadachax optimizacii i upravleniya: monografiya. – Omsk: OmGUPS, 2003. – 243 s.
2. Kogut A.T., Tixonova N.A. Primenenie algoritmov linearizacii dlya identifikacii i adaptivnogo upravleniya v nelinejny'x dinamicheskix sistemax: monografiya. – Omsk: OmGUPS, 2008. – 125 s.
3. Lyubchenko A.A. Analiz processov texnicheskogo obsluzhivaniya e'lementov slozhny'x texnicheskix sistem // Izvestiya Transsiba. – № 1(5). – Omsk: Izd-vo OmGUPS, 2011. – S. 88-94.
4. Lyubchenko A.A. Algoritmy' avtomatizacii proektirovaniya reglamenta planovogo obsluzhivaniya izdelij promy'shlennoj radiosvyazi // Izvestiya Transsiba. – № 1(9). – Omsk: Izd-vo OmGUPS, 2012. – S. 84-92.
5. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. Modelirovanie sistem: uchebnik dlya VUZov. – M.: Vy'ssh. shk., 2001. – 343 s.
6. Kel'ton V., Lou A. Imitacionnoe modelirovanie. Klassika CS. – SPb.: Izdatel'skaya gruppa BHV, 2004. – 847 s.
7. Klejnen Dzh. Statisticheskie matody' v imitacionnom modelirovanii. – M.: Statistika, 1978. – 335 s.

УДК 51

Ю.С. СЕРБУЛОВ, Д.В. СЫСОЕВ, Д.А. ГЛУХОВ

МОДЕЛЬ РЕСУРСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНКУРИРУЮЩИХ СИСТЕМ В РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЯХ

В статье представлена математическая модель ресурсного конкурентного взаимодействия производственно-экономических систем в условиях рыночных отношений, позволяющая весь процесс ресурсного взаимодействия систем условно разделить на четыре фазы, каждая из которых характеризует различные стадии развития конкуренции.

Ключевые слова: математическая модель; конкурирующие системы; конфликт; взаимодействие; рыночные отношения.

ВВЕДЕНИЕ

В современных нестабильных социально-экономических условиях спецификой развития различного рода производственно-экономических систем (далее – систем) является, с одной стороны, усиление процесса интеграции и концентрации производства, а с другой – выполнение целевых задач в условиях конкуренции за овладение или перераспределение того или другого вида (типа) материального, энергетического, информационного и т.п. ресурсов. Конкуренция представляет борьбу за достижение превосходства в предметной области одной из конфликтующих систем.

В настоящее время установлено [1], что чаще всего причиной возникновения конкуренции является общий ресурс, поэтому конкуренция может возникать даже на ранних этапах взаимодействия и приводить к появлению на рынке качественно новых конкурирующих за общий ресурс систем. Развитие таких систем до некоторого момента времени характеризуется экспоненциальным ростом с неменяющимися показателями.

В качестве критерия, характеризующего силовые возможности конкурирующих систем, целесообразно использовать «экономический потенциал» [2]. Экономический потенциал – это способность производственно-экономической системы эффективно использовать имеющиеся ресурсы в достижении поставленных целей, а также альтернативные возможности сохранения своего положения и дальнейшего развития в будущем в условиях изменяющейся внешней среды.

Целью исследования является построение математической модели ресурсного взаимодействия конкурирующих систем в рыночных отношениях, позволяющей определить основные характеристики этого процесса.

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНКУРИРУЮЩИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНОГО КОНФЛИКТА

Обозначим потенциал системы A_2 в момент времени t через $x(t)$, тогда рост потенциала в условиях неограниченного на рынке ресурса может быть описан выражением:

$$x(t) = x(0) \cdot e^{\alpha \cdot t}, \quad (1)$$

где $x(0)$ – потенциал системы A_2 в начальный момент времени, т.е. в момент t_0 – момент появления системы A_2 на рынке; величина α – коэффициент пропорциональности, который представляет собой удельную скорость изменения потенциала $\alpha = g_2 - c_2$, где g_2 и c_2 – коэффициенты, характеризующие удельные скорости роста (убывания) потенциала соответственно в период развития и стагнации A_2 .

Аналогично запишем выражение развития системы A_1 :

$$y(t) = y(0) \cdot e^{\beta \cdot t}, \quad (2)$$

где $y(0)$ – потенциал системы A_1 в начальный момент времени, т.е. в момент появления на рынке конкурирующей системы A_1 ; величина $\beta = g_1 - c_1$, где g_1 и c_1 – коэффициенты, характеризующие удельные скорости роста (убывания) потенциала в периоды развития (стагнации) A_1 .

Характерной особенностью систем A_1 и A_2 является их способность к самоподдержанию. Благодаря этому свойству обеспечивается некоторое равновесие систем на рынке, несмотря на конкурирующий вид взаимодействия.

После своего образования обе системы начинают свободно развиваться. Пока их потенциал остается низким, а взаимодействие между ними слабым, этот рост можно считать экспоненциальным. На поздних стадиях процесса развития, когда относительный объем потенциалов обеих систем на рынке значительно увеличивается, наступает замедление экспоненциального роста, вызванное эффектом «перенаселения» [3].

Характерной особенностью конкуренции является резкое подавление одной системой нормального функционирования другой системы. Причина этого нарушения до настоящего времени является малоизученной. Можно сделать предположение, что система A_2 обладает способностью подавлять дифференциацию развития системы A_1 .

Рассмотрим упрощенную модель ресурсного взаимодействия конкурирующих систем, когда блокировка развития системы A_1 наступает после того, как конкурирующая система A_2 достигает критического этапа развития с точки зрения заданного бесконфликтного с системой A_1 взаимодействия [4]. Момент, когда происходит резкий перелом в ходе кривой процента занятого на рынке объема системы A_1 , можно интерпретировать как начало резкого ухудшения ее взаимодействия с A_2 . Отсутствие экспериментальных данных по течению процесса не позволяет определить этот момент точно.

В первом приближении будем предполагать, что действие систем A_2 на A_1 носит пороговый характер, т.е. резкое ухудшение качества взаимодействия начинается в некоторый момент времени $t_{порог}$ при достижении системой A_2 некоторого потенциала, который назовем критическим для системы A_1 потенциалом и обозначаемым $x_{кр}$. Система A_1 остается как бы заторможенной при $x(t) \geq x_{кр}$. Если $x(t)$ с некоторого момента времени становится меньше $x_{кр}$, например, после воздействия A_1 на A_2 путем внесения в процесс взаимодействия некоторого действия, то система A_1 начинает, развиваясь, повышать качество на рынке своего функционирования. Это продолжается до момента достижения системой A_2 потенциала $x_{кр}$ и т.д. Конечно, предлагаемый принцип лишь приближенно описывает процесс воздействия системы A_2 на A_1 . Тем не менее, всякое усложнение представления о взаимодействии фактически приводит к увеличению числа параметров, что существенно снижает ценность модели ввиду отсутствия достаточного количества статистических данных.

Рассмотрим примеры возможного взаимодействия в конкурирующих системах в момент времени $t_0 + t_{порог}$, потенциал системы A_1 до этого момента будем считать равным y_{const} . Обозначим потенциал системы A_1 в момент времени $t_0 + t_{порог} + t_{разв} + \tau$ через $y(\tau)$, где $t_{разв}$ – время развития системы A_2 . Здесь под $y(\tau)$ понимается потенциал системы A_1 в момент времени $t_{норм}$, оказывающий влияние на увеличение показателей качества своего развития. Потенциал $y(\tau)$ еще некоторое время будет оставаться равным y_{const} . Это время равно времени развития системы $t_{разв}$. Но при $\tau > 0$ потенциал системы

A_1 $y(\tau)$ начинает убывать, так как к этому времени начинает сказываться развитие A_2 , вызванное ростом ее потенциала.

Можно предположить, что потенциал системы A_1 $y_g(\tau)$ по степени влияния на качество бесконфликтного взаимодействия с системой A_2 за время τ после момента $t_0 + t_{порог} + t_{разв} = t_{норм}$ можно определить по соотношению $y'(\tau) = \beta \cdot y(\tau) = \beta(y_{const} - y_g(\tau))$. Величина β характеризует скорость убывания воздействия на качество своего положения на рынке системы A_1 .

Решая данное уравнение при начальных условиях $\tau = 0, y_g(0) = 0$, получаем $y_g(\tau) = y_{const}(1 - e^{-\beta\tau}), y(\tau) = y_{const} - y_g(\tau) = y_{const}e^{-\beta\tau}$.

График изменения $y(\tau)$ представлен на рисунке 1.

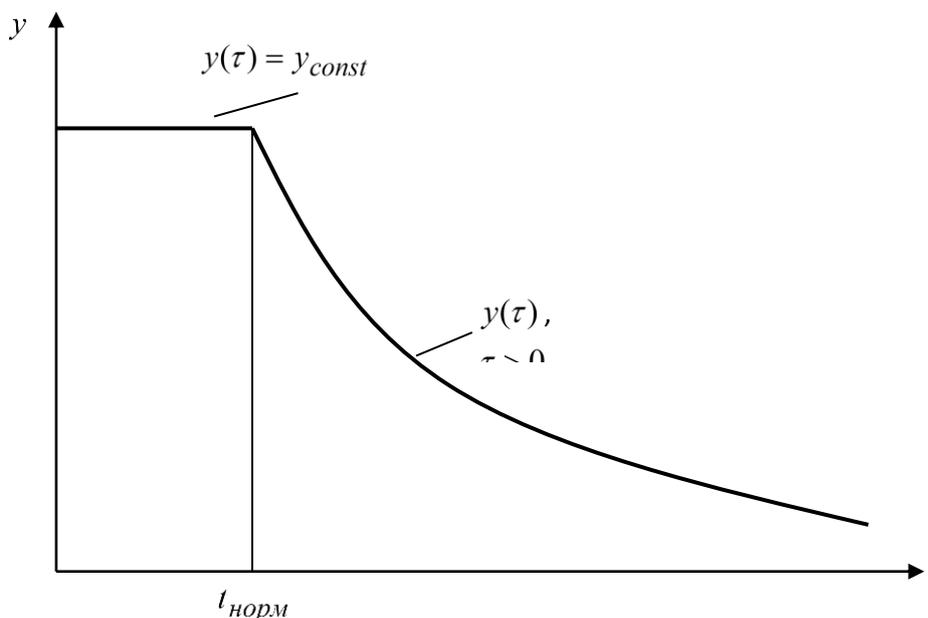


Рисунок 1 – График изменения потенциала системы A_1 в процессе развития конкуренции

Рассмотрим теперь взаимоотношения между системами A_1 и A_2 в далеко зашедшей стадии воздействия конкуренции, когда в результате «эффекта перенаселения» наступает замедление экспоненциального роста обеих систем. Обозначим момент времени замедления роста $t_{замедл} = t_{норм} + \tau_{замедл}$. Поскольку механизмы этих явлений остаются неизученными, введем предположение, заключающееся в том, что на данной стадии воздействия конкуренции скорость роста потенциала системы A_2 $x'(t_{замедл})$ не должна превышать скорость роста потенциала системы A_1 $y'(t_{замедл} - t_{норм})$. Тогда

$$1 = \frac{y'(t_{замедл} - t_{норм})}{x'(t_{замедл})} = \frac{y_{const} \beta e^{-\beta(t_{замедл} - t_{норм})}}{x(0)\alpha e^{\alpha t_{замедл}}}. \quad (3)$$

Из этого уравнения получаем соотношение потенциалов $y(\tau)$ и $x(t)$ в момент времени $t_{замедл}$:

$$x(t_{замедл}) = x(0)e^{\alpha t_{замедл}} = \frac{\beta}{\alpha} y_{const} e^{-\beta \tau_{замедл}} = \frac{\beta}{\alpha} y(\tau_{замедл}), \quad \frac{y'(\tau_{замедл})}{x'(\tau_{замедл})} = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (4)$$

Все вышеизложенное позволяет охарактеризовать влияние конкуренции от момента появления системы на рынке – t_0 , когда потенциал A_2 $x(0) > 0$, до времени $t_0 + t$ – момента полного отсутствия конкуренции. Для удобства полагаем, что $t_0 = 0$, а влияние контаминации происходит на отрезке времени $[0, t]$.

В соответствии с изложенными представлениями этот отрезок времени может быть разбит на 4 этапа, соответствующих различным фазам, характеризующим состояние систем при конкуренции.

1. Фаза свободного развития системы A_2 от 0 до $t_{норог}$, т.е. до момента достижения системой A_2 потенциала $x_{кр}$. Как было показано выше, потенциалы систем A_1 и A_2 в период от 0 до $t_{норог}$ соответственно равны $y(t) = y(0)e^{\beta t}$ и $x(t) = x(0)e^{\alpha t}$. Отсюда можно определить процент потенциала системы A_2 на рынке в этой фазе:

$$P_{\phi 1}(t) = \frac{x(0)e^{\alpha t}}{x(0)e^{\alpha t} + y(0)e^{\beta t}}, \quad 0 \leq t \leq t_{норог}. \quad (5)$$

2. Фаза начала воздействия системы A_2 на A_1 . Данная фаза начинается в момент $t_{норог}$ и длится в течение периода $t_{разв}$ – времени развития системы A_2 до момента $t_{норм} = t_{норог} + t_{разв}$. В этот момент потенциал системы A_2 увеличивается. Процент потенциала $P_{\phi 2}(t)$ системы A_2 также вычисляется по формуле (5), только $t_{норог} \leq t \leq t_{норм}$.

3. Фаза выраженной конкуренции. В этой фазе потенциал системы A_1 , определяющий качество взаимодействия с системой A_2 , начинает убывать по экспоненте. Фаза длится от $t_{норм}$ до $t_{замедл}$. В момент $t_{замедл}$ скорость роста потенциала системы A_2 достигает скорости роста потенциала A_1 . Процент потенциала системы A_2 в этой фазе:

$$P_{\phi 3}(t) = \frac{x(0)e^{\alpha t}}{x(0)e^{\alpha t} + y(t_{норм})e^{-\beta(t-t_{норм})}}, \quad t_{норм} \leq t \leq t_{замедл}. \quad (6)$$

Заметим, что в этот период величина $P_{\phi 3}(t)$ резко увеличивается по сравнению с первой и второй фазами, т.к. $y(t) = y(\tau)e^{-\beta\tau}$, начинает убывать по экспоненте при $\tau < 0$.

4. Фаза уменьшения скорости роста потенциала системы A_2 . Эта фаза длится от $t_{замедл}$ до T – момента времени полной потери устойчивого взаимодействия с системой A_1 . Процент потенциала на рынке системы A_2 в этой фазе выражается формулой

$$\begin{aligned} P_{\phi 4}(t) &= \frac{x(t)}{x(t) + y(t-t_{норм})} = \frac{x(t_{замедл}) + y(t_{замедл} - t_{норм}) \left(1 - e^{-\beta(t-t_{замедл})}\right)}{x(t) + y(t_{замедл} - t_{норм}) e^{-\beta(t-t_{замедл})}} = \\ &= 1 - \frac{y(\tau_{замедл}) e^{-\beta(t-T_{замедл})}}{x(t_{замедл}) + y(\tau_{замедл})} = 1 - \frac{\alpha}{\alpha + \beta} e^{-\beta(t-t_{замедл})}. \end{aligned} \quad (7)$$

Процент потенциала в каждой фазе конкуренции дает возможность построить кривую на протяжении всего развития и вычислить ее характерные точки через основные параметры (рис. 2).

Первые две фазы, т.е. от 0 до $t_{норм}$, описываются одной функциональной зависимостью (1). При малом отношении $x(0)/y(t)$, что с физической точки зрения вполне естественно, величина $P(t) \approx x(0)e^{\alpha t} / y(t)$, но все же, величина $P(t)$ идет более полого, чем

$x(0)e^{\alpha t} / y(t)$, так как из (1) следует, что $P(t) \approx x(0)e^{\alpha t} / y(t)$. Величина $P(t)$, достигая при $t_{норм}$ значения, приблизительно равного $x(0)e^{\alpha t_{норм}} / y(t_{норм})$, затем ускоряет рост, принимает при $t_{замедл}$ значение $1 - \alpha / (\alpha + \beta) = \beta / (\alpha + \beta)$ и далее продолжает расти, постепенно замедляясь без точек перегиба. Таким образом, кривая, описывающая процент потенциала системы A_2 , будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

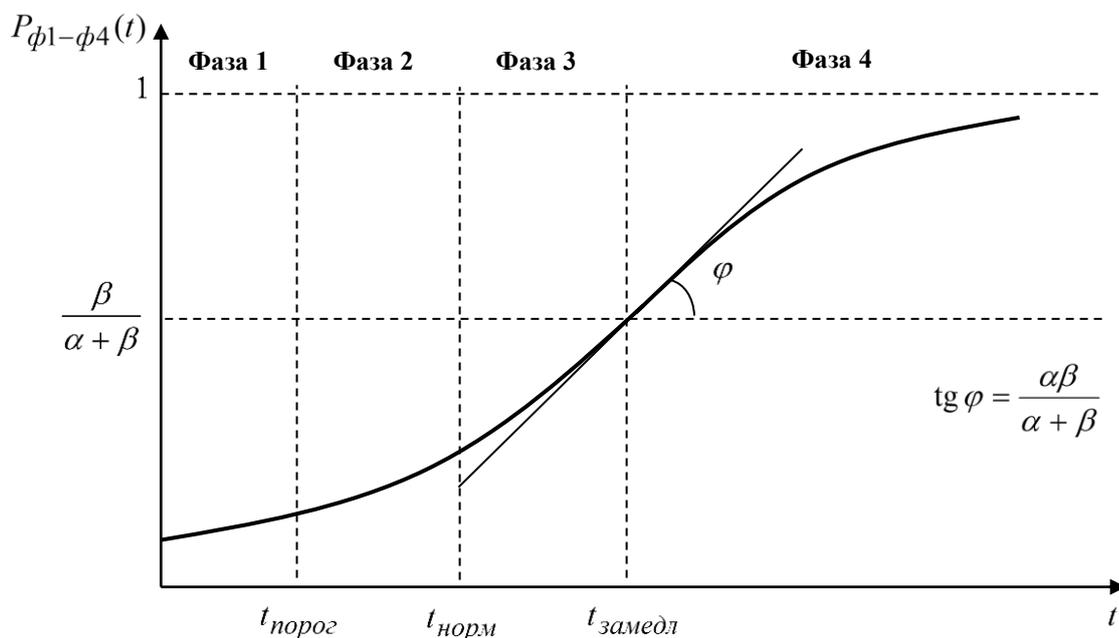


Рисунок 2 – График изменения процента потенциала системы A_2 в процессе развития конкуренции

Рассмотрим пример, в котором данные, характеризующие изменение процента потенциала системы A_2 на рынке, соответствуют таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Время	0	35	59	80	100
$P(t) * 100\%$	3	5,1	9,5	51	56

Точка $t_{замедл}$ характеризуется тем, что $P(t_{замедл}) = \beta / (\alpha + \beta)$ и $P'(t_{замедл}) = \alpha \beta / (\alpha + \beta)$, так что $P'(t_{замедл}) / P(t_{замедл}) = \alpha$. Это соотношение в принципе дает возможность по α определить $t_{замедл}$. Вычисления, проведенные на основе данных таблицы 1, дают значение $\alpha = 0,02$ и $t_{норм} \approx 70$ усл. ед. Величина β , определяемая по кривой $P_{\phi 3}(t)$ на участке, соответствующем фазе 3, оказывается равной 0,2. Момент $t_{замедл}$ можно определить из уравнения (2) при известных α , β и $y(t) / x(0) \approx 32$. Последнее определяется из данных таблицы 1 путем интерполирования к нулю. Отсюда получается $t_{замедл} - t_{норм} \approx 21$ усл. ед. Так как $t_{норм} \approx 70$ усл. ед., то $t_{замедл} \approx 90$ усл. ед. Это означает, что «эффект перенаселения» начинает сказываться примерно через 90 условных единиц после обнаружения на рынке системой A_1 системы A_2 . В соответствии с формулой (2) доля потенциала системы A_2 на рынке в момент «перенаселения» достигает 90 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель ресурсного взаимодействия систем в условиях конкуренции, позволяющая определить динамику изменения экономического потенциала конкурирующих систем на протяжении всего времени их взаимодействия с учетом особенностей каждой из четырех выделенных стадий конкуренции, а также момент наступления «эффекта перенаселения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сербулов Ю.С. Модель конфликтно-устойчивого ресурсного взаимодействия производственно-экономических систем с внешней средой / Ю.С. Сербулов, Л.Е. Мистров, Д.В. Сысоев, Н.В. Сысоева. – Воронеж: Научная книга, 2008. – 270 с.
2. Цыганов В.В. Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью (теория и практика упр. эволюцией организации) / В.В. Цыганов, В.А. Бородин, Г.Б. Шишкин. – М.: Унив. кн.: Логос, 2004. – 768 с.
3. Бардовский В.П. Экономика: учебник / В.П. Бардовский, О.В. Рудакова, Е.М. Самородова. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. – 672 с.: ил.
4. Сысоев Д.В. Автоматизированная процедура бесконфликтных операций управления поведением производственно-экономических систем в рыночных условиях / Д.В. Сысоев, Н.В. Сысоева // Вестник Воронежского института высоких технологий. – Воронеж: Научная книга, 2007. – № 2. – С. 224-227.

Сербулов Юрий Стефанович

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной техники и информационных систем

Тел.: 8 (473) 253-67-08

E-mail: userbulov@vglta.vrn.ru

Сысоев Дмитрий Валериевич

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем

Тел.: 8 (473) 276-39-72

E-mail: sysoevd@yandex.ru

Глухов Дмитрий Александрович

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов

Тел.: 8 (473) 253-70-50

E-mail: gluhovda@yandex.ru

*YU.F. SERBULOV (Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Professor of the Department of Computer Science and Information Systems)
Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh*

*D.V. SY'SOEV (Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Applied Computer Science and Information Systems)
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh*

*D.A. GLUXOV (Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Factory Automation)
Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh*

**RESOURCE MODEL OF INTERACTION COMPETING SYSTEMS
INTO THE MARKET**

The paper presents a mathematical model of resource competitive interaction of industrial and economic systems in the market conditions to allow a whole process of resource interoperability divided into four phases are, each of which describes the different stages of the competition.

Keywords: *mathematical model; competing systems; conflict; interaction; market relations.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Serbulov Yu.S. Model' konfliktno-ustojchivogo resursnogo vzaimodejstviya proizvodstvenno-e'konomicheskix sistem s vneshnej sredoj / Yu.S. Serbulov, L.E. Mistrov, D.V. Sy'soev, N.V. Sy'soeva. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – 270 s.
2. Cy'ganov V.V. Intellektual'noe predpriyatie: mexanizmy' ovladeniya kapitalom i vlast'yu (teoriya i praktika upr. e'volyucej organizacii) / V.V. Cy'ganov, V.A. Borodin, G.B. Shishkin. – M.: Univ. kn.: Logos, 2004. – 768 s.
3. Bardovskij V.P. E'konomika: uchebnik / V.P. Bardovskij, O.V. Rudakova, E.M. Samorodova. – M.: ID «FORUM»: INFRA-M, 2011. – 672 s.: il.
4. Sy'soev D.V. Avtomatizirovannaya procedura beskonfliktny'x operacij upravleniya povedeniem proizvodstvenno-e'konomicheskix sistem v ry'nochny'x usloviyaxx / D.V. Sy'soev, N.V. Sy'soeva // Vestnik Voronezhskogo instituta vy'sokix tehnologij. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2007. – № 2. – S. 224-227.

А.Н. КОНОПЛЕВ, Г.П. СУВОРОВА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Описывается разработанная математическая модель для восстановления технологического оборудования при мелкосерийном типе производства, определена вероятностная модель диагностики оборудования мелкосерийного производства, исследованы временные характеристики автоматизированной системы, позволяющие определять оптимальную работоспособность технологического оборудования.

Ключевые слова: математическая модель; системы массового обслуживания; мелкосерийное производство.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач оптимального планирования производственных процессов является задача обеспечения постоянной работоспособности и модернизации оборудования. Производство представляет собой достаточно сложную техническую систему. Среди задач, связанных с функционированием сложной технической системы, выделим задачи диагностики текущего состояния оборудования, оценки вероятности возникновения неисправностей и прогноза развития нарушений в работе оборудования [1-3].

Целью работы является разработка методов определения диагностики и восстановления работоспособности технологического оборудования мелкосерийного производства, позволяющих повысить вероятность прогнозирования неисправностей в работе цехового оборудования.

Математическая модель анализа неисправностей позволит выработать адекватные меры воздействия на объект управления для восстановления работоспособности сложной технической системы [4].

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Для моделирования задачи исследования отказов оборудования в производственном процессе может быть применена теория систем массового обслуживания (СМО). Поток заявок на ремонт оборудования является простейшим, то есть стационарным, ординарным и не имеющим последствий. Рассматриваемый поток требований можно описать количественно распределением Пуассона [5-6]:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где $P_k(t)$ – вероятность того, что в течение времени t в систему поступит точно k требований на обслуживание; λ – параметр потока – среднее число требований, поступающих в систему в единицу времени. Интенсивность потока поступающих заявок зависит от состояния самой системы. Такие системы массового обслуживания относятся к замкнутым системам или системам Энгесета.

Предположим, что в цехе имеется N станков, так же в цехе работают R бригад ремонтников, причем $N > R$. Оборудование, которое стоит в очереди на ремонт (сломанное оборудование), или оборудование, которое ремонтируется в данный момент, обозначим через k . Сломанное оборудование может обслуживаться только одной бригадой ремонтников. В данном случае оборудование является источником требований (заявками на обслуживание), а бригада ремонтников – обслуживающими каналами. Также

необходимым условием является то, что восстановленное оборудование через какое-то время может снова выйти из строя.

В рассматриваемой системе интервал времени $t_{\text{сред}}$ определяет время выхода из строя единицы оборудования. В этом случае λ – интенсивность появления поломок – равна $\lambda = \frac{1}{t_{\text{сред}}}$, а суммарный (общий) входящий поток заявок равен $(N - k)\lambda$.

Построим граф состояний системы (рис.1).

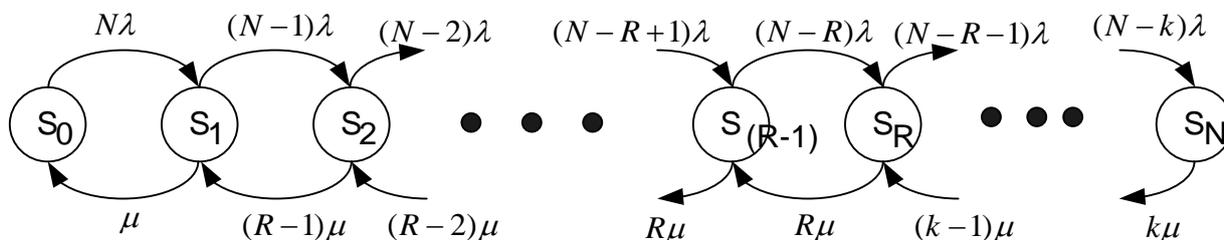


Рисунок 1 – Граф состояний системы

Состояния системы следующие: S_0 – все единицы оборудования находятся в исправном состоянии; S_1 – одна единица оборудования неработоспособна, одна бригада ремонтников занята его восстановлением; S_2 – две единицы оборудования неработоспособны, две бригады заняты восстановлением оборудования; ... S_R – R единиц оборудования вышли из строя, все бригады заняты восстановлением оборудования; ... $S_N - (N-K)$ – оборудование стоит в очереди на ремонт.

Составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова для состояний СМО на интервале времени $[0, t]$ представленного графа (рис. 1).

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(N\lambda)P_0(t) + \mu P_1(t) \\
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= (N\lambda)P_0(t) - ((N-1)\lambda + \mu)P_1(t) + ((R-1)\mu)P_2(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= ((N-1)\lambda)P_1(t) - ((N-2)\lambda + (R-1)\mu)P_2(t) + ((R-2)\mu)P_3(t) \\
 &\dots \\
 \frac{dP_R(t)}{dt} &= ((N-R)\lambda)P_{R-1}(t) - ((R\mu) + (N-R-1))P_R(t) + ((k-1)\mu)P_{R+1}(t) \\
 &\dots \\
 \frac{dP_N(t)}{dt} &= -(k\mu)P_N(t) + ((N-k)\lambda)P_{N-1}(t)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Условие нормирования следующее:

$$\sum_{k=0}^N P_k = 1. \tag{3}$$

Решая систему дифференциальных уравнений (2) с использованием нормирующего условия (3), применяя общие формулы расчета вероятности для стационарных состояний из [5] для процесса гибели и размножения, мы можем вывести предельную вероятность для k состояния:

$$P_k = \begin{cases} \frac{N! \varphi^k}{(N-R)! R!} P_0, k \leq R \\ \frac{N! \varphi^k}{(N-k)! R! R^{k-R}} P_0, k \leq N \end{cases}, \quad (4)$$

где $\varphi = \frac{\lambda}{\mu}$.

Исходя из формул (4) и (2), а также условия нормировки (3), определяем вероятность безотказной работы оборудования P_0 :

$$P_0 = \left(\sum_{R=0}^N \frac{N! \varphi^k}{(N-R)! R!} + \frac{1}{R!} \sum_{k=(N-R-1)}^N \frac{N! \varphi^k}{(N-R)! R^{k-R}} \right). \quad (5)$$

При $R=N$ (количество бригад равно количеству оборудования, вышедшему из строя) вероятность P_R этого состояния определяется по формуле

$$P_R = \frac{1}{\sum_{R=0}^N \frac{N! \varphi^k}{(N-R)! R!}}.$$

Зная полученные вероятностные характеристики, можно вывести такие характеристики системы, как:

- среднее число неисправного оборудования, которое стоит на ремонте:

$$L_1 = \sum_{k=R}^N (k-R) P_k;$$

- среднее число неисправного оборудования, которое стоит на ремонте и в очереди на обслуживание:

$$L_2 = \sum_{R}^N k P_k;$$

- коэффициент простоя обслуживаемого оборудования в очереди:

$$K_1 = \frac{L_1}{N};$$

- коэффициент использования оборудования:

$$K_2 = 1 - \frac{L_2}{N};$$

- среднее время ожидания обслуживания в очереди:

$$T_{ож.} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1-K_2}{K_2} \right) - \frac{1}{\mu};$$

- время нахождения k -ого оборудования в неработающем состоянии $T_k^{неп}$:

$$T_k^{неп} = P_k * \phi_k,$$

где ϕ_k – фонд времени работы k -ого оборудования. Обычно данную величину ϕ_k принимают равной величине горизонта планирования для k -ого оборудования.

Временной параметр $T_k^{неп}$ показывает, какое время оборудование номер k будет находиться в ремонте и позволит провести анализ выполнимости плана работ. Поскольку точное время выхода k -ого оборудования из строя неизвестно, то для анализа необходимо рассматривать самые неблагоприятные интервалы времени, т.е. интервалы времени, когда

k -ое оборудование занято обработкой партий деталей. Поломка k -ого оборудования приведет к тому, что обработку партий деталей в расписании работ придется сместить по оси времени вправо на время, равное $T_k^{неp}$. Тогда необходимым условием, которое покажет, что после ремонта k -ого оборудования расписание работы выйдет за пределы горизонта планирования, будет следующее неравенство:

$$T_k^{неp} < T^{HB},$$

где T^{HB} – неиспользованное время в конце горизонта планирования. Если же условие $T_k^{неp} > T^{HB}$ не выполняется, тогда возникает ситуация, когда поломка оборудования приведет к невозможности выполнения всего расписания на отведенном горизонте планирования. Для решения данной проблемы целесообразно или вводить дублирующее оборудование, или увеличивать время T^{HB} .

Если вероятность поломок оборудования велика и отведенного времени T^{HB} недостаточно, чтобы план был выполнимым, тогда разработчик плана должен выбрать наиболее выгодные критерии в данном случае – либо экономические (внедрение в обработку дополнительного (дублирующего) оборудования), либо временные (увеличение дополнительного времени T^{HB}) [7].

Определим математическое ожидание и дисперсию числа занятых каналов:

$$m_x = \sum_{i=1}^N iP_i,$$

где P_i – вероятность нахождения i -ой единицы оборудования в неработающем состоянии.

Дисперсия будет равна:

$$D_x = \sum_{i=0}^N (i - m_x)^2 P_i = \sum_{i=0}^N i^2 P_i - \left(\sum_{i=0}^N iP_i \right)^2.$$

Вероятность отказа:

$$P_{отк} = \frac{1}{N - m_x} \sum_{i=R}^{N-1} (N - i) P_i.$$

Вероятность обслуживания:

$$P_{обсл} = \frac{1}{N - m_x} \sum_{i=0}^{R-1} (N - i) P_i.$$

Относительная пропускная способность определяется как $q = 1 - P_{отк}$. Абсолютная пропускная способность в этом случае будет определяться как:

$$A = \sum_{i=0}^{R-1} \lambda_i P_i = \lambda \sum_{i=0}^{R-1} (N - i) P_i = \lambda \left(\sum_{i=0}^R (N - i) P_i - (N - R) P_R \right).$$

Проведем численные расчеты для данных показателей. Предположим, в цехе имеется 100 станков с ЧПУ, для ремонта используется 10 бригад ремонтников, одна бригада ремонтников может заниматься ремонтом только одного станка. Предположим интенсивность появления поломок λ и μ известны. Решая систему дифференциальных уравнений для числа состояний ($l=5$), получаем графики вероятностей состояний P_i , где l определяет индекс состояний при различных соотношениях λ и μ . Из графиков следует, что с увеличением интенсивности отказов оборудования временной интервал восстановления системы значительно возрастает (рис 2. (а, б, в)). Построен график для

нахождения математического ожидания, дисперсии и абсолютной пропускной способности (рис 2. (г)).

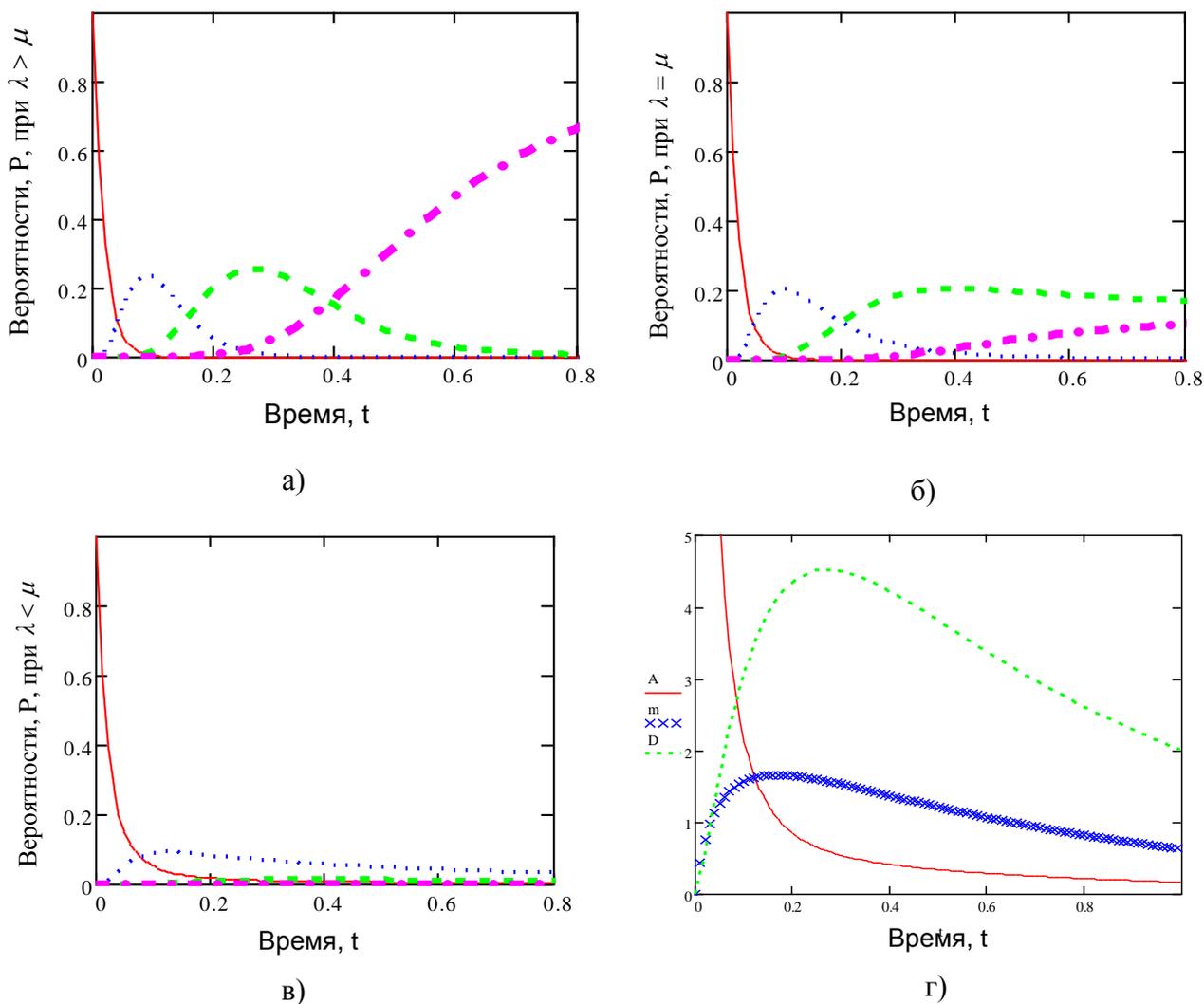


Рисунок 2 – а-в) графики распределения вероятностей при различных соотношениях λ и μ ; г) распределение математического ожидания, дисперсии и абсолютной пропускной способности в зависимости от вероятностей состояний

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена математическая модель определения диагностики и восстановления технологического оборудования для мелкосерийного типа производства. Разработанная система позволяет проводить анализ вероятности неисправности оборудования, а также определять временные параметры, которые непосредственно влияют на выполнение план-графика технологического процесса.

Расчетные вероятности и временные характеристики позволяют прогнозировать сбои и неисправности оборудования, а также определяют необходимое число ремонтных бригад для своевременного устранения неисправности и восстановления системы.

Полученные результаты исследований используются для разработки экспертной системы, предназначенной для диагностики и контроля. Экспертная система позволяет принимать решения по оптимальной загрузке технологического оборудования, в том числе, определять среднее число неисправного оборудования, время простоя оборудования в очереди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Догадина Е.П., Кропотов Ю.А., Суворова Г.П. Математическая модель определения вероятностей системы обслуживания // Радиотехника, 2009. – № 11. – С. 103-105.
2. Кропотов Ю.А., Суворова Г.П. Марковские модели в автоматизированной системе мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленной зоны // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии», 2008. – № 1-3/269(544). – С. 113-118.
3. Догадина Е.П., Кропотов Ю.А., Суворова Г.П. Оценка параметров вычислительных процессов при циклическом планировании // Информационные системы и технологии, 2010. – № 3(59). – С. 12-18.
4. Кропотов Ю.А., Догадина Е.П. Оценка среднего времени пребывания работ в реальных системах оперативной обработки // Методы и устройства передачи и обработки информации: межвуз. сб. научн. тр. / под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – М.: «Радиотехника», 2009. – Вып. 11. – С. 331-336.
5. Таранцев А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука, 2007. – 169 с.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2007. – 480 с.
7. Кропотов Ю.А., Догадина Е.П. Разработка программного комплекса для выявления зависимостей характеристик систем массового обслуживания на примере распределения вероятностей состояний вычислительной системы во времени // Методы и устройства передачи и обработки информации: межвуз. сб. научн. тр. / под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – М.: «Радиотехника», 2009. – Вып. 11. – С. 336-340.

Коноплев Алексей Николаевич

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
Аспирант кафедры «Электроника и вычислительная техника»
Тел.: 8 (49234) 7-72-72
E-mail: 23-hero@mail.ru

Суворова Галина Петровна

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
Доцент кафедры «Электроника и вычислительная техника»
Тел.: 8 (49234) 7-72-72
E-mail: suvorova@mit.ru

A.N. KONOPLEV (*Post-Graduate Student of the Department of Electronics and Computer Science*)

G.P. SUVOROVA (*Associate Professor of the Department of Electronics and Computer Science*)
Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education
«Vladimir State University named after Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom

**MATHEMATICAL MODEL FOR DIAGNOSTIC AND RECOVERY
OF MANUFACTURING EQUIPMENT IN SMALL-BATCH PRODUCTION**

A mathematical model for recovery manufacturing equipment in small-batch production is described. A probability model of diagnostic of equipment in small-batch production is determined. Temporal characteristics of automated system allowing to determine optimal operability of manufacturing equipment are researched.

Keywords: *mathematical model; queuing systems; small-batch production.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Dogadina E.P., Kropotov Yu.A., Suvorova G.P. Matematicheskaya model' opredeleniya veroyatnostej sistemy' obsluzhivaniya // Radiotekhnika, 2009. – № 11. – S. 103-105.

2. Kropotov Yu.A., Suvorova G.P. Markovskie modeli v avtomatizirovannoj sisteme monitoringa i prognozirovaniya e'kologicheskogo sostoyaniya promy'shlennoj zony' // Izvestiya OryolGTU. Seriya «Fundamental'ny'e i prikladny'e problemy' tekhniki i texnologii: informacionny'e sistemy' i texnologii», 2008. – № 1-3/269(544). – S. 113-118.
3. Dogadina E.P., Kropotov Yu.A., Suvorova G.P. Ocenka parametrov vy'chislitel'ny'x processov pri ciklicheskom planirovanii // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 3(59). – S. 12-18.
4. Kropotov Yu.A., Dogadina E.P. Ocenka srednego vremeni prebyvaniya rabot v real'ny'x sistemax operativnoj obrabotki // Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii: mezhvuz. sb. nauchn. tr. / pod red. V.V. Romashova, V.V. Bulkina. – M.: «Radiotekhnika», 2009. – Vy'p. 11. – S. 331-336.
5. Tarancev A.A. Inzhenerny'e metody' teorii massovogo obsluzhivaniya. – 2-e izd., pererab. i dop. – SPb.: Nauka, 2007. – 169 s.
6. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchajny'x processov i eyo inzhenerny'e prilozheniya. – M.: Vy'sshaya shkola, 2007. – 480 s.
7. Kropotov Yu.A., Dogadina E.P. Razrabotka programmogo kompleksa dlya vy'yavleniya zavisimostej xarakteristik sistem massovogo obsluzhivaniya na primere raspredeleniya veroyatnostej sostoyanij vy'chislitel'noj sistemy' vo vremeni // Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii: mezhvuz. sb. nauchn. tr. / pod red. V.V. Romashova, V.V. Bulkina. – M.: «Radiotekhnika», 2009. – Vy'p. 11. – S. 336-340.

А.Н. ЛАБУТИН, В.В. ЛОТАРЕВ

НЕЧЕТКОЕ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ ВОДОЗАБОРНОЙ СТАНЦИИ

Рассмотрен алгоритм нечеткого адаптивного управления водозаборной станцией, а также его место в системе поддержки принятия решений. Приведены структура нечеткого адаптивного регулятора, описание алгоритма адаптации, программно-информационное обеспечение системы поддержки принятия решений. Продемонстрирована эффективность алгоритма при управлении водозаборной станцией.

Ключевые слова: водозаборная станция; нечеткий адаптивный регулятор; система поддержки принятия решений.

Среди многих отраслей современной техники, направленных на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных мест и развития промышленности, важное место занимает водоснабжение. Водоснабжение представляет собой комплекс мероприятий по обеспечению водой различных ее потребителей. Системы водоснабжения могут включать в себя различные элементы в зависимости от нужд потребителей, однако все системы водоснабжения обязательно включают в себя водозаборные сооружения.

Объектом управления является водозаборная станция, состоящая из следующих элементов: блок артезианских скважин (АС) с насосными агрегатами, накопительные резервуары, высоковольтные насосы (ВН) подачи воды из емкостей в последующие водонапорные сооружения (рис. 1). Накопительные резервуары выполняют роль буферных емкостей и сглаживают разбаланс между производительностью артезианских скважин и пиковым спросом на воду.

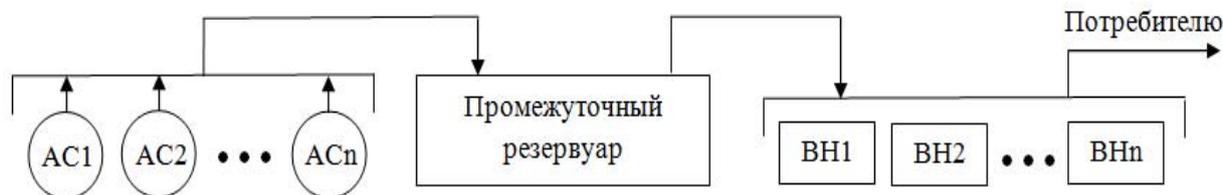


Рисунок 1 – Структурная схема объекта управления

Задача управления водозаборной станцией заключается в обеспечении изменяющегося в течение суток и сезонно спроса на воду у потребителей. При этом необходимо обеспечить безопасный уровень воды в резервуарах, не допускать перелива и полного опустошения, учитывать ситуацию с текущим потреблением воды и текущим забором, нестабильность рабочих характеристик насосных агрегатов скважин, состояние оборудования, распределенность скважин в пространстве и инерционность объекта. Управление объектом осуществляется путем включения в работу дополнительного количества насосных агрегатов скважин или их отключения с учетом того, что часть скважин может находиться в ремонте. Одновременно в целях продления ресурса электродвигателей необходимо препятствовать частому включению/отключению насосных агрегатов.

Учитывая существующий уровень автоматизации и неопределенность информации о подаче воды из АС и спросе на воду, управление объектом осуществляется диспетчером (ЛПР), который принимает решение о количестве и времени включения/отключения ряда насосных агрегатов.

Использование традиционных методов управления работой насосных агрегатов скважин на основе оценки уровня воды в буферной емкости для слежения за достаточно большими колебаниями потребления воды сопряжено с определенными трудностями.

Поэтому к управлению работой скважин привлекают опытных специалистов, которые быстро ориентируются в различных ситуациях, характеризуемых соответствием между колебаниями в потреблении воды и состоянием и характеристиками оборудования скважин. При таком подходе к организации управления водозаборной станцией решающую роль играет так называемый «человеческий фактор». Чтобы исключить в некоторой степени этот фактор, необходима система управления, которая не зависела бы от индивидуальных качеств обслуживающего персонала. Формализовать работу персонала по управлению объектом с использованием детерминированной модели не представляется возможным ввиду нечеткости и неопределенности информации о потреблении воды и об изменяющихся характеристиках водозаборных скважин. Поэтому предлагается использовать алгоритм нечеткого адаптивного управления [1] для формирования рекомендаций диспетчеру (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема нечеткого адаптивного управления

Основной контур адаптивной системы представляет собой фазы-регулятор. Входными нечеткими переменными фазы-регулятора являются значение уровня воды в резервуаре и значение тенденции его изменения. Выходная нечеткая переменная – значение подачи воды в резервуар от артезианских скважин, которое преобразуется в количество включенных насосных агрегатов. Весь диапазон изменения входных и выходных переменных аппроксимирован пятью терм множествами. Графики функций принадлежности термножеств имеют треугольную форму. Система продукционных правил представляет собой высказывания вида «если А и В, то С», где А и В – нечеткие значения входных переменных (SA, SM, MM, ML, LA), С – нечеткое значение выходной переменной – заключения (NB, NS, ZE, PS, PB).

Таблица 1 – Пример правил управления для основного контура нечеткого регулятора

$\frac{L}{dL}$	SA	SM	MM	ML	LA
SA	PB	PB	PS	ZE	ZE

SM	PB	PS	ZE	ZE	ZE
MM	PS	ZE	ZE	ZE	NS
ML	ZE	ZE	ZE	NS	NB
LA	ZE	ZE	NS	NB	NB

Задача адаптации основного контура заключается в том, чтобы каким-либо образом учитывать нечеткий прогноз интенсивности потребления воды и нечеткое значение подачи воды из артезианских скважин (суммарный расход насосов). Предполагается в зависимости от значений указанных переменных модифицировать расположение функций принадлежности предпосылок правил в основном контуре. Модификация заключается в сжатии или растяжении функций принадлежности предпосылок в зависимости от значения параметра адаптации w (1) (рис. 3). Параметр адаптации характеризует отклонение прогноза интенсивности потребления воды и суммарного расхода насосов от номинальных значений в ту или иную сторону.

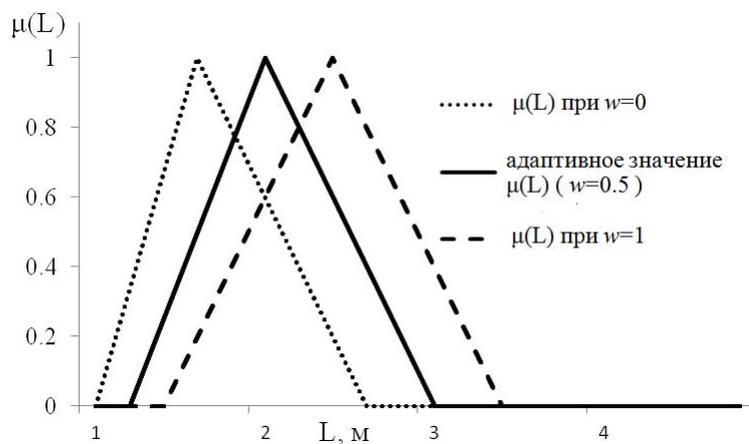


Рисунок 3 – Пример адаптации функции принадлежности

$$\begin{cases} p_1 = p_{10} * (1 - w) + p_{11} * w, \\ p_2 = p_{20} * (1 - w) + p_{21} * w, \\ p_3 = p_{30} * (1 - w) + p_{31} * w, \\ p_4 = p_{40} * (1 - w) + p_{41} * w, \\ p_5 = p_{50} * (1 - w) + p_{51} * w, \end{cases} \quad (1)$$

где p_{i0} и p_{i1} – опорные точки термов множества (точки, где степень принадлежности данному терму равна 1 для функций принадлежности при обычном потреблении воды ($w=0$) и при пиковых нагрузках соответственно ($w=1$); p_i – опорные точки термов множества адаптированной функции принадлежности.

Для более полного и объективного анализа состояния объекта управления было принято решение реализовать регулятор в составе системы поддержки принятия решений (СППР).

Система поддержки принятия решений выполняет ряд функций по сбору, анализу и представлению данных, позволяющих обеспечить ЛПП необходимой информацией для принятия управленческих решений.

Основой информационного обеспечения СППР является база данных, база знаний, а также программные средства и интерфейсы, необходимые для обмена информацией (рис. 4).

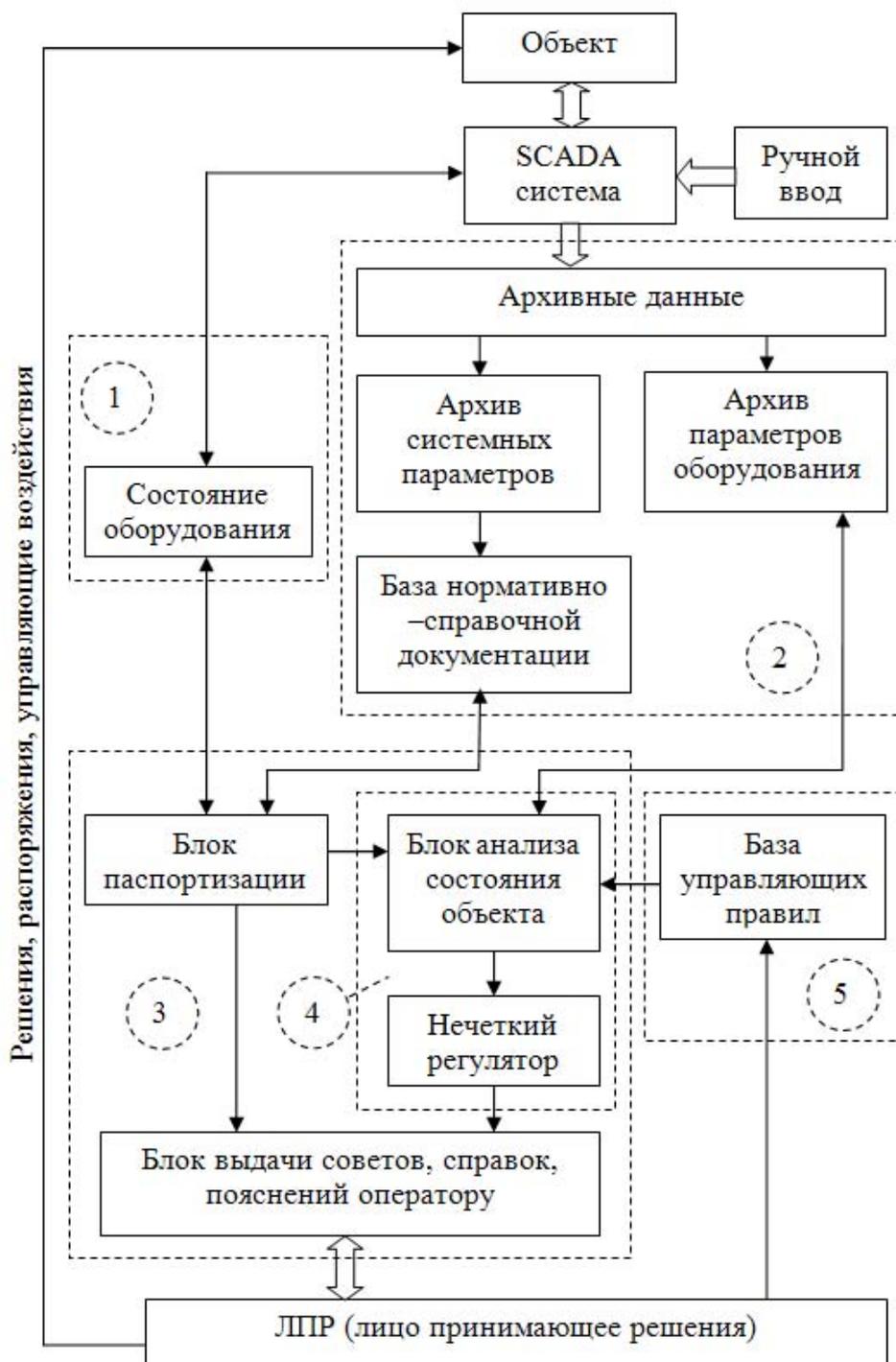


Рисунок 4 – Информационная структура системы поддержки принятия решений:
 1 – OPC сервер, 2 – сервер БД, 3 – прикладная программа, 4 – блок адаптивного нечеткого регулятора, 5 – база знаний

Система получает все необходимые данные о состоянии оборудования в составе объекта из базы данных, формируемой SCADA-системой в процессе эксплуатации объекта, базы данных паспортизации оборудования, а также переменных OPC сервера. Для выработки советов, пояснений оператору, подсказок о применении управляющих воздействий на объект используются база управляющих правил и база данных предметной области, информация о текущем состоянии оборудования, количестве включенных скважин, текущем значении уровня воды в резервуаре.

Прикладная программа (ПП) реализует алгоритмы нечеткого адаптивного управления, обеспечивающиеся интегрированным нечетким адаптивным регулятором, управляющее воздействие которого выводится в виде советов ЛПР.

Для реализации СППР выбраны программно-инструментальные средства (ПС), а также среда разработки ПП. В качестве операционной системы было выбрано семейство Microsoft Windows NT, так как на сегодняшний день они наиболее широко распространены и представляют наиболее широкий спектр интерфейсов взаимодействия с базами данных. При выборе ПС предпочтение отдавалось ПС, имеющим наиболее универсальные и распространенные программные интерфейсы. Сделано это для простоты замены ПС СППР [2]. Для реализации ПП выбрана среда разработки Microsoft Visual Studio, поскольку в ней большое внимание уделено механизмам доступа к данным, скорости и простоте разработки приложений, а также возможности модификации уже разработанного приложения.

На выбранных ПС реализованы функции СППР [3], разработан проект SCADA системы и реляционная модель базы данных, реализована ПП, произведена настройка OPC сервера. Настройка СППР осуществлялась параллельно с разработкой на основе информации о технологическом процессе и оборудовании водозаборных сооружений. Была использована предварительная информация о паспортах оборудования, режимах его работы и данных о параметрах технологического процесса.

Для отладки системы в разработанном SCADA проекте была реализована имитационная модель технологического объекта.

Была разработана база данных, содержащая всю необходимую для работы СППР информацию: архив параметров процесса, архив параметров оборудования, база нормативно-справочной документации. Архив параметров процесса – это массив оперативных данных и их архив, которых достаточно для составления представления об объекте управления в целом. С организацией архива параметров оборудования и процесса не возникает никаких проблем, так как все SCADA-системы имеют собственную реализацию архива. База нормативно-справочной документации обеспечивает паспортизацию оборудования.

База знаний содержит полный набор настроек и управляющих правил нечеткого адаптивного регулятора и представлена в виде отдельного XML документа с целью простоты внесения изменений при настройке нечеткого адаптивного регулятора.

Было разработана прикладная программа (рис. 5), реализующая следующие функции по обработке данных:

- анализ состояния объекта проводится с помощью архива параметров процесса;
- реализация алгоритмов нечеткого адаптивного управления (алгоритм Мамдани [1]) обеспечивается интегрированным нечетким адаптивным регулятором, управляющее воздействие которого выводится в виде советов ЛПР;
- создание, удаление, редактирование паспортов и архивов работы оборудования обеспечивается за счет системы управления базой нормативно-справочной документации;
- мониторинг текущего состояния технологического оборудования обеспечивается за счет анализа OPC переменных;
- управление имитационной моделью обеспечивается интегрированным OPC клиентом в автоматическом режиме.

С использованием разработанного приложения и режима имитации SCADA системы было произведено имитационное моделирование работы нечеткого адаптивного регулятора. Также для сравнения были рассмотрены варианты конфигурации нечеткого регулятора с крайними значениями коэффициента адаптации $w=0$ (приоритет экономии) и $w=1$ (приоритет безопасности). Пример крайних значений функций принадлежности представлен на рисунке 6.

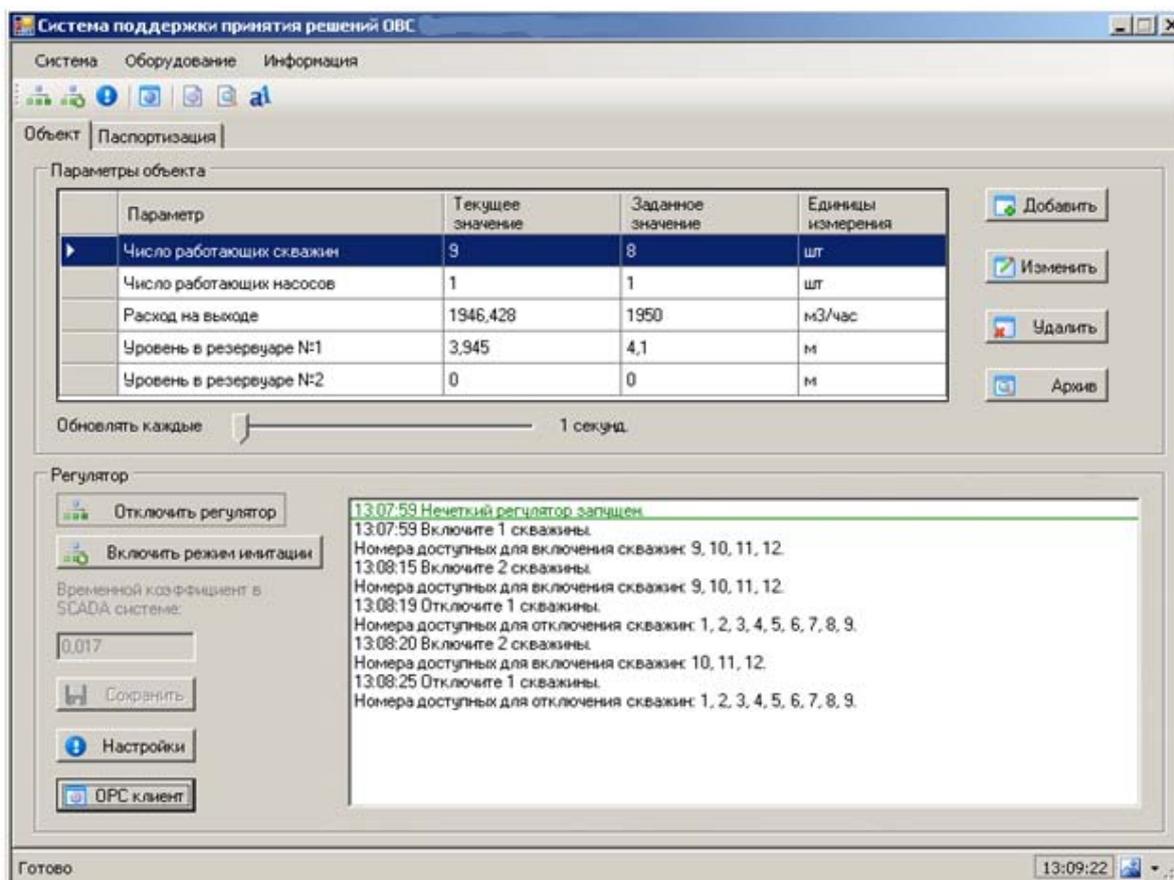


Рисунок 5 – Интерфейс прикладной программы

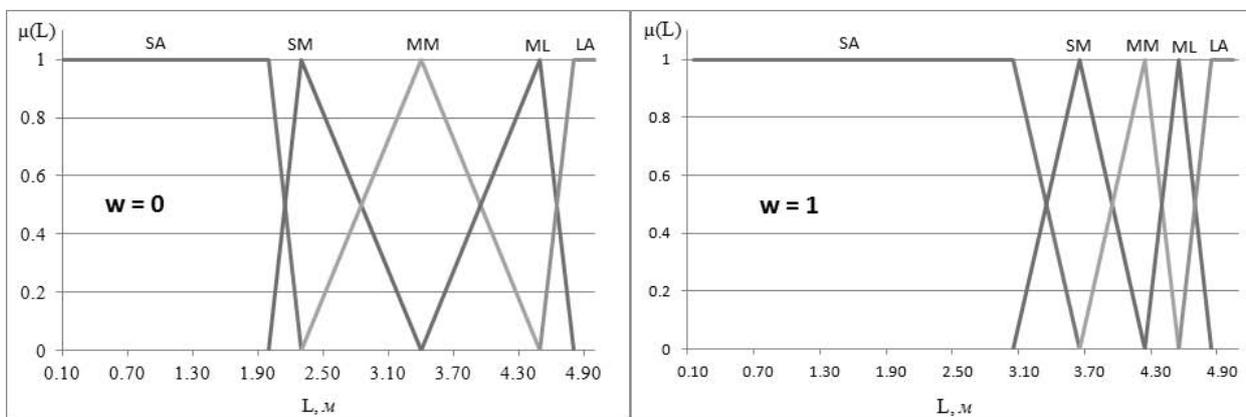


Рисунок 6 – Функции принадлежности уровня при $w=0$ и $w=1$

Результаты моделирования нечетких регуляторов представлены на рисунке 7. Сравнение результатов моделирования представлено в таблице 2.

Адаптивный регулятор в процессе работы совершил наименьшее количество включений/отключений скважин при приемлемых значениях колебания уровня, следовательно, среди рассмотренных он является оптимальным.

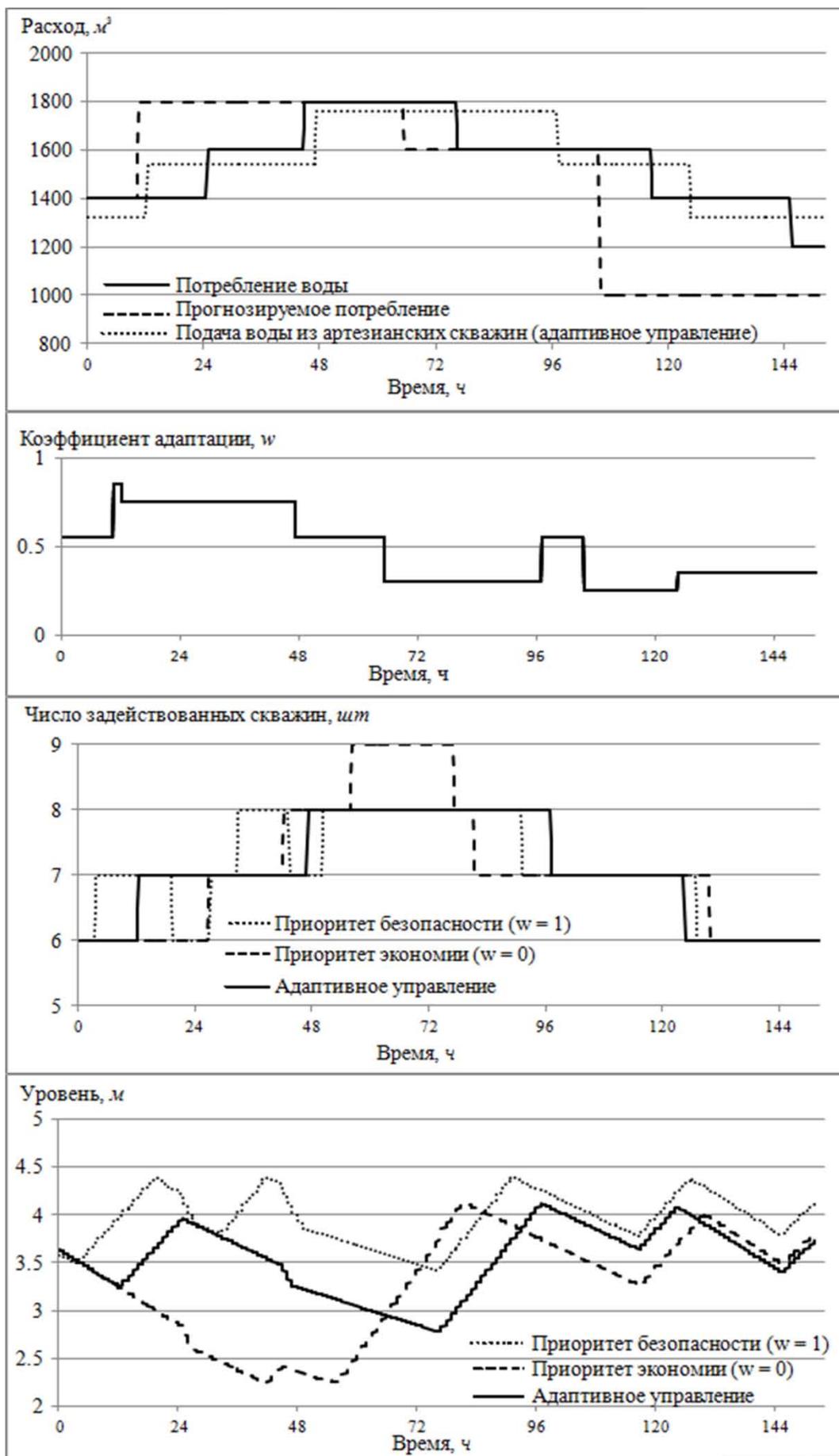


Рисунок 7 – Результаты моделирования

Таблица 2 – Сравнение результатов моделирования

Тип регулятора	Количество включений/выключений скважин, шт	Колебания уровня, м	Минимальный уровень, м
Приоритет экономии ($w=1$)	6	1,8	2,3
Приоритет безопасности ($w=0$)	8	1	3,4
Адаптивное управление	4	1,3	2,8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно К. Введение в нечеткие системы. – Токио: Омся, 1987. – 368 с.
2. Лотарев В.В., Лабутин А.Н., Грименицкий П.Н., Невиницын В.Ю. Программное обеспечение системы поддержки принятия решений в системе оперативно-диспетчерского управления водозаборной станцией // Проблемы экономики, финансов и управления производством. Сборник трудов. – Иваново: ИГХТУ, 2009. – № 27. – С. 261-266
3. Макконелл С. Совершенный код. Мастер класс / пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом «Русская Редакция» – СПб.: Питер, 2005. – 896 с.

Лабутин Александр Николаевич

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики и автоматике
 E-mail: lan@isuct.ru

Лотарев Владимир Валерьевич

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново
 Аспирант кафедры технической кибернетики и автоматике
 Тел.: 8 920 340 31 98
 E-mail: dotnetdept@gmail.com

A.N. LABUTIN (*Doctor of Engineering Science, Head of the Department of Automation and Technical Cybernetics*)

V.V. LOTAREV (*Post-graduate Student of the Department of Automation and Technical Cybernetics*)
Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo

FUZZY ADAPTIVE CONTROL PUMP UNIT WATER INTAKE STATION

The algorithm of fuzzy adaptive control of water intake station, as well as its place in the decision-making support. The structure of the fuzzy adaptive controller, a description of the adaptation algorithm, software and information management decision support system. The effectiveness of the algorithm for the management of the water intake station.

Keywords: *water intake station; adaptive fuzzy controller; decision support system.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Te'rano T., Asai K., Suge'no K. Vvedenie v nechyotkie sistemy'. – Tokio: Omsya, 1987. – 368 s.
2. Lotarev V.V., Labutin A.N., Grimenickij P.N., Nevinicy'n V.Yu. Programmnoe obespechenie sistemy' podderzhki prinyatiya reshenij v sisteme operativno-dispetcherskogo upravleniya vodozabornoj stanciej // Problemy' e'konomiki, finansov i upravleniya proizvodstvom. Sbornik trudov. – Ivanovo: IGXTU, 2009. – № 27. – S. 261-266
3. Makkonell S. Sovershenny'j kod. Master klass / per. s angl. – M.: Izdatel'sko-torgovy'j dom «Russkaya Redakciya» – SPb.: Piter, 2005. – 896 s.

УДК 656.021.052:004.02

С.А. ЛУПИН, ТАН ШЕЙН, ЧЖО ЧЖО ЛИН

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ

Рассмотрена задача моделирования систем управления транспортными компаниями в условиях конкуренции. Предложена структура объектно-ориентированной модели, критериальные функции и механизм реализации конкурентной среды. Представлены интерфейсы разработанной модели.

Ключевые слова: имитационное моделирование; конкуренция; транспортная система.

Имитационное моделирование традиционно находит широкое применение при анализе работы транспортных систем (ТС). Однако необходимо отметить, что наибольшее распространение получили модели, использующие механизмы системной динамики для исследования влияния отдельных параметров стратегий управления на эффективность работы ТС. Гораздо менее исследован вопрос управления транспортными компаниями (ТК) при наличии конкуренции. При такой постановке вопроса очень важен выбор критериев, определяющих победу или поражение в условиях конкуренции. В общем случае требования, предъявляемые к ним, можно ограничить двумя параметрами – информативность по отношению к целевой функции и вычислимость. В статье мы рассмотрим один из подходов к формированию конкурентной среды в моделях пассажирских ТК.

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Задача пассажирской транспортной компании заключается в перевозке пассажиров между отдельными пунктами по утвержденному маршруту [1]. Если рассматривать ТС как систему массового обслуживания (СМО), то пассажиры формируют территориально распределенный поток заявок, а их обслуживание возлагается на множество перевозчиков или обработчиков заявок. При этом у нас появляется возможность рассчитывать параметры ТС исходя из статистических характеристик потоков пассажиров [2]. В простейшем случае мы должны определить интервал движения транспорта исходя из его вместимости и интенсивности потока пассажиров.

Пусть интенсивность потока пассажиров определяется функцией $P(t)$. Тогда количество пассажиров, появившихся за время $\Delta t = t_2 - t_1$ и претендующих на обслуживание, можно определить как:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt. \quad (1)$$

Если допустить, что вместимость C (*Capacity*) всех транспортных средств одинакова, то нахождение интервала их движения τ может быть сведено к решению следующего уравнения:

$$C = \int_0^{\tau} P(t) dt. \quad (2)$$

В случае $P(t) = \lambda$ получаем:

$$\tau_1 = \frac{C}{\lambda}. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) предполагают полную загрузку транспортных средств. На практике при расчете интервала движения учитывают и показатели рентабельности. Существенное влияние на нее оказывает уровень заполняемости транспорта L (*Loading*), при

котором сохраняется рентабельность перевозок. Тогда эффективная вместимость транспортного средства D может быть найдена как:

$$D = C * L, \quad 0 < L \leq 1. \quad (4)$$

Тогда (2) и (3) будут выглядеть как:

$$D = \int_0^{\tau} P(t), \quad (5)$$

$$\tau_2 = \frac{D}{\lambda}. \quad (6)$$

С учетом (4) $\tau_1 \geq \tau_2$.

Второй поход к расчету параметров ТС опирается на задание среднего времени ожидания, которое пассажиры проводят в очереди T_w (*Time waiting*). Для постоянного потока пассажиров с интенсивностью $P(t) = \lambda$ интервал движения может быть найден как

$$\tau = 2 * T_w, \quad (7)$$

поскольку время ожидания равно $T_w = \frac{\tau}{2}$.

Остается только определить C из (3):

$$C = \frac{2 * \lambda * T_w}{L}. \quad (8)$$

Соотношения (1)-(8) используются для расчета параметров ТС, в которых отсутствует конкуренция. В реальном мире за пассажиров идет конкурентная борьба между несколькими компаниями, предлагающими различные условия перевозок. Пассажиры могут предъявлять к перевозчикам различные требования – уровень сервиса, скорость передвижения, стоимость билетов, регулярность рейсов и др. При каких параметрах будет обеспечиваться оптимальное качество обслуживания пассажиров и рентабельность транспортных предприятий в условиях конкуренции? Рассмотренные соотношения не дают нам возможности найти ответ на этот вопрос. Формально задача сводится к многокритериальной оптимизации и для ее решения может быть использовано имитационное моделирование.

Для определенности рассмотрим конкуренцию между двумя ТК (рис. 1), одна из которых является государственной (ГТК), а вторая – частной (ЧТК).

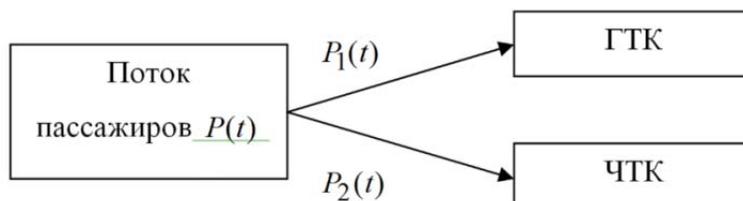


Рисунок 1 – Конкуренция транспортных компаний

Конкурирующие компании делят между собой поток пассажиров $P(t)$.

При этом выполняется соотношение

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t), \quad (9)$$

где поток $P_1(t)$ обслуживается государственной, а $P_2(t)$ – частной компаниями.

Цель конкуренции заключается в увеличении прибыли, которая в нашем случае будет зависеть от той доли пассажиров, которую удастся перевести ТК. Поэтому будем оценивать успехи компаний по динамике соотношения $\frac{P_i}{P}$. Если оно растет, стратегия управления будет выигрышной, а если падает, то проигрышной.

КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Целью проводимых исследований является оценка оптимальности стратегии поведения ГТК при условии конкуренции со стороны ЧТК. Нам необходимо определить критериальные функции, определяющие конкурентные преимущества.

Одним из наиболее общих критериев качества обслуживания (QoS, Quality of Service) для СМО, к которым относятся и транспортные системы общего пользования, является T_w – время ожидания пассажиров в очереди. В СМО этот параметр чаще называют задержкой в обслуживании. Будем использовать его в качестве одного из критериев для оценки качества системы управления ТС со стороны пассажиров. Среднее значение времени ожидания для M пассажиров:

$$T_w = \frac{\sum_{i=1}^M T_{delay}(i)}{M}, \quad (10)$$

где $T_{delay}(i) = T_{serv}(i) - T_{inp}(i)$ – задержка обслуживания i -го пассажира; $T_{serv}(i)$ – время посадки i -го пассажира в транспорт; $T_{inp}(i)$ – время прихода i -го пассажира на остановку.

Рентабельность транспортных предприятий зависит от многих факторов, среди которых важнейшими являются стоимость билетов, заполняемость автобусов и применяемая в системе дисциплина управления. Критерием, определяющим эффективность системы управления, в наших исследованиях выступает коэффициент загрузки транспортного средства B_{load} (*Bus Loading*), поскольку именно он косвенно характеризует и конкурентное преимущество ТК. Нас будет интересовать средняя загруженность N транспортных средств на интервале $[t_1, t_2]$:

$$B_{load} = \frac{\sum_{i=1}^N \int_{t_1}^{t_2} B_{load}(i)(t) dt}{N * (t_2 - t_1)}. \quad (11)$$

При дискретном моделировании интеграл в (11) заменяется на сумму.

С помощью введенных критериев задачу системы управления ТК можно сформулировать как нахождение компромисса между

$$T_w \rightarrow \min, B_{load} \rightarrow \max. \quad (12)$$

В своей работе ТК используют достаточно много различных стратегий управления. Они могут опираться на расписание, длину очереди, время простоя ТС, время ожидания. Государственные ТК в основном применяют расписание, а частные ориентируются на наличие пассажиров в очереди. В основе конкуренции между ТК лежит поведение пассажиров, которые формируют свои предпочтения при выборе средства передвижения. Это должно быть реализовано и в модели, например, в виде некоторых критериев, которые должны обладать свойствами информативности и вычислимости для всех стратегий управления.

ФОРМИРОВАНИЕ КОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЫ

В этом исследовании мы ставили перед собой цель создать конкурентную среду, а не максимально правдоподобно описать поведение пассажиров. Будем опираться на предположение о том, что наибольшее влияние на предпочтения пассажиров оказывают следующие факторы: длина очереди (коэффициент α_1); стоимость поездки (коэффициент α_2); время ожидания транспорта (коэффициент α_3).

Рассмотрим порядок расчета коэффициентов для выбранных критериев и их влияние на формирование конкурентной среды:

1) $\alpha_1 = 1 - e^{-(N_{que}/C)}$, где N_{que} – номер пассажира в очереди, коэффициент возрастает по мере удаления пассажира от начала очереди;

2) $\alpha_2 = 1 - e^{-((Cost_{priv} - Cost_{publ})/Cost_{publ})}$, где $Cost_{priv}$ – стоимость проезда в частной ТК, а $Cost_{publ}$ – стоимость проезда в государственной ТК, коэффициент уменьшается по мере увеличения стоимости поездки в частной ТК (предполагается, что $Cost_{priv} > Cost_{publ}$);

3) $\alpha_3 = e^{-|(T_w - \tau)/\tau|}$, где T_w – время нахождения пассажира в очереди, а τ – интервал движения транспорта в ГТК; коэффициент уменьшается по мере увеличения времени нахождения в очереди.

Значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, вычисляемые по приведенным формулам, лежат в диапазоне от 0 до 1, что позволяет нам получить обобщенный коэффициент, определяющий предпочтения пассажира:

$$K = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3. \quad (13)$$

Чем больше значение коэффициента K , тем выше вероятность того, что пассажир, стоящий в очереди, выберет частное транспортное средство при его появлении на остановке. Изменяя значения отдельных параметров, мы можем в широких пределах варьировать уровень конкуренции.

Если $Cost_{priv} = Cost_{publ}$, то $K = 1$ и пассажиры выбирают тот вид транспорта, который подойдет к остановке раньше. При использовании агентного моделирования мы можем рассчитать коэффициент K индивидуально для каждого пассажира (агента). Пассажиры поступают в транспортную систему как клиенты ГТК – поток $P_1(t)$. В зависимости от величины K предпочтения пассажиров трансформируются и они формируют поток заявок $P_2(t)$, т.е. создают нагрузку для ЧТК.

СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Рассмотрим структуру имитационной модели транспортной системы, ориентированной на анализ эффективности различных стратегий управления ТК при наличии конкуренции.

Выделим основные элементы системы, которые должны быть представлены в ее модели:

- населенные пункты и связывающая их транспортная сеть;
- пассажиры, формирующие заявки на перемещение из одного населенного пункта в другой;
- транспортные средства, обеспечивающие выполнение заявок на перевозку пассажиров;
- система управления движением транспортных средств, реализующая исследуемую стратегию;
- система мониторинга параметров транспортной системы.

Рассмотрим некоторые особенности представления этих элементов в модели.

Населенные пункты характеризуются занимаемой площадью и географическим положением. Будем считать, что число пассажиров, которые формируют потоки заявок на перевозку, пропорционально площади населенного пункта.

Транспортная сеть должна отображать возможные маршруты перемещения транспортных единиц между населенными пунктами с точностью до остановочных пунктов.

Потоки пассажиров формируются случайным образом, вероятность перемещения в населенный пункт пропорциональна его площади. Пассажиры могут предъявлять какие-то требования к условиям перевозки, например, время ожидания транспортного средства, стоимость проезда, время поездки.

Транспортные средства характеризуются стоимостью перевозки, вместимостью, скоростью передвижения, маршрутом движения. Для обеспечения конкуренции в транспортной системе должны присутствовать как минимум две транспортные компании.

Под системой управления транспортными средствами мы будем понимать диспетчерскую службу, которая анализирует внешние условия, определяет маршруты и интервалы их перемещение между населенными пунктами, используя при этом различные стратегии. Основной задачей системы управления является увеличение дохода транспортной компании.

Анализ стратегий управления предполагает наличие в модели средств мониторинга основных показателей эффективности транспортной системы как по отношению к потребителям – пассажирам T_w , так и по отношению к производителям – перевозчикам B_{load} .

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

Эффективная реализация отмеченных особенностей элементов ТС возможна при использовании имитационных моделей, опирающихся как на дискретно-событийный, так и на агентный подходы. Система моделирования AnyLogic [3] обеспечивает многоподходное имитационное моделирование, что и определило ее использование в настоящей работе.

Использование объектно-ориентированного программирования предполагает, что модель разделяется на две части [4]: классы активного объекта и обычный java класс. На рисунке 2 показана структура модели, где прямоугольниками отмечены активные объекты.

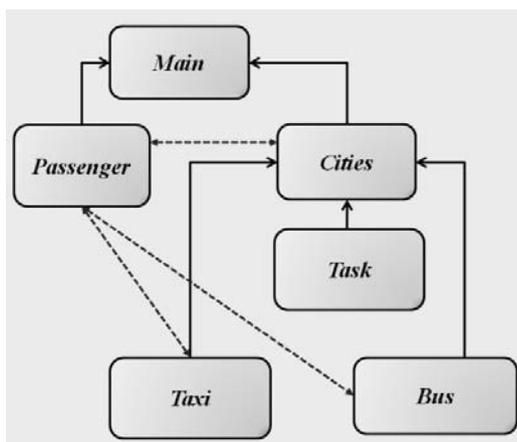


Рисунок 2 – Структура модели

Класс Passenger описывает поведение пассажиров. На рисунке 3 представлен стейтchart, определяющий взаимодействие переходов в процессе перемещения пассажиров. Переходы стейтchartа могут срабатывать при выполнении различных условий – с заданной интенсивностью, по прибытии, при получении сообщения, по таймауту, при выполнении некоторого условия. Например, переход из состояния Potential (житель города) в состояние InQueue (пассажир в очереди) срабатывает с таймаутом, подчиняющимся экспоненциальному распределению с параметром интенсивности, которая определяет количество пассажиров, появляющихся в течение одной единицы модельного времени.

На переходах стейтchartа обрабатываются методы или коды, формирующие стратегию управления. Основные компоненты класса Cities формируют механизм распределения пассажиров по населенным пунктам. Встроенные средства AnyLogic позволяют перемещать агентов в пространстве, заданном геометрической формой, например круг, прямоугольник и т.п.

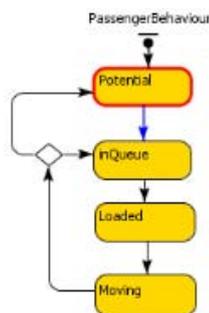


Рисунок 3 – Стейтchart класса Passenger

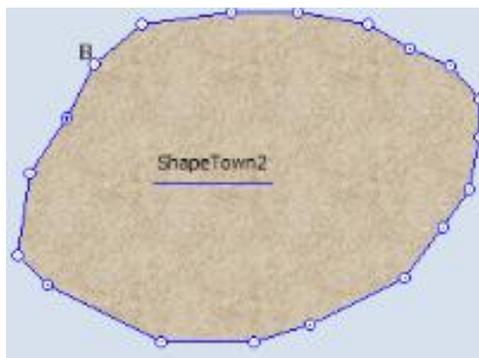


Рисунок 4 – Задание границ населенного пункта в графическом редакторе

В общем случае населенные пункты имеют границы произвольной формы. Для определения их площади используется следующий алгоритм. Если есть произвольная фигура, заданная граничными точками (рис. 4), то с помощью API мы можем получить их координаты, выделить 4 крайних точки фигуры и определить площадь описанного вокруг этой фигуры прямоугольника S_{rect} . Метод `contains(x,y)` позволяет определить принадлежность точки с координатами (x,y) пространству, ограниченному фигурой. Если сгенерировать 1000 случайных точек, равномерно распределенных по площади описанного прямоугольника, то оценочное значение площади населенного пункта S_{city} можно найти по формуле:

$$S_{city} = \frac{N_{city}}{1000} * S_{rect},$$

где N_{city} – количество точек, попавших в фигуру.

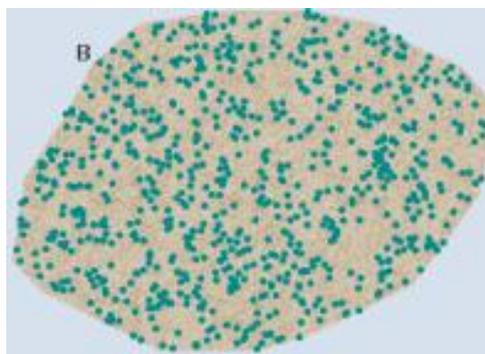


Рисунок 5 – Распределение пассажиров в границах населенных пунктов

Описанный алгоритм позволяет распределять пассажиров по населенным пунктам пропорционально их площади (рис. 5).

В классе `Cities` определены дискретные события, которые вырабатывают сигналы отправления автобусов и маршрутных такси (рис. 6). Как только оператор управления получает сигнал об одном из них, он формирует объект `Bus` с заданными параметрами:

```
Bus bus = add_bus(busVelocity, RouteOne, uniform_discr (BusMinCapacity,BusMaxCapacity), 1,
RouteOneDestinations);.
```

При создании нового объекта `Bus` инициализируется маршрут движения автобуса, определенный как массив. В массиве содержатся объекты класса `Task`:

```
Town.RouteOne = new Task[] { new Task( Pago, polyline12, 2),
new Task( Mandalay, polyline9, 2), };.
```

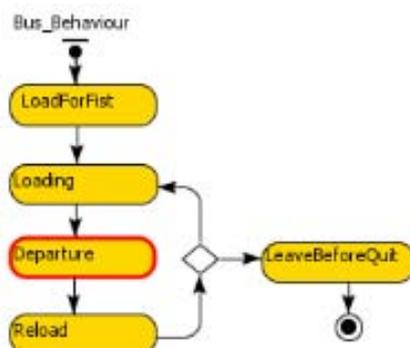


Рисунок 6 – Стейтchart класса Bus

Модель должна отражать реальную конкуренцию на рынке транспортных услуг между автобусами и маршрутными такси, обслуживающими одинаковые маршруты. Это предполагает, что конкуренты могут опираться на разные стратегии. Если автобусы в подавляющем большинстве случаев придерживаются заданного интервала движения τ , то появление на остановке такси является случайным событием, которое инициируется в модели с помощью генератора случайных чисел с равномерным распределением.

ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Экспериментальная модель включает конкурирующие транспортные средства – автобусы и маршрутные такси, семь населенных пунктов и автомагистрали.

Внешний вид окна представления результатов моделирования показан на рисунке 7.

Для задания параметров ТС в модель включены элементы управления (рис. 8), с помощью которых можно изменять как характеристики объекта, так и его поведение [5]. Новые значения параметров приводят к изменению состояния модели на прогоне.

Динамические характеристики текущего состояния транспортной системы отображаются в процессе моделирования с помощью различных графиков и гистограмм (рис. 9).

Разработанная модель позволяет исследовать и оптимизировать алгоритмы управления транспортными средствами в условиях конкуренции, повышать качество обслуживания пассажиров и рентабельность транспортных предприятий.

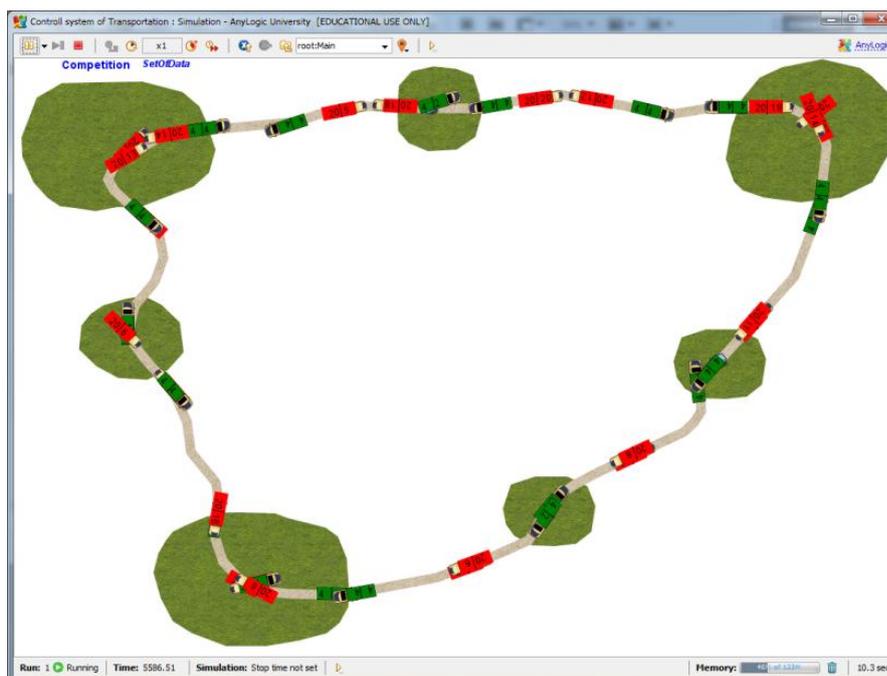


Рисунок 7 – Визуализация процесса моделирования

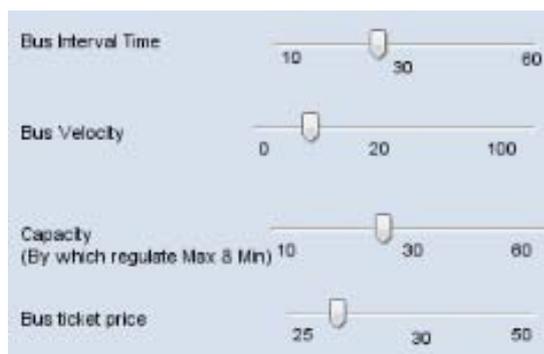


Рисунок 8 – Элементы управления процессом моделирования

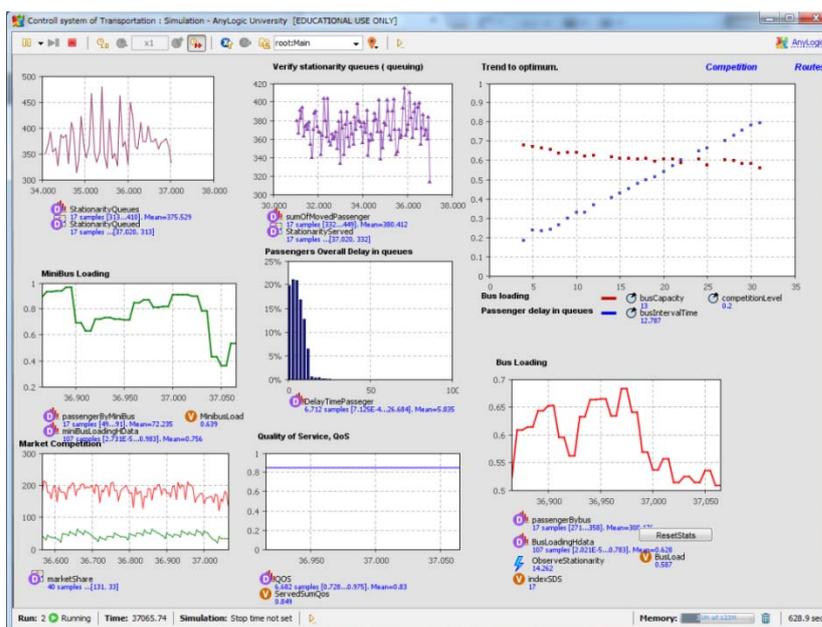


Рисунок 9 – Инструменты анализа состояния транспортной системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная в среде AnyLogic модель позволяет оптимизировать алгоритмы управления транспортными компаниями в условиях конкуренции, повышать качество обслуживания пассажиров и рентабельность предприятий. Использование консервативных стратегий управления не позволяет компании оперативно реагировать на действия конкурентов, что может привести к снижению ее доли на рынке. Своевременный переход к одной из стратегий, адаптированных к конкурентной среде и проверенных в ходе симуляций, позволит повысить рентабельность компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Christopher Glazner, Sgouris Sgouridis. A Simulation-Based Investigation of Freight Transportation Policy Planning and Supply Chains. – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, 2005.
2. William L.Garrison, David M.Levinson. The Transportation Experience – Policy, Planning and Deployment. – Oxford university press, 2006.
3. Сайт системы моделирования AnyLogic [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.xjtek.com>.
4. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

5. John D. Sterman. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. – McGraw-Hill, 2000.

Лупин Сергей Андреевич

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград
Кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники
Тел.: 8 905 761 55 32
E-mail: lupin@miee.ru, papikam@rambler.ru

Тан Шейн

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград
Аспирант кафедры вычислительной техники
Тел.: 8 905 775 33 73
E-mail: mieegenius@gmail.com

Чжо Чжо Лин

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград
Аспирант кафедры вычислительной техники
Телефон: 8 926 846 88 54
E-mail: kklin1500@gmail.com

LUPIN S.A. (*Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of Computer Science*)

TAN SHEJN (*Post-graduate Student of the Department of Computer Science*)

CHZHO CHZHO LIN (*Post-graduate Student of the Department of Computer Science*)
National Research University of Electronic Technology, Zelenograd

FEATURES MODELING TRANSPORT SYSTEMS IN COMPETITION

Consider the problem of transport company's management systems modeling in a competitive environment. Structure of an object-oriented model, the criterion function and the mechanism of a competitive environment implementation are proposed. Interfaces of the developed model are presented.

Keywords: *simulation; competition; transport systems.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Christopher Glazner, Sgouris Sgouridis. A Simulation-Based Investigation of Freight Transportation Policy Planning and Supply Chains. – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, 2005.
2. William L.Garrison, David M.Levinson. The Transportation Experience – Policy, Planning and Deployment. – Oxford university press, 2006.
3. Sajt sistemy' modelirovaniya AnyLogic [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.xjtek.com>.
4. Karpov Yu.G. Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie d AnyLogic. – SPb.: BVX-Peterburg, 2006.
5. John D. Sterman. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. – McGraw-Hill, 2000.

УДК 004.9

И.Н. ГРЫЗЛОВ

МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСА ПРОТЕСТНОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В данной статье рассматривается подход к формированию методики краткосрочного прогнозирования протестной активности населения региона на основе использования статистической информации с применением современных информационных технологий. Методика основана на модели зависимости индекса протестной активности и временного относительного индекса социальной напряженности. Для уточнения параметров и вида модели используется регрессионный анализ. Материал предназначен для специалистов информационно-аналитических отделов.

Ключевые слова: *прогнозирование; регион; социальная напряженность; протестная активность; социальный потенциал; статистический показатель; критерий; методика; индекс; информационная технология.*

Эффективность управленческих решений определяется способностью и возможностью опережать ситуацию, предвидеть последствия управленческих решений. Однако при рассмотрении процесса анализа социальной напряженности (СН) в социальной системе на основе использования статистических данных между моментом формирования информационной базы исследования СН и моментом исполнения прогноза проходит определенное время. Между исполнением прогноза и формированием обратной корректирующей информационной связи также имеется некоторый лаг запаздывания [1]. Таким образом, для формирования эффективного управленческого решения необходимо учитывать наличие определенного периода упреждения при подготовке прогноза уровня СН, иначе принимаемые управленческие решения будут носить реактивный характер.

При рассмотрении соотношения понятий «социальная напряженность» и «протестная активность» определено считать протестную активность (или конфликт) формой проявления СН в регионе [2]. Именно проявление СН в виде различных форм протестной активности дает возможность косвенно оценить уровень СН в регионах. Процесс повышения уровня СН, обусловленный интегрированием в своем составе определенных факторов, выражается в виде различных форм протестной активности не мгновенно, а с определенным временным сдвигом. Рассматривая показатели, интегрированные в понятие СН, в виде временных рядов их значений, можно сказать, что реакция социальной системы на изменение значений этих показателей произойдет в момент времени, следующий за рассматриваемым, то есть судить о протестной активности как форме проявления СН можно через значения показателей и индексов, предшествующих рассматриваемому моменту времени, фактически осуществляя ее прогноз.

Таким образом, прогнозирование СН гармонично вписано в цикл выработки управленческого решения при управлении социальной системой. Необходимо учитывать временной лаг между анализируемыми показателями и результатами проявления СН в регионе. Формирование прогнозных значений индексов СН позволит нивелировать временное отставание статистических данных для оценки текущего уровня СН в регионе.

Решение задачи метризации уровней факторов социальных явлений находится на стыке исследования социальных и формальных систем. Для преодоления данной трудности предлагается использовать общую теорию потенциалов – интенсивно развивающееся направление в области информационной индустрии, широко применяемое для получения

численных моделей в различных областях [3]. В данном случае рассматривается конструктивный объект – стохастическое множество «социум» и поле статистической информации над ним, которые образуют «гармоническое» (согласованное) пространство. Подобные пространства обладают рядом известных специфических особенностей, необходимых и достаточных для решения вопросов метризации и построения вычислительных схем получения числовых величин индексов социальной напряженности на основе применения концептов общей теории потенциалов.

В соответствии с категорированием общей теории потенциалов для метризации уровня СН введена информационная категория «социальный потенциал». Социальный потенциал – интегральная информационная характеристика социальной системы, отражающая фоновый уровень общественных отношений социальных страт внутри системы, связанных с социально-экономическим развитием инфраструктуры государства и выраженных через учитываемые статистические данные. Индекс социального потенциала является положительно определенной скалярной функцией, представленной в виде оператора двухэтапного преобразования, состоящего в получении свертки статистических показателей базы данных органа управления, отражающих факторы социального потенциала, и ее нормирования:

$$I_{SP} = G : S(\tilde{X}_{SP}) \subset N, \quad (1)$$

где G – групповой оператор; S – оператор свертки; N – оператор нормирования; \tilde{X}_{SP} – матрица нормированных статистических показателей СП.

Опираясь на анализ процессов формирования и развития СН, определено, что индекс социальной напряженности будет отражать динамику изменения индекса социального потенциала. СН постоянно присутствует в процессах взаимодействия социальных страт, являясь фактором нестабильности социальной системы, интегрируя негативные факторы из различных сфер общественной системы; при возрастании величин этих факторов СН может проявляться объективно в акциях протеста различной степени, то есть в протестной активности населения. Протестная активность (ПА) – интегральная информационная характеристика социальной системы, отражающая объективные проявления СН населения в виде акций протеста; выступает как форма проявления СН. Как и индекс социального потенциала, индекс протестной активности I_{PA} представлен в виде аналогичного оператора, основанного на статистических показателях протестной активности.

В отличие от методик, основанных на использовании социологической информации, в данном случае отсутствуют экспертно-оцененные значения искомым индексам СП и ПА. Тем не менее, необходимо при рассмотрении каждой из указанных категорий предложить некоторую функцию-свертку S от значений соответствующих нормированных статистических показателей \tilde{X} , позволяющую представить искомую категорию в скалярном виде соответствующего индекса. В основе данной функции должны быть скалярные величины, позволяющие наиболее точно восстановить все исходные статистические показатели \tilde{X} . Такими характеристиками обладают главные компоненты, построенные по исходной совокупности нормированных статистических показателей [4]. Этапы формирования интегральных индексов СП и ПА выступают в качестве инструментария построения скалярной потенциальной функции на множестве статистических показателей введенного гармонического пространства.

Общая схема обработки информации в разрабатываемой методике состоит в следующем:

- формирование исходной информационной базы путем выборки из общей базы данных статистической информации органа управления, ориентированная на результаты ранее выполненных специальных исследований в рассматриваемой предметной области;
- предобработка данных и формирование информационного базиса, необходимого и достаточного для использования инструментов общей теории потенциалов при вычислении

введенных индексов социального потенциала, социальной напряженности и протестной активности;

– формирование функциональных зависимостей композиционного ряда для вычисления индексов социальной напряженности и протестной активности с использованием факторного анализа (метода главных компонент);

– детерминация бинарного отношения представлений функций индексов социальной напряженности и протестной активности с использованием регрессионных моделей.

Как правило, прогнозные значения на следующие периоды вплоть до горизонта прогнозирования формируют с использованием метода прогнозной экстраполяции, часто основанного на регрессионных прогнозных моделях. В этом случае закономерности изменения значений функции в прошлом распространяются на будущие значения. Однако данный метод применим в случае отсутствия системных сдвигов в рассматриваемой области при неизменности системы факторов, отражающих анализируемую категорию в период упреждения [5]. При отсутствии системных сдвигов по данной проблеме в период формирования обучающей и контрольной выборок и при наличии требуемой длины динамических рядов регрессионные модели являются достаточно корректным математическим инструментом [6], который пригоден для прогнозирования слабоформализуемых процессов и не требует непосредственного участия пользователей в создании моделей. Но с учетом того, что область социально-политических отношений внутри социальной системы является динамической и подвержена постоянным изменениям и трансформациям, логически не обосновано использование метода прогнозной экстраполяции для данной области. Прогнозирование процессов, связанных с СН в социальной системе, возможно лишь на основе обоснованных факторов влияния в этой области, отражающих, в том числе, и происходящие системные сдвиги, с использованием сформированной модели взаимодействия с учетом временного лага запаздывания в проявлениях изменений факторов.

Учитывая то, что категория СП отражает статику процессов, связанных с СН региона, и опираясь на анализ этих процессов, основную смысловую нагрузку несут динамические показатели – индексы СН. Наиболее информативным из них выступает 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:

$$I_{STTR_i}(t_1, t_2) = \tilde{I}_{SP_i}(t_1) - \tilde{I}_{SP_i}(t_2), \quad (2)$$

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

$$\tilde{I}_{SP_i}(t) = \frac{I_{SP_i}(t) - I_{SP_{\min}}(t)}{I_{SP_{\max}}(t) - I_{SP_{\min}}(t)} \quad (3)$$

с учетом монотонного характера индекса СП и прямого характера связи с социальной напряженностью.

Таким образом, для осуществления краткосрочного прогнозирования процессов, характеризующих СН, необходимо установить зависимость между временным относительным индексом СН и индексом протестной активности населения. В данном случае сформированная зависимость будет выступать в качестве сплетающего оператора – сложной функции зависимости функции индекса протестной активности от функции временного относительного индекса СН с учетом временного лага.

Таким образом, исходя из взаимозависимости соответствующих информационных категорий, модель взаимосвязи временного относительного индекса СН и индекса ПА в общем виде может быть представлена следующей зависимостью:

$$I_{PA_i}(t) = F(I_{STTR_i}(t)), \quad (4)$$

где $I_{PA_i}(t)$ – индекс ПА i -го региона; $I_{STTR_i}(t)$ – временной относительный индекс СН i -го региона; t – время.

Как определено выше, процесс повышения уровня СН, обусловленный интегрированием в своем составе определенных факторов, выражается в виде различных форм протестной активности с определенным временным лагом. Соответственно, выражение (4) может быть скорректировано следующим образом:

$$I_{PA_i}(t) = F(I_{STTR_i}(t - \delta_t)), \quad (5)$$

где $I_{PA_i}(t)$ – индекс ПА i -го региона; $I_{STTR_i}(t)$ – временной относительный индекс СН i -го региона; t – время; δ_t – временной лаг запаздывания.

Выражение (5) корректно для непрерывных временных функций исследуемых величин. Так как в рамках исследования рассматриваются статистические показатели, которые представляют собой временные ряды, то вышеуказанное выражение приобретает вид:

$$I_{PA_i}(k) = F(I_{STTR_i}(k - \Delta)), \quad (6)$$

где $I_{PA_i}(k)$ – значение индекса ПА i -го региона на временном шаге k ; $I_{STTR_i}(k)$ – значение временного относительного индекса СН i -го региона на временном шаге k ; Δ – временной лаг запаздывания.

В работе выбран простейший способ получения сплетающего оператора этих двух представлений социальной напряженности – эксперимент с использованием регрессионной модели, поэтому для уточнения параметров и вида модели, представленной в общем виде выражением (6), предлагается использовать регрессионный анализ. Использование регрессионного анализа дает возможность строить прогностические модели и проводить теоретический эксперимент [7]. Прогноз уровня проявлений процессов, связанных с социальной напряженностью, осуществляется с использованием полученной регрессионной модели.

Статистические показатели, формирующие информационную базу исследования, имеют скважность в месяц. Учитывая краткосрочность прогноза исследуемой категории, смещение воздействия в формуле (6) может принимать значения от одного до трех периодов временного ряда статистических показателей.

В случае смещения на один временной период полученная регрессионная зависимость дает возможность получения значений текущих индексов ПА, тем самым снимается ограничение, связанное с временным отставанием данных статистики. Если же модель строится для временного лага запаздывания 2-3 периода временного ряда статистических показателей, то возникает возможность краткосрочного прогнозирования исследуемой категории ПА.

Для осуществления краткосрочного прогнозирования процессов, связанных с СН в регионах России, необходимо идентифицировать и верифицировать модель зависимости индекса протестной активности населения от временного относительного индекса социальной напряженности региона, которая в общем виде представлена выражением (6). При идентификации и верификации моделей использовались смещенные во времени помесечные значения индекса протестной активности и временного относительного индекса СН за пять лет.

Для автоматизированной обработки данных и реализации всех последующих этапов методики разработана программа в нотации специализированного программного обеспечения MATLAB. Осуществлены анализ и выбор характера регрессионной

зависимости. Среди регрессионных моделей на основе линейной зависимости (а также нелинейных зависимостей: полиномиальная регрессия с восстанавливаемой зависимостью квадратической кривой, кубической кривой, криволинейная регрессия) для каждого региона был осуществлен процесс идентификации модели на обучающей выборке (75% общей совокупности точек данных); осуществлен расчет вектора регрессионных остатков и получена среднеквадратическая оценка регрессионных остатков.

Анализ полученных моделей и их характеристик показал, что моделью с минимальной среднеквадратической оценкой остатков (в среднем < 0,0148) для всех рассмотренных регионов России была признана полиномиальная регрессия с восстанавливаемой зависимостью кубической кривой. Проведена верификация модели на контрольной ретроспективной выборке (25% общей совокупности точек данных), осуществлена оценка точности сформированной модели прогнозирования по параметру средней абсолютной процентной ошибки прогноза (МРАЕ):

$$MRAE = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \left(\frac{|\Delta_i|}{I_{PAi}^{набл}} \right) \cdot 100 \%, \quad (8)$$

$$\Delta_i = I_{PAi}^{мод} - I_{PAi}^{набл},$$

где $I_{PAi}^{набл}$ – наблюдаемое значение индекса протестной активности в момент времени i ; $I_{PAi}^{мод}$ – значение индекса протестной активности, рассчитанное, согласно модели (6), в момент времени i ; k – количество наблюдений анализируемого временного ряда.

Средняя абсолютная процентная ошибка прогноза значений индекса ПА, согласно построенной модели, по сравнению с расчетными ежемесячными значениями по анализируемым годам составляет 4,79 %. Значения средней абсолютной процентной ошибки прогноза на примере восьми регионов Приволжского федерального округа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя абсолютная процентная ошибка прогноза МРАЕ в ПФО, %

ПФО	Кировская область	Нижегородская область	Оренбургская область	Пензенская область	Пермский край	Самарская область	Саратовская область	Ульяновская область
3,58 %	5,34 %	5,51 %	0,04 %	7,32 %	1,52 %	1,53 %	1,46 %	0,88 %

Графический анализ результатов прогнозирования протестной активности на примере двух субъектов Приволжского федерального округа представлен на рисунке 1.

Таким образом, результаты апробации позволяют сделать вывод об адекватности предложенной методики и сформированной математической модели прогнозирования ситуации социальной напряженности. При реализации на практике данных расчетов согласно предлагаемой методике будут изменяться параметры и, возможно, вид самих моделей зависимости индекса протестной активности населения от временного относительного индекса социальной напряженности регионов.

Необходимо отметить, что при исследовании социальных систем не может быть абсолютной и точной детерминированности процессов, протекающих в них. Данные процессы характеризуются наличием элементов случайности и возможностью возникновения событий с минимальной вероятностью проявления. Для регионов, являющихся сложными, самоорганизующимися системами, прогноз возможен лишь для отражения области возможных значений исследуемой категории, а не точного ее выражения.

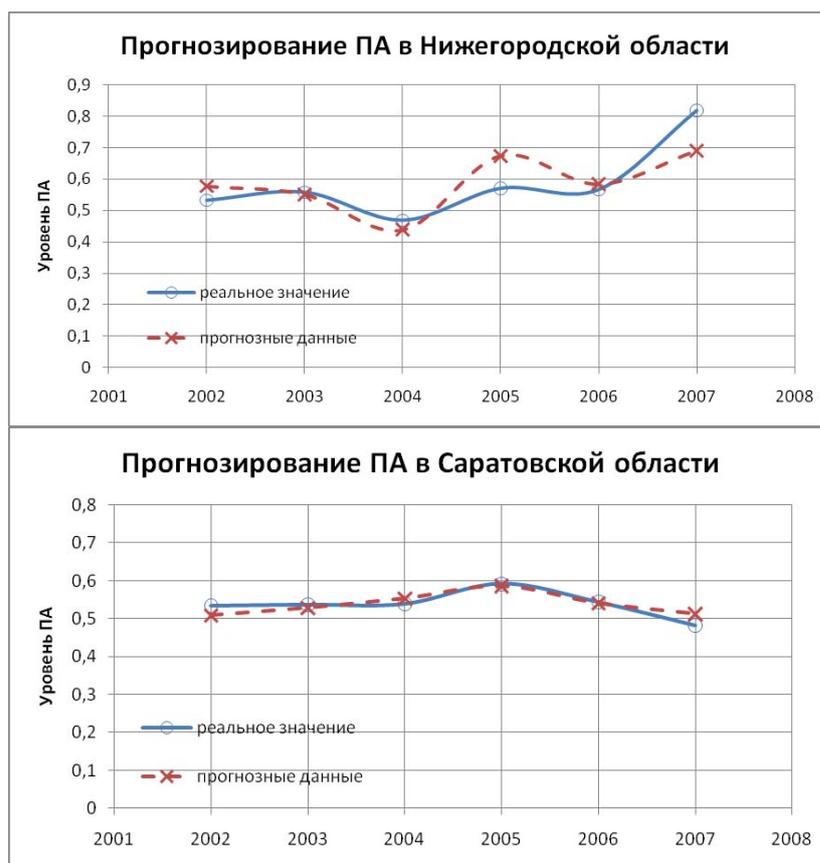


Рисунок 1 – Прогнозирование ПА в ПФО

Тем не менее, не столько степень точности характеризует эффективность прогноза процессов, связанных с СН в социальной системе, сколько возможность использования прогнозных данных для повышения обоснованности и эффективности управленческих решений по ее регулированию. Использование прогноза СН дает возможность повлиять на процесс выработки решения, предотвратить переход социальной системы к протестным действиям, даже несмотря на вероятностный характер прогноза СН. Прогнозирование процессов, связанных с СН, на основе применения современных информационных технологий должно осуществляться постоянно и совершенствоваться по мере приобретения опыта оценки и прогноза этих процессов, что позволит обеспечить органы исполнительной власти своевременной и достоверной информацией для управления социально-экономическими и общественно-политическими процессами в регионах Российской Федерации. Это будет способствовать стабильности государства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогностика. Терминология / под ред. В.И. Сифорова. – М.: Наука, 1975. – 32 с.
2. Солдатова Г.У. Психология межэтнической напряженности. – М., 1998. – 142 с.
3. Мейер П.-А. Вероятность и потенциалы. – М.: Мир, 1973. – 326 с.
4. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учебник для ВУЗов. – В 2 т. – Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – 2-е изд., испр. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.
5. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1975. – 183 с.
6. Федулов Ю.Г., Юсов А.Б. Социальная политика: формализация, измерение, прогнозирование. – М., РАГС, 2007. – 384 с.
7. Шереги Ф.Э., Горшкова М.К. Основы прикладной социологии. – М.: Интерпакс, 1996. – 184 с.

Грызлов Игорь Николаевич
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук
Тел.: (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 SHORT TERM FORECAST OF PROTEST ACTIVITY INDEX
OF THE REGION ON THE BASIS OF STATISTICAL INFORMATION**

This article describes an approach to the formation of short-term forecasting methods of protest activity of the population of the region on the basis of statistical information with the use of modern information technology. Methodology is based on the model dependence of the index of protest activity and the time relative index of social tension. To refine characteristics and the type of model regression analysis is used. The material is intended for professional information and analytical units.

Keywords: *forecast; region; social tension; protest activity; social potential; statistical indicator; criteria; methodology; index; information technology.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Prognostika. Terminologiya / pod red. V.I. Sifrova. – M.: Nauka, 1975. – 32 s.
2. Soldatova G.U. Psixologiya mezhe'tnicheskoj napryazhyonnosti. – M., 1998. – 142 s.
3. Mejer P.-A. Veroyatnost' i potencialy'. – M.: Mir, 1973. – 326 s.
4. Prikladnaya statistika. Osnovy' e'konometriki: uchebnik dlya VUZov. – V 2 t. – T. 1. Teoriya veroyatnostej i prikladnaya statistika / S.A. Ajvazyan, V.S. Mxitaryan. – 2-e izd., ispr. – M.: YuNITI-DANA, 2001. – 656 s.
5. Chety'rkin E.M. Statisticheskie metody' prognozirovaniya. – M.: Statistika, 1975. – 183 s.
6. Fedulov Yu.G., Yusov A.B. Social'naya politika: formalizaciya, izmerenie, prognozirovanie. – M., RAGS, 2007. – 384 s.
7. Sheregi F.E', Gorshkova M.K. Osnovy' prikladnoj sociologii. – M.: Interpaks, 1996. – 184 s.

УДК 621.398:004.415.2

Д.В. БЕЙЛЕКЧИ

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассматривается проблема принятия решения по выбору оптимальной аппаратно-программной структуры при проектировании устройств телекоммуникационных систем, рассматривается метод оценки оптимальности структуры с учетом заданных критериев и структура программной системы принятия решения, выполняющей оценку на основе рассмотренного метода, а также результаты, полученные при применении рассмотренного метода для проектируемого устройства передачи аудио данных.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы; проектирование аппаратных систем; проектирование программных систем; оптимизация вычислительных структур.

В настоящее время при разработке аппаратного обеспечения микропроцессорных систем, таких, как телекоммуникационные системы, микропроцессорные системы сбора и анализа данных, системы громкоговорящей и оперативно-командной связи [1, 2], применяется множество сложных электронных компонент различных производителей. Такие компоненты, представленные в основном элементами, выполненными в виде микросхем и микромодулей, имеют большой набор характеристик с перекрывающимися диапазонами и различными возможностями, например, производительностью, поддержкой тех или иных стандартов или технологий. Кроме этого, при проектировании микропроцессорных систем для обеспечения производства конкурентоспособных электронных изделий необходимо учитывать цену и доступность необходимого количества электронных компонент, а также наличие их аналогов.

Управляющий алгоритм в современных устройствах реализуется в основном программно, но некоторые его фрагменты могут выполняться аппаратно. Это относится к тем фрагментам, на время выполнения которых наложены жесткие ограничения или на которые не хватает производительности управляющего микропроцессора. При этом, как правило, такой подход увеличивает конечную стоимость устройства из-за необходимости введения с устройства дополнительных аппаратных элементов. Но в некоторых случаях такой подход может уменьшать стоимость, например, если применение аппаратных элементов позволяет использовать микропроцессор со значительно меньшим быстродействием [3].

Разработчики при проектировании архитектуры системы и подборе электронных компонент вынуждены анализировать значительный объем информации, полученной в основном с интернет-сайтов производителей или поставщиков электронных компонент. При этом перед разработчиками стоит задача оптимального выбора элементов для обеспечения соответствия проектируемой системы выбранному набору общих критериев, которыми могут являться цена, производительность, набор выполняемых функций и т.п.

Данный этап проектирования телекоммуникационных систем требует от разработчиков больших затрат времени для анализа имеющегося рынка электронных компонент, учета влияния выбранных компонент на соответствие разрабатываемой системы заданным критериям, а также взаимосвязи между выбираемыми компонентами.

Таким образом, актуальной является задача автоматизации процесса анализа имеющейся информации о множестве электронных компонент, синтеза нескольких допустимых в рамках технического задания структур системы с разными аппаратно-программными блоками и принятия решения по выбору оптимальной из них.

Множество электронных компонент может рассматриваться как сложная, слабоструктурированная система с большим числом входов. Задачу анализа характеристик и классификации электронных компонент можно формулировать как решение задачи классификации при многокомпонентном критерии. При этом параметры компонент могут быть представлены характеристиками, часто имеющими нечисловую форму представления, например, список поддерживаемых интерфейсов связи. При этом могут существовать критерии, отражающие предпочтения разработчика, не имеющие четкого числового представления, например, критерий выбора производителя компонент. Таким образом, выбор компонентов относится к решению задачи принятия решения в нечеткой среде, так как изначально имеется неполное или нечеткое представление о конечном наборе компонент.

Данная задача может быть реализована при помощи адаптивной системы анализа и классификации информации в нечеткой среде. Для разработки методов решения задачи и модели системы могут быть применены элементы теории нечетких множеств и нейросетевых алгоритмов [4].

Предлагаемый метод предполагает синтез допустимых структур системы и отбор из множества аппаратных и программных средств только тех сочетаний, количественные значения параметров которых удовлетворяют требованиям технического задания (ТЗ) и установкам разработчика (эксперта). Он может быть осуществлен в соответствии с условиями:

- для аппаратного набора $h_{ij} \geq c_j$ или $h_{ij} \leq c_j$ (в зависимости от вида параметра);
- для программного набора $s_{qk} \geq c_q$ или $s_{qk} \leq c_q$ (в зависимости от вида параметра);

где i, q – номер критерия для аппаратного (h) и программного набора (s); j, k – номер аппаратного и программного набора; c – величина, заданная в ТЗ или аналитически вычисленная.

Оценка совокупности качественных признаков-компонентов выполняется в соответствии с критериями:

- для j -го аппаратного набора элементов:

$$P_j = \sum_{\lambda=1}^{\gamma} \sigma_{\lambda}(x_{\lambda j} \wedge y_{\lambda}); \quad (1)$$

- для k -го программного набора элементов:

$$P_k = \sum_{\mu=1}^{\eta} \sigma_{\mu}(x_{\mu k} \wedge y_{\mu}), \quad (2)$$

где σ_{λ} и σ_{μ} – весовые коэффициенты важности λ -го качественного критерия аппаратного набора и μ -го признака программного набора; $x_{\lambda j} = (0,1)$, $x_{\mu k} = (0,1)$ – индикаторы наличия или отсутствия требования к критерию со стороны ТЗ или разработчиков; y_{λ} , y_{μ} – значение оценок для λ -го качественного критерия аппаратного набора и μ -го признака программного набора.

Оценка качественных признаков каждого сочетания j -го аппаратного и k -того программного набора и выбор сочетаний, обладающих в совокупности наилучшим набором качественных признаков, осуществляется в соответствии с выражением

$$P_{j/k} = (P_j + P_k) \geq \alpha(P_j + P_k)_{\max}, \quad (3)$$

где $\alpha = 0,5(P_{j \max} + P_{k \max})$, при этом $P_{j \max} < 1$; $P_{k \max} < 1$; $\alpha < 1$.

При небольшом наборе сочетаний аппаратных и программных наборов количество принятых для дальнейшего рассмотрения сочетаний может быть увеличено. Для этого вместо правой части в выражении (3) может быть использовано среднестатистическое значение E параметра $P_{j/k}$:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{\eta} (P_{j/k})_i, \quad (4)$$

где N – общее количество рассматриваемых сочетаний; i – номер сочетания; $(P_{j/k})_i$ – значение параметра $P_{j/k}$ для i -того сочетания аппаратного и программного набора.

Однако предпочтительно ориентироваться на максимальные значения параметров $P_{j \max}$ и $P_{k \max}$, а также совокупности параметров $(P_{j \max} + P_{k \max})_{\max}$, так как это позволяет выбрать для дальнейшего рассмотрения самые лучшие структуры.

Оценка совокупности количественных показателей сочетания j -того аппаратного и k -того программного набора и выбор на их основе набора сочетаний осуществляется в соответствии с критериями (5) и (6):

$$F_{j/k} = \sqrt{\sum_{\forall \Psi} \rho_i Q_{\Psi}^2}, \quad (5)$$

где $\Psi \subset \{i, j, k\}$; $i=1, n_j$; $j=1, m$; $k=1, s$; n_j – общее количество оцениваемых параметров; m – количество аппаратных наборов; s – количество программных наборов; ρ_i – критерий важности i -того параметра аппаратного набора.

При этом

$$\sum_{\forall \Psi} \rho_i = 1, \\ Q_{\Psi} = \frac{a_{ij} - b_{ik}}{c_i} = \pm \frac{\Delta_{ij/k}}{c_i}, \quad (6)$$

где b_{ik} – требования к значению i -го параметра аппаратной компоненты со стороны k -того параметра программной компоненты для конкретного сочетания при совместном их применении.

Чем больше параметр $F_{j/k}$, тем большими возможностями обладает конкретное сочетание для реализации дополнительных алгоритмических возможностей после того, как часть ресурсов уже задействована на реализацию управляющего алгоритма (6).

Однако верхнее значение $F_{j/k}$ ограничивается требованиями ТЗ на обобщенные показатели, например, параметр стоимость $G_{j/k}$, который определяется следующим образом:

$$G_{j/k} = \sum_{a=1}^r g_{aj} + \sum_{w=1}^p q_{wk}, \quad (7)$$

где r и q – общее количество программных и аппаратных элементов; g_{aj} и q_{wk} – стоимость одного a -го компонента j -й аппаратной реализации и одного w -го компонента k -той программной реализации.

Следовательно, лучшим вариантом структуры устройства будет тот, у которой параметр $F_{j/r}$ для сочетаний со значениями обобщенного критерия удовлетворяет требованиям ТЗ.

Для исследования и оптимизации рассмотренного метода и построения программных алгоритмов решения анализа синтезируемых структур в зависимости от заданных критериев разработана модель в системе математического моделирования MATLAB с использованием пакета моделирования процессов Simulink. Критерии классификации формируются экспертом на основе нечетких отношений предпочтения.

Структура программного обеспечения системы, реализующей описанный метод, приведена на рисунке 1.

Система использует модуль принятия решений, реализованный в виде отдельной динамически подключаемой библиотеки для обеспечения возможности подключения модулей, реализующих различные алгоритмы с целью сравнительного анализа эффективности разрабатываемых методов, реализуемых в модели.

Модуль ввода запроса и модуль отображения результатов реализован в виде web-интерфейса. Это позволяет организовать одновременный сетевой доступ к системе для нескольких пользователей, что необходимо при использовании завершенной системы на предприятиях.

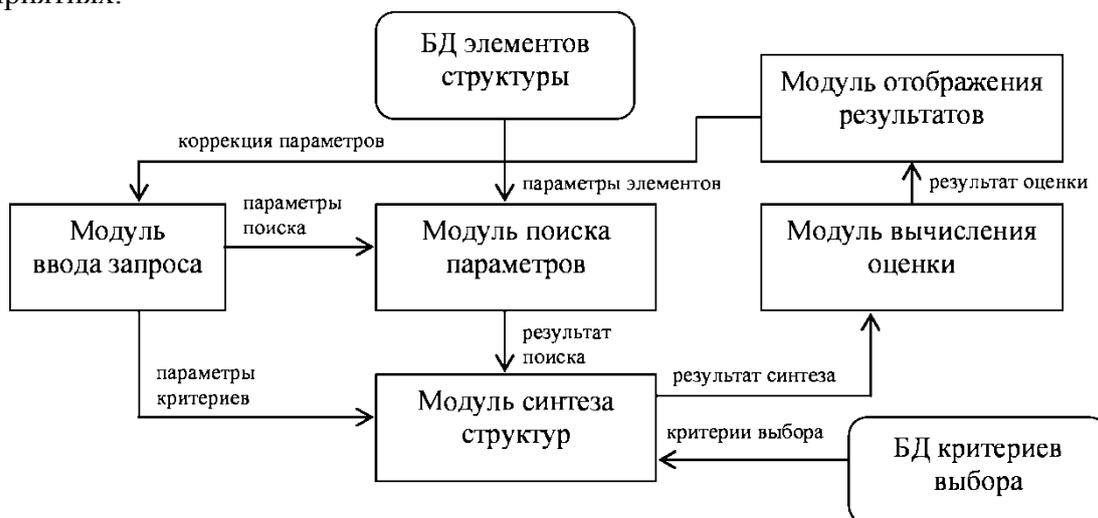


Рисунок 1 – Структурная схема программного обеспечения оценки аппаратно-программных конфигураций проектируемой системы

Результаты работы предложенного метода получены в процессе проектирования громкоговорящей системы, включающей устройства передачи аудио данных и речевых сигналов по протоколу HTTP.

Для моделирования программных элементов системы в базу данных были введены оценочные показатели требуемой производительности для реализации протоколов передачи данных, а также алгоритмов сжатия потока [5] и фильтрации речевого сигнала [6, 7].

Была произведена оценка аппаратных конфигураций по нескольким критериям, основными из которых являются критерий стоимости реализации устройства с учетом требуемой производительности процессора ($G_{j/k}$), а также требуемый объем оперативной памяти ($V_{j/k}$), необходимый для промежуточного хранения принимаемых и передаваемых аудиоданных.

На рисунке 2 показаны графики зависимости величин критериев $G_{j/k}$ и $V_{j/k}$ от предлагаемой аппаратно-программной структуры устройства в процентном соотношении с базовым вариантом устройства (БВ), полученные экспертом с использованием системы принятия решения и без нее.

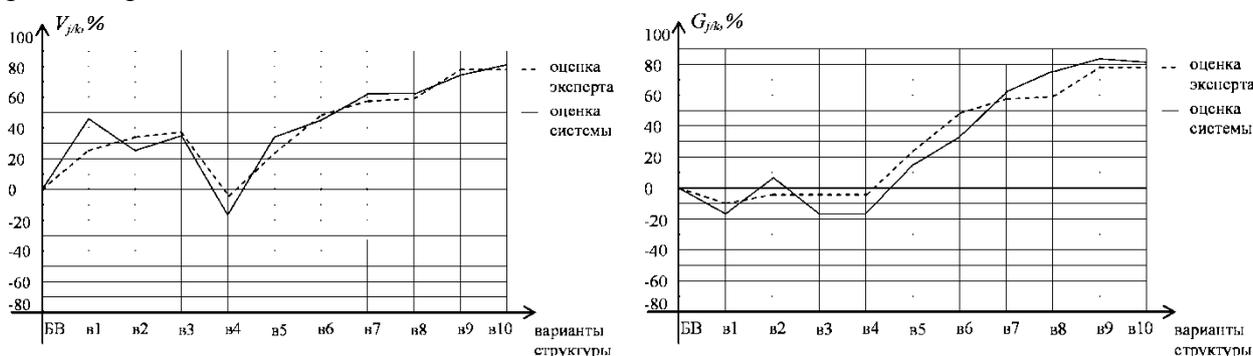


Рисунок 2 – Зависимость величин критериев от предлагаемой аппаратно-программной структуры устройства в процентном соотношении с базовым вариантом устройства

Из рисунка 2 видно, что система, реализующая описанный метод, выполняет оценку, близкую к экспертной (расхождение не более 15%). В ходе дальнейшей разработки устройства

были получены данные о том, что полученная оценка системы по критерию стоимости ($G_{j/k}$) ближе к реальному показателю на 10-20%, чем экспертная оценка.

Таким образом, рассмотренный метод и система позволяет автоматизировать процесс принятия решения по выбору структур телекоммуникационных систем путем синтеза допустимых структур и их оценки в соответствии с введенными экспертом критериями.

Необходимо отметить, что для решения задачи выбора вариантов структуры устройств телекоммуникационных систем информационная поддержка должна предоставлять эксперту показатели доступных программных и аппаратных элементов. Это является отдельной и достаточно сложной задачей. Поэтому при решении задачи автоматизации процесса анализа существует также необходимость реализации возможности автоматического получения информации об используемых компонентах электронной схемы из систем автоматизированного проектирования, таких, как PCAD и Altium Designer для анализа оптимальности используемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотов Ю.А., Быков А.А. Проектирование помехозащищенных систем громкоговорящей связи: монография // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co // KG, Saarbrucken, Germany, 2011. – 151 с.
2. Кропотов Ю.А. Статистические параметры сигналов при проектировании оперативно-командных телекоммуникационных систем. В мире научных открытий, 2010. – № 6-1. – С. 39-44.
3. Столингс У. Структурная организация и архитектура компьютерных систем. Проектирование и производительность: пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2002. – 892 с.
4. Овчинников В.А. Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 287 с.
5. Бейлекчи Д.В., Кропотов Ю.А. Исследование вопросов сжатия информационных потоков речевых сигналов с применением вейвлет-преобразования. – М.: Радиотехника, 2008. – № 9. – С. 103-106.
6. Кропотов Ю.А., Быков А.А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с форматным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники, 2010. – Т. 1. – № 1. – С. 60-65.
7. Быков А.А., Кропотов Ю.А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – № 7. – С. 12-17.

Бейлекчи Дмитрий Владимирович

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром

Старший преподаватель кафедры «Электроника и вычислительная техника»

Тел.: 8 (49234) 7-72-72

E-mail: dmibei@yandex.ru, kaf-eivt@yandex.ru

D.V. BEJLEKCHI (*Senior Teacher of the Department «Electronics and Computer Facilities»*)
Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University named after Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom

THE METHOD FOR AUTOMATED OPTIMIZATION OF HARDWARE AND SOFTWARE STRUCTURE OF TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

The article describes the problem of decision on the selection of the optimal hardware and software framework for the design telecommunication system devices. The method for evaluation of optimal structure with the defined criteria and a decision making system to implement this method are offered. The results obtained in the application of the considered method for designing device for transmitting audio data are described.

Keywords: *telecommunication systems; hardware system design; software system design; processing structure optimization.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kropotov Yu.A., By'kov A.A. Proektirovanie pomexozashhishhyonny'x sistem gromkogovoryashhej svyazi: monografiya // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co // KG, Saarbrucken, Germany, 2011. – 151 s.
2. Kropotov Yu.A. Statisticheskie parametry' signalov pri proektirovanii operativno-komandny'x telekommunikacionny'x sistem. V mire nauchny'x otkry'tij, 2010. – № 6-1. – S. 39-44.
3. Stolings U. Strukturnaya organizaciya i arxitektura komp'yuterny'x sistem. Proektirovanie i proizvoditel'nost': per. s angl. – M.: «Vil'yams», 2002. – 892 s.
4. Ovchinnikov V.A. Algoritmizaciya kombinatorno-optimizacionny'x zadach pri proektirovanii E'VM i sistem. – M.: Izd-vo MGTU im. Baumana, 2001. – 287 s.
5. Bejlekchi D.V., Kropotov Yu.A. Issledovanie voprosov szhatiya informacionny'x potokov rechevy'x signalov s primeneniem vejvlet-preobrazovaniya. – M.: Radiotexnika, 2008. – № 9. – S. 103-106.
6. Kropotov Yu.A., By'kov A.A. Algoritm podavleniya akusticheskix shumov i sosredotochenny'x pomex s formatny'm raspredeleniem polos rezhekcii // Voprosy' radioe'lektroniki, 2010. – T. 1. – № 1. – S. 60-65.
7. By'kov A.A., Kropotov Yu.A. Metod interpolyacionnoj fil'tracii v zadachax obrabotki rechevy'x signalov vo vremennoj oblasti // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2008. – № 7. – S. 12-17.

УДК 004.773

В.Т. ЕРЕМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ, Т.М. ПАРАМОХИНА, А.А. ЛЯКИШЕВ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО СЕГМЕНТА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ АСУ ПП**

В статье предложена математическая модель беспроводного сегмента сети АСУ ПП со смешанной структурой.

Ключевые слова: математическая модель; беспроводные сети; пропускная способность.

ВВЕДЕНИЕ

Практически любое современное предприятие не обходится без информационной подсистемы, базирующейся на вычислительных сетях, позволяющей вести информационный обмен как внутри самого предприятия, так и взаимодействовать с государственными структурами, представителями бизнес сообщества и конечными потребителями. Одним из видов внедряемых на предприятиях сетей являются вычислительные сети, имеющие беспроводные сегменты. Поэтому вопрос построения таких сетей, отвечающих всем необходимым современным требованиям, является очень актуальным.

Вычислительные сети АСУ ПП характеризуются большим количеством используемых сервисов и служб, работа которых обеспечивается за счет высокоскоростного доступа пользователей и конечного оборудования к вычислительным и информационным ресурсам как самого предприятия, так и внешним удаленным распределенным ресурсам. К таким сетям предъявляются требования мобильности, масштабируемости, необходимости быстрой реконфигурации в процессе функционирования, приемлемых уровней безопасности, существующих на сегодняшний день, снижения издержек на сетевую составляющую и применяемое сетевое оборудование [1].

В большинстве случаев расширение вычислительной сети за счет наращивания кабельных и оптоволоконных линий является экономически нецелесообразным. По этой причине существующие вычислительные сети предприятий все чаще имеют смешанную структуру построения. Данная структура характеризуется наличием в сети как централизованной, так и децентрализованной организации сети, а также возможностью реализации – внутриофисной и внешней. На рисунке 1 представлен сегмент сети предприятия со смешанной структурой.

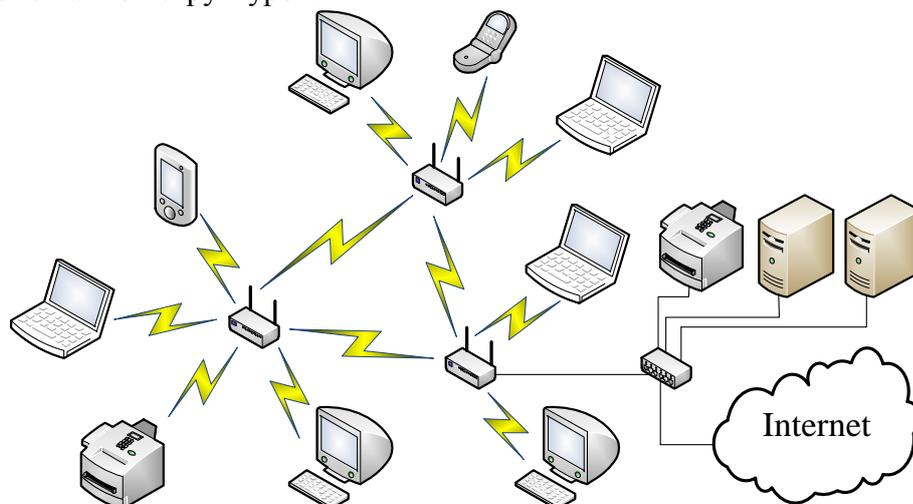


Рисунок 1 – Структура сегмента сети предприятия со смешанной структурой

Современное предприятие использует беспроводные сети не только в качестве основы функционирования электронного документооборота, но и в качестве основы функционирования систем безопасности (видеонаблюдение, системы доступа), телеметрии, IP-телефонии, видеоконференции, что ведет к увеличению нагрузки на сеть и, как следствие, повышает требования к качеству проектирования такой сети. В связи с этим возникает задача разработки модели такой сети, которая позволила бы произвести расчет параметров, необходимых для правильного проектирования сетей такого вида. Кроме того, для повышения качества использования вычислительной сети необходимо осуществлять мониторинг ее функционирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Работа рассматриваемого беспроводного фрагмента вычислительной сети определяется стандартами 802.11, описывающими его функционирование на физическом и канальном уровнях взаимодействия. Данные стандарты используют общий алгоритм работы на канальном уровне CSMA/CA (множественный доступ с контролем несущей и избеганием коллизий), но различаются между собой на физическом уровне. Использование общего метода доступа позволяет построить обобщенную модель для всех стандартов семейства 802.11 [2].

Для беспроводных сетей на базе стандарта 802.11 одним из основных параметров является средняя задержка, возникающая при передаче данных. Вычислить ее можно следующим образом:

$$t_{cp} = \sum_{i \in R} t_{перi} + \sum_{i \in R} t_{yzi}, \quad (1)$$

где $t_{перi}$ – время передачи пакета между двумя соседними узлами, t_{yzi} – время нахождения пакета в очереди на передачу на i -ом узле маршрута, R – множество узлов, составляющих маршрут (за исключением узла получателя).

Для сетей, в состав которых входят одинаковые устройства, параметр $t_{перi}$ имеет в основном одинаковое значение для всех узлов и зависит от пропускной способности канала и длины пакета. Параметр t_{yzi} зависит от интенсивности обслуживания трафика на i -ом узле (коэффициента использования разделяемого ресурса). Данный параметр проводит оценку средней задержки при передаче данных, возникающую при ожидании в очереди.

В соответствии с теоремой Джексона, в пакетных сетях передачи данных каждый узел представляет собой независимую очередь с пуассоновским распределением и детерминированным потоком. Поэтому узел может рассматриваться при помощи схемы M/M/1, где время обслуживания пакетов независимо, так как их длина может изменяться в узлах. В работе Клейнрока [3] сделано предположение о независимом времени обслуживания в случае одинаковых длин пакетов, исходя из усредняющего эффекта объединения и разделения потоков в сети.

Для получения времени нахождения пакета в очереди на передачу на i -ом узле маршрута необходимо принять следующие допущения:

- поток пакетов от конечных устройств образует пуассоновский поток со средней интенсивностью λ ;
- буферные накопители устройств имеют неограниченный объем;
- пакеты имеют одинаковый приоритет;
- время обслуживания при передаче данных описывается показательным законом $1/\mu$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО СЕГМЕНТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ АСУ ПП

В общем виде процесс передачи кадров между узлами можно описать следующим образом: данные, поступающие в буфер узла 1, ожидают, пока не освободится узел 2 и канал,

а затем передаются. Данное взаимодействие можно представить в виде схемы, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема передачи кадров между узлами 1 и 2

В соответствии с формулой Литтла, для каждого i -ого канала сети среднее число обслуживаемых и находящихся в очереди пакетов равно

$$r_i = \lambda_i t_{yzi}, \tag{2}$$

где λ_i – нагрузка в i -ом канале.

Тогда среднее время обработки пакета в узле:

$$t_{yzi} = \frac{r_i}{\lambda_i}. \tag{3}$$

Время передачи пакета между двумя соседними узлами представляет собой выражение следующего вида:

$$t_{перi} = \frac{B}{C_i}, \tag{4}$$

где B – длина пакета в битах, C_i – скорость передачи данных по i -ому каналу.

Среднюю задержку в сети при передаче данных можно записать в виде:

$$t_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^K \lambda_i t_{yzi}, \tag{5}$$

где γ – суммарная нагрузка сети (в пакетах в секунду), K – количество каналов в сети.

Так как очереди независимы и рассматриваются по схеме М/М/1, то, учитывая выражение (4), среднее время обработки пакета в узле можно вычислить следующим образом:

$$t_{yzi} = \frac{t_{перi}}{1 - \lambda_i t_{перi}} = \frac{\frac{B}{C_i}}{1 - \lambda_i \frac{B}{C_i}} = \frac{B}{C_i - \lambda_i B}. \tag{6}$$

Исходя из этого, подставив полученное выражение в (5), получим среднее время задержки пакетов в сети:

$$t_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^K \lambda_i \frac{B}{C_i - B \lambda_i}. \tag{7}$$

Для расчета параметров сети необходимо также определить такой параметр, как время передачи пакета в сети. На канальном уровне сети стандарта 802.11 обычно используют режим передачи с предварительной установкой соединения (метод Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS)) для повышения надежности передачи данных (решение проблемы скрытого узла) [4]. Схема передачи кадров в режиме RTS/CTS изображена на рисунке 3.

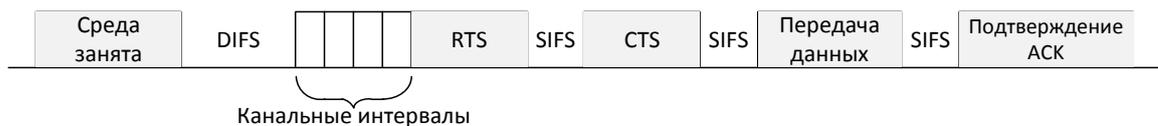


Рисунок 3 – Схема передачи кадров в режиме RTS/CTS

Время передачи кадра с использованием метода RTS/CTS без учета столкновений процессов будет иметь следующий вид [2]:

$$T = t_{DIFS} + t_{wait} + t_{RTS} + 3t_{SIFS} + t_{CTS} + t_{data} + t_{ACK}. \tag{8}$$

где t_{DIFS} – интервал времени DIFS; t_{wait} – канальный интервал; t_{RTS} – время передачи кадра RTS; t_{SIFS} – интервал времени SIFS; t_{CTS} – время передачи кадра CTS; t_{data} – время передачи кадра данных; t_{ACK} – время передачи кадра ACK.

При использовании режима работы RTS/CTS длительность таймаута ACKTimeout:

$$t_{ACKwait} = 2t_{SIFS} + t_{RTS} + t_{CTS}. \quad (9)$$

С учетом (2) и (3) время передачи данных по беспроводному каналу (с учетом столкновений процессов) будет иметь следующий вид:

$$T_c = T + \frac{N_c}{N_c + N_f} (t_{ACKwait} + t_{wait}), \quad (10)$$

где N_c – количество непереданных кадров (столкновений процессов), N_f – количество успешно переданных кадров.

Еще одним важным параметром для беспроводных сетей является их пропускная способность. Общая пропускная способность беспроводной сети складывается из пропускных способностей каналов ее узлов C_i ($i=1, 2, \dots, N$), по которым осуществляется взаимодействие с другими элементами беспроводной сети:

$$C_{общ} = \sum_{i=1}^N C_i, \quad (11)$$

где N – число узлов в сети.

Пропускная способность беспроводного канала со столкновениями процессов и с учетом времени пребывания кадров в очереди на передачу имеет следующий вид:

$$C = \frac{S}{T_c}, \quad (12)$$

где S – размер кадра, передаваемого по каналу.

С учетом выражений (10), (11) и (12) значение общей пропускной способности принимает следующий вид:

$$C_{общ} = \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{T_i + \frac{N_{c_i}}{N_{c_i} + N_{f_i}} (t_{ACKwait_i} + t_{wait_i})}. \quad (13)$$

Средняя пропускная способность одного узла может быть определена следующим образом:

$$C_{cp} = \frac{C_{общ}}{N}. \quad (14)$$

Для сетей со смешанной архитектурой общая пропускная способность сети стремится к теоретической суммарной пропускной способности используемых каналов связи, однако пропускная способность одного узла C_{cp} убывает с ростом числа узлов сети N .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития сетей АСУ ПП одной из основных задач при их построении и эксплуатации является обеспечение требуемого уровня качества обслуживания (Quality of Service, QoS) информационного взаимодействия. Качество обслуживания тесно связано с таким свойством, как надежность, которая является одним из обязательных условий функционирования таких сетей, так как сбои и отказы могут вызывать фатальные последствия. Задача обеспечения требуемого уровня качества обслуживания наиболее остро стоит для беспроводных сегментов сетей.

В беспроводных сетях на передаваемые данные оказывает негативное влияние множество факторов: низкий уровень сигнала и столкновения процессов, помехи, возникающие в процессе их приема-передачи. Эти факторы существенно влияют на пропускную способность сети и вызывают задержки при осуществлении передачи данных.

Предлагаемая модель позволяет рассчитывать пропускную способность канала беспроводного сегмента сети предприятия с учетом возникающих столкновений процессов, определить время, необходимое для передачи данных по каналу, и временные задержки,

возникающие на узлах сети. Анализ полученной модели показывает, что на пропускную способность оказывают влияние такие параметры, как размер передаваемого кадра, время передачи данных по беспроводному каналу, а также немаловажную роль играет характер столкновений процессов.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении проектирования и контроля функционирования беспроводных сегментов сетей АСУ ПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т., Анисимов Д.В., Плащенков Д.А., Краснов Д.А., Черепков С.А., Георгиевский А.Е. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6. – С. 114-119.
2. Еременко В.Т., Анисимов Д.В., Черепков С.А., Лякишев А.А., Чупахин П.А. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 // Информационные системы и технологии, 2013. – № 2. – С. 82-86.
3. Kleinrock L. Queueing Systems. – Vol. II: Computer Applications, New York: Wiley, 1976.
4. Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 304 с.

Еременко Владимир Тарасович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

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

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: wladimir@orel.ru

Анисимов Дмитрий Владимирович

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 920 286 86 35

E-mail: dimadikiy@mail.ru

Парамохина Татьяна Михайловна

Академия ФСО, г. Орел

Кандидат технических наук, преподаватель

Тел.: 8 910 208 37 71

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

D.V. ANISIMOV (*Research Associate*)

T.M. PARAMOHINA (*Candidate of Engineering Sciences, Teacher
Academy of Federal Agency of Protection of Russian Federation, Orel*)

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

**MATHEMATICAL MODELING OF THE WIRELESS NETWORK SEGMENT
INDUSTRIAL ENTERPRISES AUTOMATIC CONTROL SYSTEM**

The paper proposes the mathematical model of the wireless network segment Industrial Enterprises Automatic Control System with mixed structure.

Keywords: *analytical model; wireless network; bandwidth.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eryomenko V.T., Anisimov D.V., Plashhenkov D.A., Krasnov D.A., Cherepkov S.A., Georgievskij A.E. Reshenie zadach upravleniya setevy'mi resursami v usloviyax dinamicheskogo izmeneniya konfiguracii besprovodnoj seti ASUP // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 6. – S. 114-119.
2. Eryomenko V.T., Anisimov D.V., Cherepkov S.A., Lyakishev A.A., Chupaxin P.A. Modelirovanie propusknoj sposobnosti segmenta besprovodnoj seti ASUP na baze standart 802.11 // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 2. – S. 82-86.
3. Kleinrock L. Queueing Systems. – Vol. II: Computer Applications, New York: Wiley, 1976.
4. Pedzhman Roshan, Dzonatan Lie'ri. Osnovy' postroeniya besprovodny'x lokal'ny'x setej standart 802.11.: per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2004. – 304 s.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АСУ ТП ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ

В статье представлена аналитическая модель беспроводной сети, базирующаяся на цепях Маркова с дискретным целочисленным временем. Представленная модель отличается учетом синхронного и асинхронного способа доставки сообщений в условиях помех.

Ключевые слова: модель; цепь Маркова; время обслуживания; протокол передачи данных; беспроводная вычислительная сеть.

ВВЕДЕНИЕ

Газотранспортная система является одним из важнейших элементов энергетического обеспечения не только в нашей стране, но и в мировом масштабе. Одним из важных аспектов ее функционирования является обеспечение надежности систем управления технологическими объектами магистральных газопроводов. Этому всегда уделялось большое внимание, а в современных условиях эти вопросы имеют первостепенное значение.

На сегодняшний день сложилась ситуация, когда на значительном количестве объектов магистральных газопроводов за длительный срок существования АСУ ТП оборудование устарело и имеет достаточно высокий уровень отказов. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили, что блоки и аппаратура систем автоматизации устарели и имеют механический износ. В связи с этим возникает задача замены систем управления на существующих объектах с целью как продления срока службы технологического оборудования, так и обеспечения безопасности эксплуатации компрессорных станций [1].

Одним из направлений реконструкции АСУ ТП газотранспортных предприятий (ГТП) является проведение мероприятий по развитию существующих систем автоматики и телемеханики с заменой части датчиков и преобразователей. На этом этапе необходима замена цеховых систем сбора информации на современные SCADA-системы на базе контроллеров и автоматизированных рабочих мест диспетчеров и технологов. Сеть контроллеров строится на основе технологий беспроводных локальных сетей, которые подвержены влиянию помех, что вызывает необходимость повышения качества информационного обмена АСУ ТП ГТП.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследуем беспроводную сеть АСУ ТП ГТП, состоящую из N станций, в очередь каждой из которых поступает пуассоновский поток пакетов с одинаковой интенсивностью λ и одинаковым распределением $D(l_j)$ длин пакетов l_j . Все пакеты передаются механизмом основного доступа. Любая станция может содержать в своей очереди не более B пакетов.

Пакеты, передача которых начинается в момент поступления, переданы асинхронно, а все остальные – синхронно. Асинхронная передача имеет место, если в момент прихода пакета элемент сети был в состоянии простоя и канал был свободен в течение как минимум t_{DIFS} или t_{EIFS} . Таким образом, асинхронная передача происходит только при отсутствии синхронных передач других станций, а так как $\lambda N_\sigma \ll 1$, то можно считать, что за время одного слота задержки в сети может произойти не более одной асинхронной передачи. Исходя из этого, будем считать, что асинхронная передача всегда успешна.

Основной целью исследования является нахождение среднего значения времени обслуживания пакета T для каждой станции. Для оценки времени T опишем поведение

исследуемой станции цепью Маркова с дискретным целочисленным времени (рис. 1). Единицей времени является виртуальный слот, $\alpha(i, k)$ – стационарная вероятность состояния (i, k) , где k характеризует значение счетчика задержки, а $P\{i_2, k_2 | i_1, k_1\}$ – вероятность одношагового перехода из (i_1, k_1) в (i_2, k_2) .

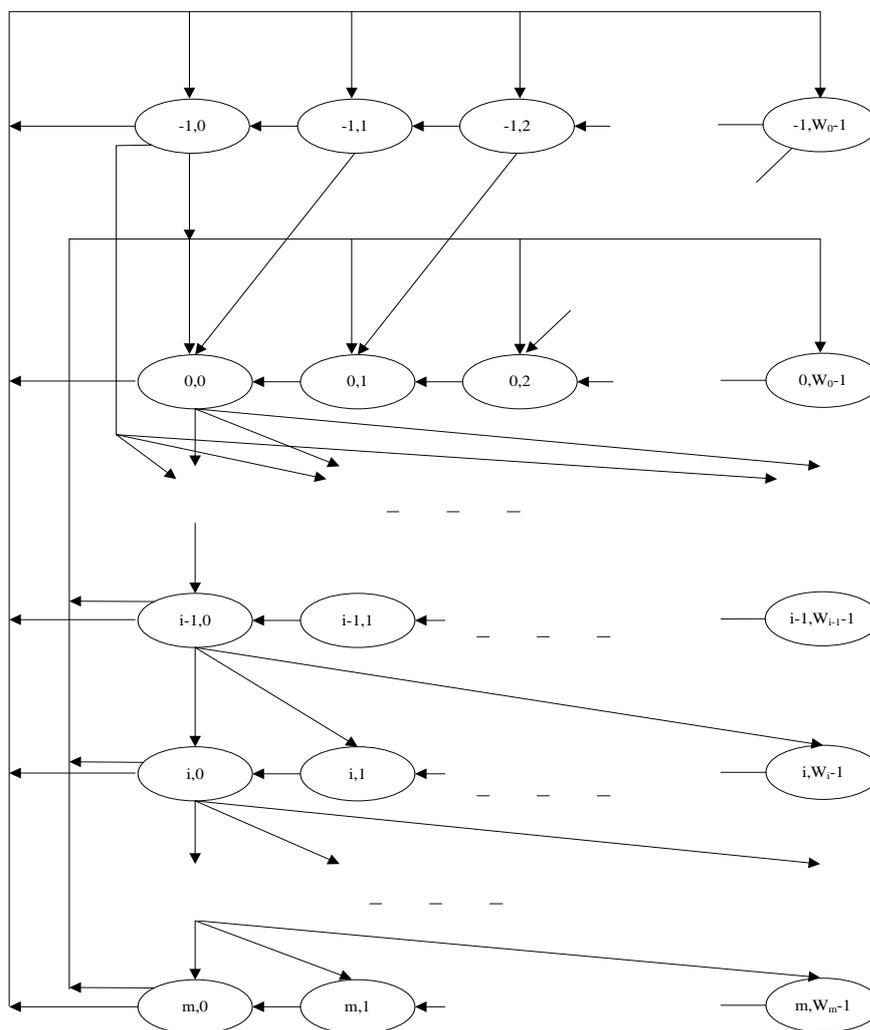


Рисунок 1 – Цепь Маркова

Предполагается, что передаваемые пакеты искажены помехами и вносимые искажения статистически независимы, что имеет место, как в случае канала с аддитивным гауссовским шумом [2]. Интенсивность помех (Bit Error Rate – BER) считается постоянной и не зависящей от расположения источника и получателя пакетов. На практике, в отличие от случая идеального канала, асинхронная передача может быть неудачной из-за искажения пакетов радиопомехами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ НА ЭЛЕМЕНТЫ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ АСУТП ГТП

Введем следующие вероятности:

– P_T^A – вероятность прихода хотя бы одного пакета за время успешной асинхронной передачи другого пакета;

– q_i – вероятность неудачной попытки передачи данной станции на стадии задержки i из-за искажения пакетов радиопомехами.

Вероятность неудачи передачи пакета на стадии i равна

$$\hat{p}_i = 1 - (1 - p)(1 - q_i),$$

где p – вероятность столкновения процессов.

Определим возможные одношаговые переходы между состояниями и соответствующие им ненулевые вероятности переходов, отличающиеся от модели, приведенной в работе [3]:

– $P\{i, k | i - 1, 0\} = \hat{p}_{i-1} / W_i, i \in (1, m), k \in (0, W_i - 1)$ – неудачная попытка передачи и переход на следующую стадию задержки;

– $P\{0, k | i, 0\} = (1 - P_0 e^{-\lambda_{DIFS}})(1 - \hat{p}_i) / W_0, i \in (0, m - 1), k \in (0, W_0 - 1)$ – удачная передача, в очереди есть еще пакет(ы);

– $P\{-1, k | i, 0\} = P_0 e^{-\lambda_{DIFS}}(1 - \hat{p}_i) / W_0, i \in (0, m - 1), k \in (0, W_0 - 1)$ – удачная передача, в очереди нет пакетов;

– $P\{0, k | m, 0\} = [(1 - P_0 e^{-\lambda_{DIFS}})(1 - \hat{p}_m) + (1 - P_0 e^{-\lambda_{EIFS}})\hat{p}_m] / W_0, k \in (0, W_0 - 1)$ – последняя попытка передачи, после которой пакет удаляется из очереди; в очереди есть еще пакет(ы);

– $P\{-1, k | m, 0\} = P_0 [e^{-\lambda_{DIFS}}(1 - \hat{p}_m) + e^{-\lambda_{EIFS}}\hat{p}_m] / W_0, k \in (0, W_0 - 1)$ – последняя попытка передать пакет, в очереди больше нет пакетов;

– $P\{0, k | -1, 0\} = [P_S^F + P_S^E P_T^A(1 - q_0)] / W_0, k \in (0, W_0 - 1)$ – переход из состояния простоя в состояние задержки. Такой переход имеет место, если в момент прихода пакета среда была занята или в момент асинхронной передачи пришел еще один пакет;

– $P\{-1, k | -1, 0\} = P_S^E(1 - P_T^A)(1 - q_0) / W_0, k \in (1, W_0 - 1)$ – переход соответствует асинхронной передаче, после которой в очереди нет больше пакетов, счетчик $b = k > 0$;

– $P\{-1, 0 | -1, 0\} = 1 - P_S + P_S^E(1 - P_T^A)(1 - q_0) / W_0$ – нет поступивших пакетов или имела место асинхронная передача, за время которой не поступило больше пакетов, счетчик $b = 0$;

– $P\{1, k | -1, 0\} = P_S^E q_0 / W_1, k \in (0, W_1 - 1)$ – имела место асинхронная передача, не удавшаяся из-за помех.

Исходя из этого, выполняется:

$$\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) + \sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = 1.$$

Для $i = 1$ и $k \in (0, W_1 - 1)$, т.е. состояний, соответствующих второй попытке передачи, стационарные вероятности определяются формулой:

$$\alpha(1, k) = \frac{W_1 - k}{W_1} [\hat{p}_0 \alpha(0, 0) + P_S^E q_0 \alpha(-1, 0)].$$

Суммируя, получим:

$$\sum_{k=0}^{W_1-1} \alpha(1, k) = \frac{W_1 + 1}{2} [\hat{p}_0 \alpha(0, 0) + P_S^E q_0 \alpha(-1, 0)].$$

$$\sum_{i=2}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) = \sum_{i=2}^m \left(\frac{W_i + 1}{2} \prod_{j=1}^{i-1} \hat{p}_j \right) [\hat{p}_0 \alpha(0, 0) + P_S^E q_0 \alpha(-1, 0)].$$

Для $i = -1$ и $k \in (1, W_0 - 1)$, т.е. состояний, соответствующих процедуре задержки после удачного переданного пакета или отказа, но при отсутствии пакета для передачи, из уравнения глобального баланса имеем:

$$\alpha(-1, k) = A(k) E_1 \alpha(0, 0),$$

а состояния простоя $(-1, 0)$:

$$\alpha(-1, 0) = E \alpha(0, 0).$$

После сложения и простых преобразований получаем:

$$\sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = \left[E + E_1 \sum_{k=1}^{W_0-1} A(k) \right] \alpha(0, 0).$$

Для $i = 0$ и $k = 1, \dots, W_0 - 1$

$$\begin{aligned} \alpha(0, k) &= \alpha(0, k + 1) + P_S \alpha(-1, k + 1) + \\ &+ \frac{1 - F_1}{W_0} \sum_{i=0}^m (1 - \hat{p}_i) \alpha(i, 0) + \frac{1 - F_2}{W_0} \hat{p}_m \alpha(m, 0) + \frac{F_4}{W_0} \alpha(-1, 0), \end{aligned}$$

где $F_4 = P_S^F + P_S^E P_T (1 - q_0)$.

Очевидно, что вероятность синхронной передачи данной станции:

$$\tau = \sum_{i=0}^m \alpha(i, 0) = \left[1 + D \left(1 + \sum_{i=2}^m \prod_{j=1}^{i-1} \hat{p}_j \right) \right] \alpha(0, 0).$$

Вероятность столкновения процессов p определена в [3].

Определим q_i . Будем считать, что короткий служебный кадр АСК, а также РНУ-заголовок, передаваемый надежно на малой скорости, не искажаются помехами. Тогда вероятность искажения пакета DATA с длиной l_i равна:

$$\xi(l_i) = 1 - (1 - \text{BER})^{H_{\text{MAC}} + l_j}.$$

Перейдем теперь к определению вероятностей P_S , P_S^F , P_S^E и P_T^A . Для P_S^E справедлива формула из [4].

Определим вероятности P_S^F , P_T^A и P_T – соответственно, вероятности прихода хотя бы одного пакета за время «непустого» слота, за время успешной асинхронной передачи и за время синхронной передачи другой станции.

Вероятность прихода хотя бы одного пакета на данную станцию за время синхронной передачи другой станции, происходящей в «успешном» слоте, равна:

$$P_T = 1 - \sum_i \left\{ [1 - \xi(l_i)] e^{-\lambda t_s^i} + \xi(l_i) e^{-\lambda t_c^i} \right\} D^*(l_i).$$

Очевидно, что

$$\hat{t}_s^i = [1 - \xi(l_i)] t_s^i + \xi(l_i) t_c^i$$

это среднее время без столкновения процессов синхронной передачи пакета длиной l_i .

Вероятность прихода пакета за время успешной асинхронной передачи равна:

$$P_T^A = 1 - \sum_j e^{-\lambda t_s^j} (1 - \xi(l_j)) D(l_j).$$

За время неуспешной асинхронной передачи равно:

$$P_U^A = 1 - \sum_j e^{-\lambda t_c^j} \xi(l_j) D(l_j).$$

Вероятность прихода хотя бы одного пакета за время столкновения процессов, очевидно, равна:

$$P_C = 1 - \sum_i e^{-\lambda t_c^i} D_i^C,$$

где P_S^F – вероятность прихода пакета за время непустого слота, при условии, что очередь данной станции пуста.

Рассмотрим три случая, которые могут иметь место:

1. Синхронная передача другой станции в «успешном» слоте. Вероятность поступления пакета в этом случае равна $Q_S^S P_T$, где $Q_S^S = (N - 1) \tau (1 - \tau)^{N-2}$ – условная вероятность этого случая.

2. Асинхронная передача другой станции.

При анализе этого случая используем допущение о том, что за один виртуальный слот может произойти только одна асинхронная передача. Тогда условная вероятность этого случая равна $Q_A = (N - 1)\tau^a$, а вероятность поступления равна $Q_A[(1 - q_0)P_T^A + q_0P_U^A]$.

3. В случае столкновения процессов вероятность поступления равна $Q_C P_C$, где $Q_C = 1 - Q_E - Q_S^S - Q_S^U - Q_A$ – вероятность неудачной передачи, в которых не участвует данная станция.

Следовательно,

$$P_S^F = Q_S P_T + Q_A [(1 - q_0)P_T^A + q_0P_U^A] + Q_C P_C.$$

Для завершения определения модели осталось найти P_0 – вероятность опустошения очереди после завершения обслуживания.

Процесс изменения очереди можно описать моделью, показанной на рисунке 2.

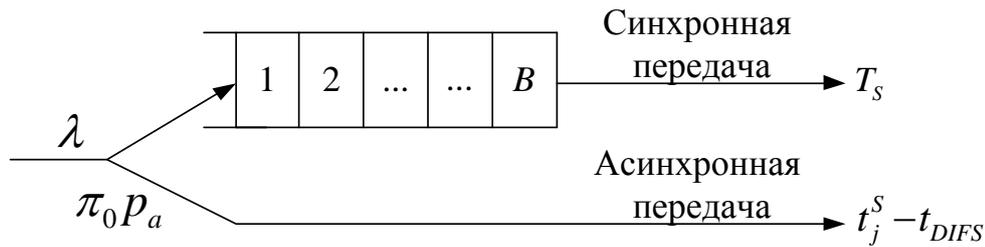


Рисунок 2 – Процесс изменения очереди

Пакеты, приходящие на станцию, не занятую обслуживанием других пакетов, с вероятностью $p_a(1 - q)$ обслуживаются асинхронно и поэтому успешно в течение $t_j^S - DIFS$. Асинхронные пакеты, терпящие неудачу, и все остальные пакеты поступают в буфер размером B и обслуживаются синхронно в течение случайного времени со средним значением T_s .

Прежде всего, необходимо заметить, что синхронно могут обслуживаться два вида пакетов: поступающие сразу в буфер и поступающие в буфер после неудачной попытки асинхронной передачи. Тогда T_s будет определяться выражением

$$T_s = \frac{(1 - \pi_0 p_0)T_{s1} + \pi_0 p_a q_0 T_{s2}}{1 - \pi_0 p_a (1 - q_a)},$$

где T_{s1} – среднее время обслуживания по синхронному механизму пакета, поступающего сразу в буфер, T_{s2} – среднее время обслуживания по синхронному механизму пакета, поступающего в буфер после неудачной попытки асинхронной передачи.

Для нахождения вероятности p_a и среднего времени T_{s1} разобьем пакеты, поступающие сразу в буфер, минуя неудачную попытку асинхронной передачи, в течение всех возможных виртуальных слотов (i, k) , на следующие 4 категории:

- 1) поступление в течение слотов $(i \geq 0, k)$;
- 2) поступление в течение слотов $(-1, k > 0)$;
- 3) поступление в течение передачи другой станции во время слота $(-1, 0)$;
- 4) поступление во время асинхронной передачи данной станции.

Для каждой из этих категорий подсчитаем среднее количество поступающих синхронно обслуживаемых пакетов r_i и r_i^0 ($i = 1, \dots, 4$), где r_i – их общее количество, а r_i^0 – количество пакетов, поступающих в пустую очередь.

Очевидно,

$$T_{s1} = \left[(T_s^* + \Delta^*) \sum_{i=1}^4 (r_i - r_i^0) + \sum_{i=1}^4 T_s^i r_i^0 \right] / \sum_{i=1}^4 r_i, \quad p_a = \tau_n^a / (\tau_n^a + \sum_{i=1}^4 r_i^0),$$

где

$$T_S^* = \sum_{i=0}^{m-1} \left(\prod_{j=0}^i \hat{p}_j \right) \left(\frac{W_i - 1}{2} t_b + t_i - (1 - \hat{p}_i) t_{DIFS} \right),$$

а $t_b = Q_E \sigma + Q_S \sum_j \hat{t}_j^j D^*(l_j) + Q_A \hat{T}_A + Q_C \sum_h t_c^h D_h^C$, $t_i = (1 - p) \sum_j \hat{t}_S^j D^*(l_j) + p \sum_h t_c^h D_h^C$ – средняя длительность виртуальных слотов, в которых данная станция воздерживается от передачи и передает.

$$\hat{T}_A = (1 - q_0) \frac{\sum_j t_s^j (1 - \xi(l_j)) D(l_j)}{\sum_n (1 - \xi(l_n)) D(l_n)} + q_0 \frac{\sum_j t_c^j \xi(l_j) D(l_j)}{\sum_h \xi(l_h) D(l_h)}.$$

Кроме того, T_s^j – средние времена обслуживания пакетов категории i , поступающих в пустую очередь, а $\Delta^* = (1 - \hat{p}^{m+1}) t_{DIFS}$ отражает тот факт, что передача пакета, поступившего в непустую очередь, начинается с интервала t_{DIFS} , следующего за подтверждением успешной передачи, кроме случая отказа, тогда обслуживание начинается после окончания интервала t_{EIFS} .

Формулы для расчета значений r_i , r_i^0 и T_s^i для каждой из введенных категорий представлены в [3].

Окончательно, учитывая асинхронную передачу, получаем среднее время, затрачиваемое на обслуживание пакета:

$$T = \frac{\pi_0 p_a (1 - q_0)}{1 - \pi_B} \left[\frac{\sum_j (t_s^j - t_{DIFS}) (1 - \xi(l_j)) D(l_j)}{\sum_h (1 - \xi(l_h)) D(l_h)} \right] + \frac{1 - \pi_0 p_a (1 - q_0) - \pi_B}{1 - \pi_B} T_S.$$

В формуле первое слагаемое ответственно за асинхронный, а второе – за синхронный механизм передачи. В заключении найдем другие показатели производительности. Очевидно, вероятность отказа в обслуживании пакета:

$$p_r = 1 - (1 - \pi_B) [(1 - p_a) \hat{p}_0 + p_a q_0] \prod_{j=0}^m \hat{p}_j.$$

Отказ происходит при: а) полном заполнении очереди, когда количество пакетов в ней равно B ; б) исчерпании количества попыток на передачу пакета.

Также на основании формулы Литтла находим среднее время задержки пакета на MAC-уровне:

$$T_{MAC} = \frac{\pi_0 p_a (1 - q_0)}{1 - \pi_B} \sum_j (t_s^j - t_{DIFS}) D(l_j) + \frac{[1 - \pi_0 p_a (1 - q_0) - \pi_B]}{1 - \pi_B} \frac{\sum_{i=1}^B i \pi_i}{\lambda_0 \pi_0 + \sum_{i=1}^{B-1} \lambda \pi_i}.$$

Найдем пропускную способность. $R_E = (1 - \tau - \tau^a)^N$ – вероятность того, что этот слот пустой. $R_S = N \tau (1 - \tau)^{N-1}$ – вероятность того, что в этот слот произошла синхронная передача, успешная или неуспешная из-за искажения, а $R_A = N \tau^a$ – вероятность того, что в этот слот произошла асинхронная передача, также успешная или неуспешная из-за искажения. И, наконец, $R_C = 1 - R_S - R_E - R_A$ – вероятность неудачной передачи из-за столкновения процессов.

Тогда пропускная способность:

$$S = \frac{R_S \sum_j l_j (1 - \xi(l_j)) D^*(l_j) + R_A \sum_j l_j (1 - \xi(l_j)) D(l_j)}{R_E \sigma + R_S \sum_j \hat{t}_S^j D^*(l_j) + R_A \hat{T}_A + R_C \sum_i t_C^i D_i^C}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим случай, когда канал не идеален и помехи ухудшают производительность сети. Одним из следствий влияния помех является рост вероятности отказа, который происходит по двум причинам:

- увеличивается среднее время обслуживания пакета, что ведет к увеличению вероятности переполнения очереди;
- растет вероятность неудачной передачи пакета из-за его искажения, источниками которого теперь являются не только столкновения процессов, но и радиопомехи, а, следовательно, увеличивается и вероятность отказа в дальнейшей передаче из-за достижения предельного числа попыток.

В связи с этим в качестве основного показателя производительности, исследуемого в данном разделе, выбрана вероятность отказа. Предельные значения N_s и N_d (числа неудачных попыток передачи коротких и длинных кадров) оказывают значительное влияние на вероятность потери пакета. Если они малы, пакет с большей вероятностью теряется из-за исчерпания допустимого числа попыток передачи. Их большое значение может увеличивать среднее время обслуживания пакета, следовательно, это может привести к росту вероятности потери пакета из-за переполнения очереди. Исследуем случай, когда все пакеты передаются с помощью механизма основного доступа. Поэтому в качестве управляемого параметра, который мы будем оптимизировать, выберем предельное число неудачных попыток передачи коротких кадров $N_s = m$. Это позволит нам исследовать разработанную аналитическую модель.

Исследуем влияние интенсивности помех BER на вероятность отказа p_{rej} , варьируя также остальные параметры трафика и конфигурации сети. При получении результатов этого исследования длина пакета l предполагалась постоянной. Значения параметров протокола остаются те же, что и в [3].

Вероятность отказа сильно возрастает, начиная с $BER = 5 * 10^{-5}$, причем скорость этого роста существенно зависит как от интенсивности λ поступления пакетов на отдельную станцию сети, так и от числа станций N . Принимать во внимание нужно именно суммарную интенсивность поступления пакетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная модель оценки воздействия помех на элементы беспроводной локальной вычислительной среды АСУТП ГТП позволяет получить среднее время задержки пакета на MAC-уровне и рассчитать пропускную способность сети в условиях негативного воздействия на процесс передачи.

Анализируя полученную модель, можно сделать следующие выводы:

- при малой нагрузке имеет смысл выбирать максимальное значение m , а для высокой нагрузки оптимальный выбор параметра m позволяет существенно снизить вероятность отказа (до нескольких раз);
- результаты применения данного алгоритма оптимизации даны на рис. 3, где проводится сравнение вероятности отказа при значении $m = 7$ рекомендуемого в стандарте и при оптимально выбранном m для $N = 10$, $N = 20$ и $\lambda = 20$ в обоих случаях. Видно, что применение оптимального m может в тысячи раз снизить вероятность отказа для ситуации малой нагрузки и малых помех, и в несколько раз для высокой нагрузки (насыщения) и больших помех.

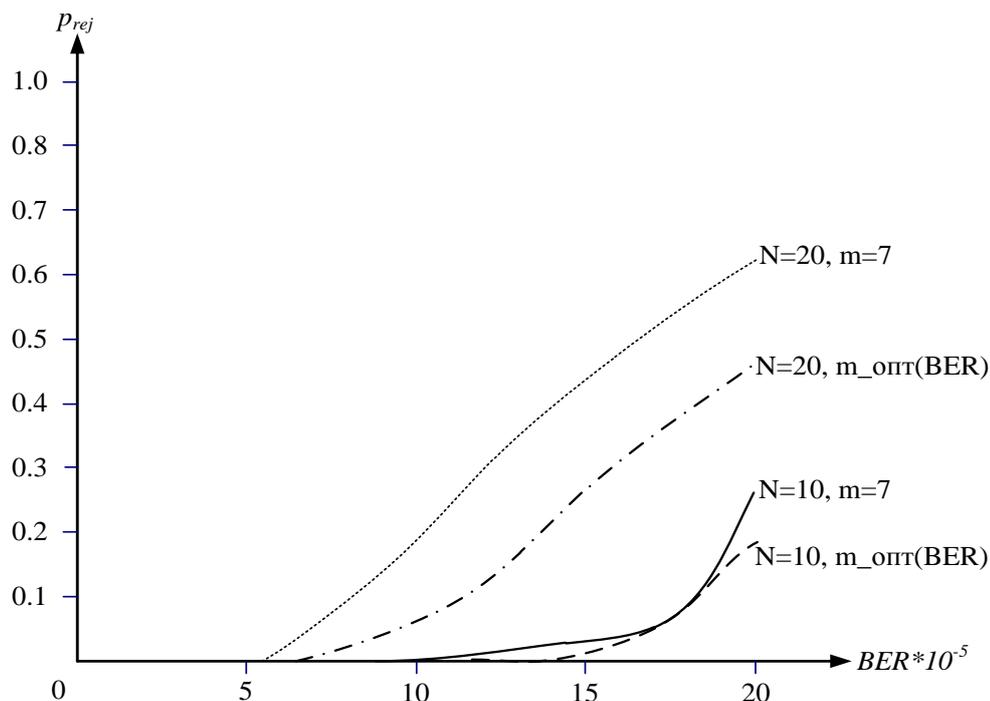


Рисунок 3 – Зависимости вероятности отказа p_{rej} от BER для разных N и для $m=7$ и $m=m_{опт}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация объектов ГП Белтрансгаз [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.asutp.ru/?p=600251>.
2. Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Еременко В.Т. Математическая модель оценки производительности беспроводной вычислительной сети АСУ предприятия / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Д.А. Краснов и др. // Информационные системы и технологии, 2011. – № 5. – С. 11-20.
4. Еременко В.Т. Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS / В.Т. Еременко, С.В. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев // Информационные системы и технологии, 2013. – № 1. – С. 106-112.
5. Еременко В.Т. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев, П.А. Чупахин // Информационные системы и технологии, 2013. – № 2. – С. 82-86.

Краснов Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 965 299 02 13

E-mail: ekshin@mail.ru

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

ASSESSMENT MODELLING EVALUATE THE PERFORMANCE
OF THE WIRELESS DATA TRANSMISSION NETWORK
OF ACS TP GAS-TRANSPORTING ENTERPRISES IN THE CONDITIONS
OF THE IMPACT OF INTERFERENCE

The article presents the analytical model of a wireless network, based on Markov chains with a discrete integer time. The presented model has given way to synchronous and asynchronous message delivery.

Keywords: *model; Markov's chain; service time; data transmission protocol; wireless computer network.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Avtomatizaciya ob'ektov GP Beltransgaz [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.asutp.ru/?p=600251>.
2. Vishnevskij V.M., Lyaxov A.I., Portnoj S.L., Shaxnovich I.V. Shirokopolosny'e besprovodny'e seti peredachi informacii. – M.: Texnosfera, 2005. – 592 s.
3. Eryomenko V.T. Matematicheskaya model' ocenki proizvoditel'nosti besprovodnoj vy'chislitel'noj seti ASU predpriyatiya / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, D.A. Krasnov i dr. // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 5. – S. 11-20.
4. Eryomenko V.T. Analiz modelej upravleniya trafikom v setyax ASUP na osnove texnologii MPLS / V.T. Eryomenko, S.V. Eryomenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 1. – S. 106-112.
5. Eryomenko V.T. Modelirovanie propusknoj sposobnosti segmenta besprovodnoj seti ASUP na baze standarta 802.11 / V.T. Eryomenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev, P.A. Chupaxin // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 2. – S. 82-86.

**АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ
МЕТОДОМ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДПФ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ АУДИО ОБМЕНА**

В работе рассматривается адаптивная линейная многоканальная фильтрация речевых сигналов и подавление составляющих внешних акустических помех.

Ключевые слова: адаптивная линейная фильтрация; многоканальный алгоритм; акустические помехи; система обмена сообщениями.

Рассматривается адаптивная линейная многоканальная фильтрация речевых сигналов и подавление составляющих внешних акустических помех. В частности, рассматривается вычисление спектральной функции временных отсчетов в пределах сегмента речевых сигналов с помощью алгоритма ДПФ. Таким образом получаем значения коэффициентов дискретных спектральных составляющих на последовательности конечной длины из N отсчетов, где $N = \tau_c / T$, τ_c – длительность сегмента, T – период дискретизации. В этом случае получаем спектральную функцию акустического сигнала речи в дискретной форме в виде отсчетов спектральных составляющих через интервал дискретизации по частоте $f_1 = F_d / N$ [1] в l точках, равномерно расположенных на окружности единичного радиуса z -плоскости, соответствующим значениям $z^{j\omega} = z^{jl \cdot 2\pi f_1 T}$ и образующих l каналов фильтрации.

В случае вычисления ДПФ сигнала в виде отсчетов аддитивной суммы $y(n) = x(n) + r(n)$, где $x(n)$ – отсчеты речевого сигнала, $r(n)$ – акустическая помеха при $0 \leq n \leq N-1$, получаем значение спектральной составляющей на частоте $l \cdot \omega_1$ в виде

$$s(jl\omega_1) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{0,5N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} \cdot l \cdot n},$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1.$$

Модуль данной составляющей в виде

$$|s(j \cdot l \cdot \omega_1)_{c+n}| = \sqrt{A^2 + B^2},$$

где $A = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{0,5N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot l \cdot n\right)$, $B = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{0,5N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot l \cdot n\right)$.

Можно показать, что модуль спектральных составляющих, вычисленных с помощью ДПФ для речевого сигнала, в виде

$$s(j \cdot l \cdot \omega_1)_c = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{0,5N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} \cdot l \cdot n}$$

имеет значение существенно меньшее, чем значение модуля составляющих для $y(n)$, то есть

$$|s(j \cdot l \cdot \omega_1)_c| \ll |s(j \cdot l \cdot \omega_1)_{c+n}|.$$

Данное соотношение модулей составляющих позволяет реализовать многоканальный адаптивный алгоритм фильтрации речевых сигналов и подавления акустических помех в виде структурной схемы (рис. 1).

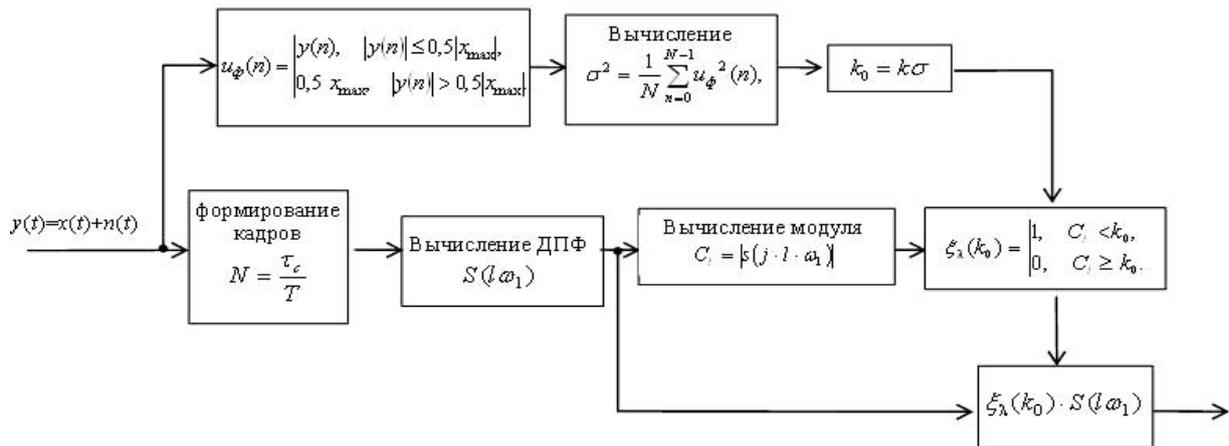


Рисунок 1 – Структурная схема канала многоканального адаптивного алгоритма подавления акустических помех

Структурная схема канала многоканального адаптивного алгоритма подавления внешних акустических помех описана в [2]. Схема формирования сигнала управления $\xi(k_0)$ рассмотрена в работе [3].

Экспериментальные исследования программными средствами в среде «MatLab» показывают, что подавление внешних акустических шумов можно получить $K_{под} \geq (-15 \text{ дБ})$, уровень подавления акустических помех вида акустической сосредоточенной помехи достигает $K_{под} \geq (-30 \text{ дБ})$.

Результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициентов подавления алгоритмом адаптивной фильтрации методом ДПФ для различных акустических шумов показаны на гистограммах на рисунке 2. Виды акустических шумов представлены в соответствии с их временем корреляции $\Delta\tau = kT$, где k – число периодов дискретизации [2].

Устройство, представленное на рисунке 1, реализовано при значениях параметров: $\tau = 20 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, $F\Delta = 104 \text{ Гц}$ и, соответственно, $N = 200$, $f_1 = 50 \text{ Гц}$, $l_{min} = 6$, $l_{max} = 68$.

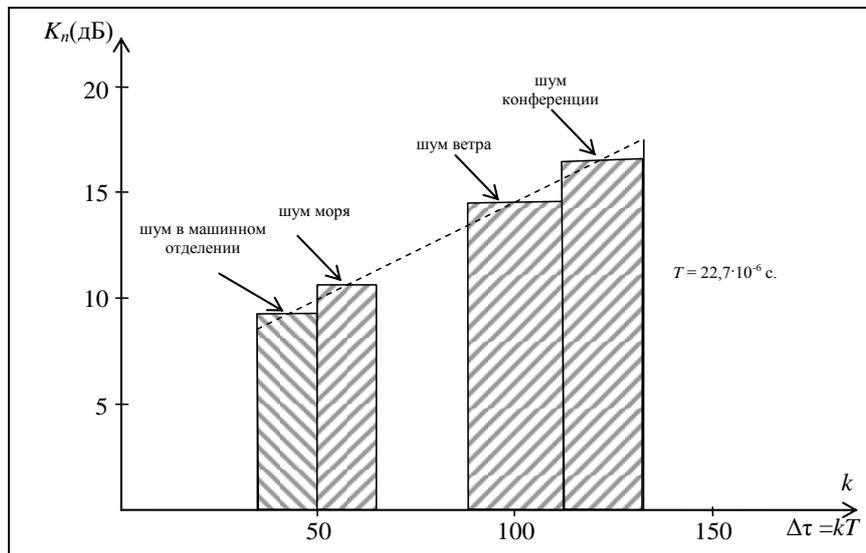


Рисунок 2 – Результаты исследований подавления акустических шумов методом ДПФ

Таким образом, представленная схема устройства на рисунке 1 реализует алгоритм обработки речевых сигналов методами ДПФ, позволяет повышать эффективность передачи информации в телекоммуникационных системах громкоговорящей связи,

функционирующих в условиях воздействия внешних акустических шумовых и сосредоточенных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотов Ю.А. Исследование методов спектрального анализа речевых сигналов / Ю.А. Кропотов, А.А. Быков, А.Ю. Проскуряков // Proceedings of 18 th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology». Sevastopol, Ukraine, 2008. – V. 1. – P. 308-309.
2. Кропотов Ю.А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами / Ю.А. Кропотов, В.А. Ермолаев, В.Т. Еременко, О.Е. Карасев // Радиотехника и электроника, 2010. – Том 55. – № 1. – С. 57-62.
3. Кропотов Ю.А. Алгоритм вычисления сигнала управления каналом режекции многоканальной системы передачи акустических сигналов // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ, 2010. – Вып. 1. – С. 57-59.

Кропотов Юрий Анатольевич

Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет, г. Муром
Кандидат технических наук, профессор, зав. 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 the Department «Electronics and Computers»)

Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University Named After Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom

ADAPTIVE ALGORITHM FOR INTERFERENCE SUPPRESSION BY DFT SHORT-TERM METHOD IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS AUDIO EXCHANGE

In this paper we consider adaptive linear multi-channel filtering of speech signals and the suppression of the external acoustic noise components.

Keywords: *adaptive linear filtering; multi-channel algorithm; acoustic noise; the messaging system.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kropotov Yu.A. Issledovanie metodov spektral'nogo analiza rechevy'x signalov / Yu.A. Kropotov, A.A. By'kov, A.Yu. Proskuryakov // Proceedings of 18 th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology». Sevastopol, Ukraine, 2008. – V. 1. – P. 308-309.
2. Kropotov Yu.A. Identifikaciya modelej diskretny'x linejny'x sistem s peremenny'mi, medlenno izmenyayushhimisya parametrami / Yu.A. Kropotov, V.A. Ermolaev, V.T. Eryomenko, O.E. Karasev // Radiotekhnika i e'lektronika, 2010. – Tom 55. – № 1. – S. 57-62.
3. Kropotov Yu.A. Algoritm vy'chisleniya signala upravleniya kanalom rezhekicii mnogokanal'noj sistemy' peredachi akusticheskix signalov // Voprosy' radioe'lektroniki. Seriya OT, 2010. – Vy'p. 1. – S. 57-59.

УДК 621.396

А.В. МАКСИМЕНКО

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА РЕТРАНСЛЯТОРА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ МНОГОПРИОРИТЕТНОГО ТРАФИКА В СЕТЯХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Определен метод динамического распределения ресурса, при котором обеспечивается максимум значения коэффициента обслуженности суммарной нагрузки в сети.

Ключевые слова: спутниковый ретранслятор; многоприоритетный трафик; порог резервирования; зона доступности; АЛОНА.

На основе марковских моделей разноприоритетных потоков требований и сформулированного критерия максимума коэффициента обслуженной нагрузки пользователей при ограничениях на ресурс ретранслятора и допустимую вероятность обслуживания высокоприоритетных заявок разработан алгоритм оптимизации зон доступности заявок к ресурсу ретранслятора в VSAT-сети спутниковой связи.

В сетях спутниковой связи с предоставлением ресурса ретранслятора по требованиям пользователей [1, 2] более предпочтительным способом управления качеством обслуживания многоприоритетных заявок считается способ, основанный на оптимизации зон доступности заявок различного приоритета к общему ресурсу, т.к. он позволяет осуществлять статистическое уплотнение заявок различного приоритета на ресурсе ретранслятора и поддерживать требуемое качество обслуживания высокоприоритетных пользователей без прерывания обслуживания низкоприоритетных заявок.

Реализация алгоритма управления порогами резервирования при обслуживании многоприоритетных потоков требований в сетях спутниковой связи требует последовательного решения задач стохастической оценки интенсивностей разноприоритетных потоков требований и формирования оптимальных в смысле выбранного критерия значений зон доступности.

Можно показать [3], что для случая аппроксимации состояния потока требований одного приоритета $x(k)$ управляемой цепью Маркова он может быть представлен системой уравнений состояния и наблюдения. При этом текущая оценка состояния процесса $\hat{x}(k)$, оптимальная в смысле МСКО, может быть найдена на основе рекуррентного алгоритма фильтрации, предложенного в [3].

В качестве целевой функции в задаче оптимизации плана распределения ресурсов ретранслятора сети спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей определим коэффициент обслуженности суммарной нагрузки в сети связи. Тогда соответствующий ей критерий оптимальности решений относительно планируемого числа зарезервированных каналов $\Delta_r(k)$ и значений порогов резервирования $d_r(k)$ будет иметь следующий вид:

$$\max_{d_r, \Delta_r} K_0(k) = \frac{\sum_{r=1}^R z_r(k) P_{\text{обсл } r}(k; \lambda_1; V_\Sigma; d_r; \Delta_r)}{z_\Sigma(k)} \quad (1)$$

при ограничениях

$$P_{\text{обсл } r=1}(k; \lambda_1; V_\Sigma; d_r; \Delta_r) \geq P_{\text{обсл } r=1} \text{ доп. и } \sum_{r=1}^R \Delta_r(k) \leq V_\Sigma$$

и начальном условии $K_0(0) = 0$,

где $K_0(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл } r}(d_r; \Delta_r))$ – коэффициент обслуженности нагрузки; k – номер шага оптимизации; $z_r(k) = \frac{\lambda_r(k)t_3}{60}$, $z_\Sigma(k)$ – входящая нагрузка, создаваемая заявками только r -го приоритета, и суммарная входящая нагрузка; λ_r – интенсивность поступающей нагрузки r -го приоритета (выз/час); t_3 – среднее время занятия ресурса одним вызовом (мин); $P_{\text{обсл } r}(k; \lambda_1; V_\Sigma; d_r; \Delta_r)$ – вероятность обслуживания заявок r -го приоритета; $P_{\text{обсл } r \text{ доп.}}$ – требования, предъявляемые к вероятности обслуживания заявок r -го приоритета; $\Delta_r(k)$, $d_r(k)$ – текущее значение зарезервированного числа единиц ресурса и порога резервирования (зоны доступности) для пользователей r -го приоритета; V_Σ – суммарное число единиц ресурса (каналов).

Из выражения (1) для коэффициента обслуженности $K_0(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл } r}(d_r; \Delta_r))$ следует, что он является аддитивной функцией числа потоков заявок различного приоритета и линейной функцией вероятностей обслуживания $P_{\text{обсл } r}(k; \lambda_1; V_\Sigma; d_r; \Delta_r)$ при каждом фиксированном значении $\Delta_r(k)$, $d_r(k)$.

Анализ зависимостей вероятностей обслуживания заявок от величины нагрузки пользователей при различных моделях потоков требований и классах СМО, выполненный в среде Mathcad для широкого спектра исходных данных, показал [4], что функции $P_{\text{обсл } r}(k; \lambda_1; V_\Sigma; d_r; \Delta_r)$ во всех случаях имеют монотонный характер, а это при аддитивной целевой функции $K_0(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл } r}(d_r; \Delta_r))$ приводит к возможности отыскания глобально оптимального решения относительно плана распределения ресурсов ретранслятора ($\Delta_r(k)$, $d_r(k)$)_{опт} в сетях спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок с изменяющейся нагрузкой $z_r(k)$.

Решение сформулированной задачи (1) проведем итерационным методом.

Общий итерационный алгоритм оптимизации числа резервных каналов и порогов резервирования для заявок различного приоритета, удовлетворяющий критерию (1), включает следующие этапы.

1. Задание исходных данных о числе приоритетов $r = \overline{1, R}$, числе пользователей каждого приоритета n_r , общем числе единиц ресурса (каналов) V_Σ , значениях оценки прогноза интенсивностей потоков требований каждого приоритета $\hat{\lambda}_r$, характеристики потоков требований различного приоритета (вид плотности распределения числа заявок и времени занятия ресурса), класс СМО ($M/M/V_\Sigma/m$) и требуемые значения вероятностей обслуживания заявок высших приоритетов $P_{\text{обсл доп } r}$.

2. Расчет значений вероятности обслуживания суммарного потока требований при полностью доступной схеме предоставления ресурса заявкам всех приоритетов и отдельно значений вероятности обслуживания заявок высшего приоритета при условии, чтобы только они обслуживались на всем имеющемся ресурсе ретранслятора $P_{\text{обсл } \Sigma}(\hat{\lambda}_\Sigma; V_\Sigma; d_r = V_\Sigma)$, $P_{\text{обсл } r=1}(\hat{\lambda}_1; V_\Sigma; d_{r \neq 1} = 0)$.

Выражения для вероятностей обслуживания заявок должны соответствовать моделям потоков требований и классам СМО.

Проведение расчетов согласно приведенным выше формулам должно осуществляться после проверки наличия стационарных условий обслуживания в СМО в исследуемом диапазоне изменения ресурса, т.е.

$$\rho_\Sigma = \frac{\lambda_\Sigma}{V\mu} \leq 1.$$

3. Проверка условий необходимости и возможности оптимизации числа резервных каналов и порогов резервирования ресурса для заявок каждого приоритета:

$$P_{\text{обсл } \Sigma}(\hat{\lambda}_{\Sigma}; V_{\Sigma}; \Delta_r = 0; d_r = V_{\Sigma}) \geq P_{\text{обсл } r \text{ max}};$$

$$P_{\text{обсл } r=1}(\hat{\lambda}_1; V_{\Sigma}; \Delta_{r=1} = V_{\Sigma}; d_{r \neq 1} = 0) \leq P_{\text{обсл } r=1 \text{ доп}}.$$

При выполнении первого и невыполнении второго условий вероятность обслуживания суммарного потока заявок даже при полностью доступной схеме использования ресурса удовлетворяет заданным требованиям, поэтому оптимизация порогов резервирования может выполняться только с позиции максимизации коэффициента обслуженности суммарной нагрузки. При невыполнении первого и выполнении второго условия оптимизация порогов невозможна из-за ограниченности объема выделенного ресурса, что требует коррекции исходных данных. Наконец, при невыполнении обоих условий оптимизация порогов резервирования ресурса необходима и с позиции достижения требований, заданных к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета, и максимума коэффициента обслуженности суммарной нагрузки.

4. Формирование начального плана выделения резервного числа единиц ресурса для заявок высокоприоритетных пользователей и открытие цикла по номеру шага оптимизации $k = 1, (k = 1, V_{\Sigma})$ числа резервных каналов, выделенных заявкам высшего приоритета. Алгоритм реализует два подхода к формированию исходного плана.

5. Расчет качества обслуживания заявок высшего приоритета $P'_{\text{обсл } r=1}(k; \hat{\lambda}_1; \Delta_{r=1}; d_{r=1}; V_{\Sigma})$ на выделенном для них резервном числе каналов при условии, что они занимают первыми, а после их занятия оставшиеся заявки этого приоритета дообслуживаются на оставшемся общедоступном ресурсе $(V_{\Sigma} - \Delta_{r=1})$.

6. Определение части нагрузки высшего приоритета, поступающей на дообслуживание в общедоступную часть ресурса, используемого совместно с заявками низших приоритетов:

$$z'_{r=1} = z_{r=1} P'_{\text{потерь } r=1}(k; \hat{\lambda}_{r=1}; \Delta_{r=1}(k); V_{\Sigma}).$$

7. Определение вероятности совместного обслуживания заявок высшего приоритета на выделенном для него резерве и общей части ресурса:

$$P_{\text{обсл } r=1}(k; \hat{\lambda}_{r=1}; \Delta_{r=1}; V_{\Sigma}) = P'_{\text{обсл } r=1}(k; \hat{\lambda}_1; \Delta_{r=1}; d_{r=1}; V_{\Sigma}) + P'_{\text{потерь } r=1}(k; \hat{\lambda}_{r=1}; \Delta_{r=1}; V_{\Sigma})(P''_{\text{обсл } r=1}(k; \hat{\lambda}_{r=1}; \Delta_{r=1}; V_{\Sigma})).$$

8. Проверка условия соответствия совместной вероятности обслуживания высокоприоритетных заявок пользователей предъявляемым к ней требованиям

$$P_{\text{обсл } r=1}(k; \hat{\lambda}_1; V_{\Sigma}; d_r(k); \Delta_r(k)) \geq P_{\text{обсл } r=1 \text{ доп}}.$$

Если условия выполняются, то осуществляется переход к следующему этапу, если нет, то осуществляется переход к заключительному этапу, где в качестве оптимального порога резервирования и числа резервных каналов принимаются их значения на предыдущем шаге $d_{r=1 \text{ опт}} = d_{r=1}(k-1)$. $\Delta_{r=1 \text{ опт}} = \Delta_{r=1}(k-1)$.

9. Определение значения коэффициента обслуженности суммарного входящего потока требований всех приоритетов на текущем k -м шаге в соответствии с выражением

$$K_0(k) = \frac{\sum_{r=1}^R z_r P_{\text{обсл } r}(k)}{z_{\Sigma}},$$

где z_r, z_{Σ} – индивидуальная нагрузка, создаваемая заявками r -го приоритета, и суммарная нагрузка.

10. Определение оптимального плана распределения ресурсов ретранслятора, соответствующего максимуму коэффициента обслуженности суммарной нагрузки на ресурс ретранслятора $(d_{r\text{ опт}}(k); \Delta_{r\text{ опт}}(k))$.

11. Формирование выходных данных об оптимальных значениях резерва и границ зон доступности (порогов резервирования) для заявок различного приоритета, полученных на текущем шаге $(d_{r\text{ опт}} = d_r(k); \Delta_{r\text{ опт}} = \Delta_r(k))$, а также соответствующих им вероятностей обслуживания $P_{\text{обсл } r}(k; \hat{\lambda}_r; V_{\Sigma}; d_{r\text{ опт}}(k); \Delta_{r\text{ опт}}(k))$ и коэффициента обслуженности общей нагрузки на сеть спутниковой связи $K_0(k; \hat{\lambda}_r; V_{\Sigma}; d_{r\text{ опт}}(k); \Delta_{r\text{ опт}}(k))$.

Этот способ оптимизации является дискретным аналогом метода Гаусса-Зейделя, для которого доказана сходимость процедуры к глобально оптимальным решениям. Проведение расчетов согласно приведенным выше формулам должно осуществляться после проверки наличия стационарных условий обслуживания в СМО в исследуемом диапазоне изменения ресурса, т.е.

$$\rho_{\Sigma} = \frac{\lambda_{\Sigma}}{V_{\mu}} \leq 1.$$

На рисунке 1 представлены зависимости вероятностей обслуживания заявок первого и второго приоритетов $p1_k, p2_k$, а также величины коэффициента обслуженности входящей нагрузки K_k от номера шага оптимизации k . При этом занятие ресурса заявками первого приоритета осуществляется в следующем порядке: вначале занимались зарезервированные для заявок данного приоритета каналы $\Delta1_k$, а при их занятости – общий ресурс $d2_k = V_{\Sigma} - \Delta1_k$.

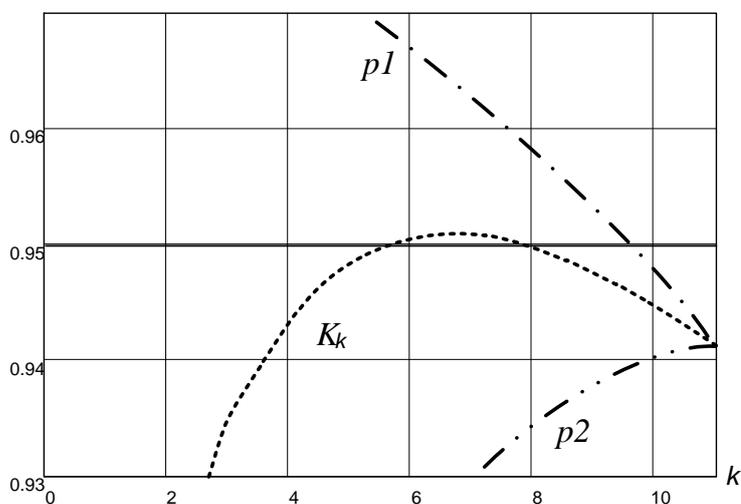


Рисунок 1 – Зависимость показателей качества обслуживания многоприоритетного потока требований от номера шага оптимизации при начальном значении $\Delta_0 = 11$

Зависимости получены для следующих исходных данных:

$R = 2$ – число приоритетных групп абонентов в сети;

$n_1 = 70$ – число абонентов 1-й приоритетной группы;

$n_2 = 60$ – число абонентов 2-й приоритетной группы;

$\lambda_1 = 3$ – интенсивность вызовов от абонента 1-й группы, выз/ч;

$\lambda_2 = 2$ – интенсивность вызовов от абонента 2-й группы, выз/ч;

$t_1 = 3$ – среднее время обслуживания абонента 1-й группы, мин;

$t_2 = 2$ – средняя длительность занятия канала абонентом 2-й группы, мин;

$V_{\Sigma} = 15$ – общее число каналов в сети;

$p = 0,95$ – требования к вероятности обслуживания заявок первого приоритета.

Оптимальные значения зарезервированного числа каналов для заявок первого приоритета и порога резервирования для заявок второго приоритета, а также соответствующие им значения вероятностей обслуживания и коэффициента обслуженности составляют $\Delta l_{opt} = 4$; $d_{2opt} = 11$; $p1_k = 0,963$; $p2_k = 0,93$; $K_{opt} = 0,951$.

Выигрыш в значении коэффициента обслуженности нагрузки при использовании алгоритма оптимизации порогов резервирования по сравнению со случаем прямого разделения ресурса между заявками различного приоритета может достигать величины 10%. Следует также отметить, что введение оптимального управления порогом резервирования в случае, когда величина ресурса ретранслятора достаточна для удовлетворения заданного качества обслуживания требований всех приоритетов при полностью доступной схеме, также эффективно с целью максимизации K_f .

Таким образом, использование алгоритмов оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании заявок от многоприоритетных пользователей позволит исключить прерывания в обслуживании заявок низшего приоритета, а также повысит коэффициент обслуженности суммарного трафика при безусловном выполнении требований к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов В.А., Ершов Д.В. Управление канальными ресурсами ЦСИС на основе его резервирования // Электросвязь, 1994. – № 12.
2. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи / под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.
3. Segall A. Stochastic Process in Estimation Theory. ESL- P- 588, Electronic System Laboratory, M.I.T, January 1975.
4. Терентьев В.М., Максименко А.В. Сравнительная оценка методов распределения ресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей // Сборник научных трудов Академии ФСО России. – Выпуск № 29(6). – Орел: Академия ФСО России, 2012. – С. 38-43.

Андрей Владимирович Максименко

ОАО «Научно-производственный центр «Вигстар», г. Москва

Ведущий сотрудник

Тел.: 8 903 611 04 27

E-mail: andreimaximenko@mail.ru

A.V. MAKSIMENKO (*Senior Employee*)
Scientific-Production Center «Vigstar», Moscow

COMPARISON OF METHODS OF RESOURCE ALLOCATION REPEATER MAINTENANCE MULTY PRIORITY TRAFFIC VIA SATELLITE NETWORKS

Defined method of dynamic resource allocation, at which the maximum values of the total load, is serviced in the network.

Keywords: *satellite transponder; mnogoprioritetny traffic; threshold reservation; zone accessibility; ALOHA.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Ershov V.A., Ershov D.V. Upravlenie kanal'ny'mi resursami CSIS na osnove ego rezervirovaniya // E'lektrosvyaz', 1994. – № 12.

2. Sheluxin O.I., Luk''yancev N.F. Cifrovaya obrabotka i peredacha rechi / pod red. O.I. Sheluxina. – M.: Radio i svyaz', 2000. – 456 s.
3. Segall A. Stochastic Process in Estimation Theory. ESL- P- 588, Electronic System Laboratory, M.I.T, January 1975.
4. Terent'ev V.M., Maksimenko A.V. Sravnitel'naya ocenka metodov raspredeleniya resursa retranslyatora v setyax sputnikovoy svyazi pri obsluzhivanii mnogoprioritetny'x potokov zayavok pol'zovatelej // Sbornik nauchny'x trudov Akademii FSO Rossii. – Vy'pusk № 29(6). – Orel: Akademiya FSO Rossii, 2012. – S. 38-43.

АЛГОРИТМЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ ДВОИЧНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, ЗАКОДИРОВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОТОБРАЖЕНИЙ

В статье рассмотрены алгоритмы декодирования двоичной последовательности, закодированной с использованием дискретных хаотических отображений. Исследована эффективность различных алгоритмов декодирования с точки зрения частоты ошибочных бит (BER).

Ключевые слова: декодирование; алгоритмы декодирования; хаос; хаотическая система связи.

ВВЕДЕНИЕ

Основой построения эффективных коммуникационных систем могут послужить алгоритмы кодирования и декодирования с использованием дискретных хаотических отображений. Интерес к хаотическим системам связи связан с хорошими свойствами сигналов, создаваемых хаотическими системами с точки зрения разработки защищенных систем связи и систем множественного доступа. Система связи использует хаотическое отображение с заданной функцией плотности вероятности для кодирования исходной двоичной последовательности.

На принимающей стороне закодированная последовательность декодируется, причем восстановленная двоичная последовательность должна быть эквивалентна исходной. На практике в системах связи всегда присутствует шум, влияние которого приводит к возникновению ошибочных бит. Описанные в статье алгоритмы декодирования с точки зрения частоты ошибочных бит (BER) не достигают эффективности классических методов кодирования (двоичной фазовой манипуляции (ДФМ), дифференциальной кодовой манипуляции (ДКМ)), однако являются основой для дальнейших исследований.

Целью работы является исследование и сравнение различных алгоритмов декодирования для нескольких хаотических отображений, сопряженных отображению сдвига Бернулли, а также моделирование для указанных алгоритмов зависимости BER от отношения сигнал-шум $\frac{E_b}{N_0}$.

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБОК ПРИ ДЕКОДИРОВАНИИ

В [1] был рассмотрен алгоритм кодирования двоичной последовательности с использованием дискретных хаотических отображений. Закодированная последовательность передается по каналу связи, где к ней добавляется шум, а затем принимается и декодируется на принимающей стороне. Модель коммуникационной системы можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 1.

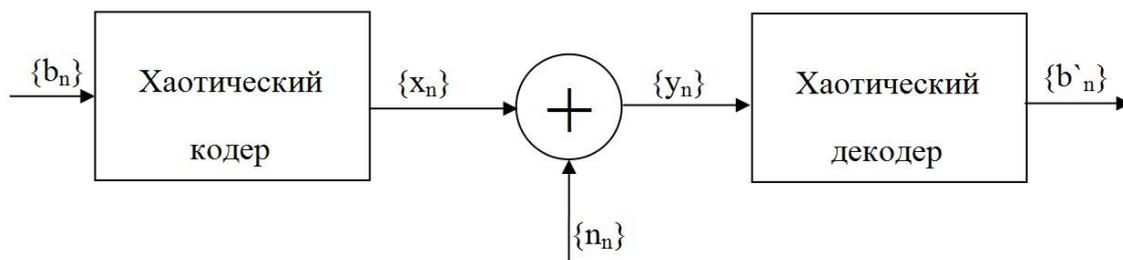


Рисунок 1 – Схема системы связи с хаотическим кодированием

Последовательность, поступающая на принимающую сторону, $\{y_n\}$, определяется как

$$y_n = x_n + n_n,$$

где n_n – аддитивный гауссовский белый шум с нулевым математическим ожиданием и мощностью σ^2 . Плотность вероятности (ФПВ) такого шума –

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}}.$$

Эта хорошо известная в телекоммуникациях модель, которая позволяет абстрагироваться от различных влияний, вносимых обычными каналами. Наличие шума необходимо учитывать в процессе декодирования.

Для использования свойств сгенерированной хаотической последовательности необходимо подобрать подходящий метод декодирования. Во-первых, используем предложенный метод [3] с некоторыми изменениями, которые улучшают эффективность системы, приближаясь к предельной, показанной как теорией (в случае отображения сдвига Бернулли), так и моделированием. Покажем, как данные, переносимые всей последовательностью в целом, должны приниматься во внимание в процессе декодирования.

Очевидно, что декодирование может производиться посимвольно, когда решение принимается непосредственно по каждому y_i (жесткое декодирование) [4]:

$$\begin{aligned} y_n < \frac{1}{2} &\rightarrow \hat{b}_n = 0, \\ y_n \geq \frac{1}{2} &\rightarrow \hat{b}_n = 1. \end{aligned}$$

Однако этим методом не достигается никакого преимущества по сравнению с прямой передачей исходного сообщения $\{b_n\}$. Поскольку ФПВ всех отображений известно, то проще вычислить выражения для вероятности ошибки в каждом случае, принимая во внимание, что

$$p_e = P\left(y_n < \frac{1}{2}, x_n \geq \frac{1}{2}\right) + P\left(y_n \geq \frac{1}{2}, x_n < \frac{1}{2}\right).$$

Вследствие симметричности

$$\begin{aligned} p_e &= 2P\left(y_n \geq \frac{1}{2}, x_n < \frac{1}{2}\right) = 2P\left(n_n \geq \frac{1}{2} - x_n, x_n < \frac{1}{2}\right) = \\ &= 2 \int_0^{\frac{1}{2}} p(x) \int_{\frac{1}{2}-x}^{\infty} p(n) dn dx = \int_0^{\frac{1}{2}} p(x) \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1}{2} - x\right) \frac{1}{\sqrt{2}\sigma}\right] dx, \end{aligned}$$

где использовано известное соотношение [4]:

$$\int_x^{\infty} p(n) dn = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right).$$

Полученная вероятность ошибки может быть вычислена аналитически только для отображения сдвига Бернулли после некоторых преобразований, тогда как для других двух отображений ее необходимо определять численным интегрированием. Результирующие выражения для трех рассмотренных в [1] отображений:

$$p_e^B = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3E_b}{N_0}}\right) + \frac{1}{\sqrt{12\pi \frac{E_b}{N_0}}} \left(1 - e^{-3\frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (1)$$

$$p_e^M = \int_0^{1/2} \frac{1}{\pi \sqrt{x(1-x)}} \operatorname{erfc} \left[(1-2x) \sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \right] dx, \quad (2)$$

$$p_e^F = \int_0^{1/2} \frac{1}{\pi \sqrt{\left(x + \frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2} - x\right)}} \operatorname{erfc} \left[(1-2x) \sqrt{\frac{2}{3 - \frac{8}{\pi}} \frac{E_b}{N_0}} \right] dx, \quad (3)$$

где $\frac{E_b}{N_0}$ – отношение сигнал-шум в смысле энергии на бит к спектральной плотности

мощности шума. В нашем случае $\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{2\sigma^2}$, где P – мощность последовательности, а σ^2 –

мощность шума. P имеет смысл дисперсии последовательности $\{x_n\}$ и в случае отображения сдвига Бернулли для достаточно большой длины последовательности D , чтобы считать шум квантования незначительным, равно $\sigma_x^2 = \frac{1}{12}$; в случае модифицированного

логистического отображения $\sigma_x^2 = \frac{1}{8}$; в случае перевернутого логистического отображения

$\sigma_x^2 = \frac{3}{8} - \frac{1}{\pi}$. Выражение p_e^B соответствует отображению сдвига Бернулли, p_e^M –

модифицированному логистическому отображению, p_e^F – перевернутому логистическому отображению. Результаты изображены на рисунке 2 совместно с вероятностью ошибки при двоичной фазовой манипуляции (ДФМ). Очевидно, что в этом случае лучший вариант – использовать ДФМ, поскольку при этом расстояние между символами максимизируется. ДФМ, являющаяся некодированной системой, может рассматриваться при исследовании как предельный случай с ФПВ, свернутой в две дельта-функции, расположенные в $x = 0$ и $x = 1$.

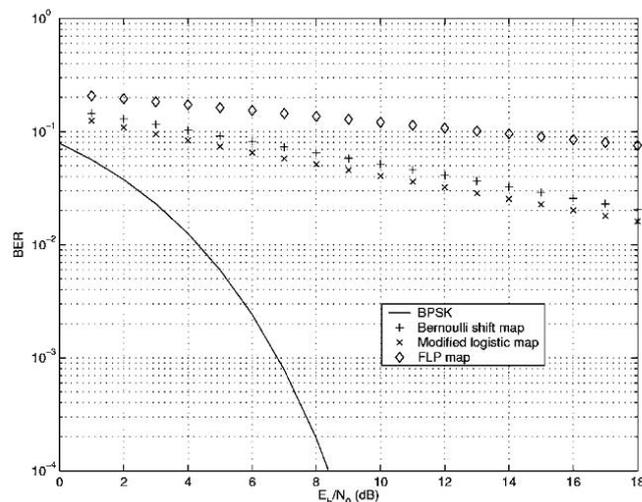


Рисунок 2 – Частота ошибочных бит (BER) для случая прямого декодирования (приведена BER ДФМ для сравнения)

Возвращаясь к эффективности с точки зрения коэффициента битовых ошибок (BER), худший результат у системы на основе перевернутого логистического отображения, так как самое большое количество выборок находится вокруг пороговой точки, тогда как модифицированное логистическое отображение немного лучше отображения сдвига Бернулли, поскольку обладает уменьшенной плотностью выборок вблизи пороговой точки $1/2$.

Также можно увидеть влияние конечного значения D , так как последние вычисления были сделаны, полагая $D \rightarrow \infty$. Фактически, для отображения сдвига Бернулли ФПВ будет

$$p(x) = \sum_{i=0}^{2^D-1} \frac{1}{2^D} \delta\left(x - \frac{i}{2^D}\right),$$

т.е. каждое из 2^D значений выборки появляется с вероятностью $\frac{1}{2^D}$ (для достаточно большого D эта ФПВ стремится к равномерной ФПВ на интервале $[0,1]$). Реальная вероятность ошибки в случае простого декодирования:

$$p_e = \frac{1}{2^D} \sum_{i=0}^{2^D-1} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1}{2} - \frac{i}{2^D}\right) \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}\right] + \frac{1}{2^D} \sum_{i=2^{D-1}}^{2^D-1} \left\{1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1}{2} - \frac{i}{2^D}\right) \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}\right]\right\},$$

где σ^2 – мощность шума. Чтобы перевести это выражение в термины $\frac{E_b}{N_0}$, необходимо учесть, что мощность сигнала в этом случае –

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{12} \frac{2^{2D} + 2^{D+3} - 3}{2^{2D}}.$$

В любом случае, для $\sigma \rightarrow 0$ единственным будет вариант с $i = 2^{D-1}$, который дает $1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\cdot) = \frac{1}{2}$ независимо от мощности шума, и все значение p_e стремится к уровню ошибки $\frac{1}{2^{D+1}}$.

АЛГОРИТМЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ

Преимуществом, заметным с первого взгляда, является избыточность в передаче смежных символов, так как у каждого символа x_n есть $D-1$ бит общих с x_{n-1} и x_{n+1} символами, $D-2$ с x_{n-2} и x_{n+2} и т.д. Первый метод декодирования, называемый эвристическим декодированием, использует свойство дискретных хаотических систем, где две траектории, начинающиеся из очень близко расположенных точек, могут легко разойтись, и, напротив, две траектории, начинающиеся с двух различных точек, могут объединиться [3]. Поэтому для декодирования символа y_n мы рассматриваем $M-1$ следующих символов и восстанавливаем возможные траектории, которые имеют конечную точку y_{n+M-1} . У предложенных отображений есть два возможных решения обратной задачи, таким образом у нас будет 2^{M-1} возможных траекторий, заканчивающихся в y_{n+M-1} . Например, для $M = 2$ и отображения сдвига Бернулли имеем:

$$z_n^0 = \frac{y_{n+1}}{2},$$

$$z_n^1 = \frac{y_{n+1}}{2} + \frac{1}{2},$$

где предварительно значения y_{n+M-1} были нормализованы в интервале $[0,1]$ из соображений устойчивости, поскольку отображения определены только в этом интервале:

$$y_{n+M-1} > 1 \rightarrow y_{n+M-1} = 1,$$

$$y_{n+M-1} < 0 \rightarrow y_{n+M-1} = 0.$$

В случае модифицированного логистического отображения и $M = 2$ обратные возможные значения определяются как

$$\begin{aligned} z_n^0 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - y_{n+1}}, \\ z_n^1 &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{y_{n+1}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для перевернутого логистического отображения и $y_{n+1} < \frac{1}{2}$ –

$$\begin{aligned} z_n^0 &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4y_{n+1}^2}}, \\ z_n^1 &= 1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4y_{n+1}^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для перевернутого логистического отображения и $y_{n+1} \geq \frac{1}{2}$ –

$$\begin{aligned} z_n^0 &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4(1 - y_{n+1})^2}}, \\ z_n^1 &= 1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4(1 - y_{n+1})^2}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Мы обозначаем получающиеся последовательности как $\{z_k^{\mathbf{S}_l}\}$, где $k = n \dots n + M - 2, l = 1 \dots 2^{M-1}$ и \mathbf{S}_l – вектор, определяющий l -ую траекторию.

Для определения наилучшего значения $z_n^{\mathbf{S}_l}$ среди всех возможных траекторий \mathbf{S}_l мы выбираем ту, которая является самой близкой к полученной. Т.е. возьмем значение $z_n^{\mathbf{S}_{d_n}}$, которое удовлетворяет условию

$$\sum_{k=n}^{n+M-2} (z_k^{\mathbf{S}_{d_n}} - y_k)^2 \leq \sum_{k=n}^{n+M-2} (z_k^{\mathbf{S}_m} - y_k)^2$$

для всех возможных $m = 1 \dots 2^{M-1}$ различных траекторий при $d_n \in \{1 \dots 2^{M-1}\}$. Принятый бит \hat{b}_n декодируется в соответствии с выражением

$$\begin{aligned} z_n^{\mathbf{S}_{d_n}} < \frac{1}{2} &\rightarrow \hat{b}_n = 0, \\ z_n^{\mathbf{S}_{d_n}} \geq \frac{1}{2} &\rightarrow \hat{b}_n = 1. \end{aligned}$$

Как видно, этот алгоритм использует избыточность между y_n и следующими M символами, но он не учитывает избыточность между y_n и всей последовательностью. Для разрешения этого вопроса алгоритм может быть применен рекурсивно. Если последовательность лучших значений $z_n^{\mathbf{S}_{d_n}}$ вычислена для каждого $n = 1 \dots N$, можно применить тот же алгоритм, заменяя y_n соответствующим значением $z_n^{\mathbf{S}_{d_n}}$. Очевидно, что таким образом избыточность, существующая во всей последовательности от y_n до конца может помочь получить лучшие результаты. Этот второй алгоритм называется рекурсивным эвристическим алгоритмом. Можно показать, что эти алгоритмы достаточно хорошо справляются с ограниченным шумом, так как в этом случае высока вероятность, что полученная последовательность $y_n \dots y_{n+M-1}$ близка к $x_n \dots x_{n+M-1}$; последовательность $z_n^{\mathbf{S}_{d_n}}$ при $k = n \dots n + M - 2$, выбранная в качестве самой близкой к полученной, является также самой близкой к отправленной. Однако результаты моделирования показывают, что

есть уровень ошибки, который зависит от сложности декодирования (длина блока декодирования M и число итераций).

Следующий метод декодирования – метод максимального правдоподобия (МП), основанный на алгоритме Витерби [5], последний – алгоритм максимальной апостериорной вероятности (МАВ), основанный на алгоритме BCJR [6].

Алгоритмы МП и МАВ работают на символьном динамическом базисе [7, 8], а значит, требуется квантование фазового пространства $[0,1]$. Интервал $[0,1]$ далее разделяется на серию неперекрывающихся интервалов I_i с пределами i/P и $i+1/P$ для $i=0, \dots, P-1$ и центром в $c_i = \frac{i}{P} + \frac{P}{2}$. P – число интервалов, четное число (на практике P является степенью 2, чтобы сделать декодирование с использованием МП и МАВ алгоритмов выполнимым), выбранное так, чтобы пороговая точка $1/2$ была верхней точкой одного интервала и нижней точкой другого. Зная только, что точка x_k находится в интервале I_i , мы можем установить, должно ли это значение декодироваться как 1 или как 0. Если мы заменяем исходную последовательность последовательностью интервалов, где находится соответствующий символ, мы получаем символьное представление последовательности, которая может быть описана как марковский процесс первого порядка с соответствующей матрицей перехода \mathbf{T} . Элемент t_{ij} этой матрицы означает возможность перехода между интервалом i и интервалом j . В случае отображения сдвига Бернулли каждый интервал отображается в два непрерывных интервала с равной вероятностью. Например, для случая $P=4$ матрица перехода примет вид:

$$\mathbf{T} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

В случае модифицированного логистического отображения и перевернутого логистического отображения матрицу перехода получить непросто, она строится как отношение длины пересечения отображенного интервала $f(I_i)$ и целевого интервала I_j к длине изображения $f(I_i)$:

$$t_{ij} = \frac{\text{length}[f(I_i) \cap I_j]}{\text{length}[f(I_i)]}.$$

Затем рассматривается последовательность d_k^i , $k=0 \dots L-1$, где $d_k^i = c_i$, если x_k лежит в I_i , L – длина блока рассматриваемых символов для декодирования одного символа в схеме скользящего окна. Подобным образом можно сказать, что марковский процесс находится в состоянии $s_k = i$ в момент времени $k=1 \dots L$, если x_k лежит в I_i . Начальное состояние S_0 полагают первоначально равным нулю и по мере декодирования методом раздвижного окна начальное состояние берется из ранее рассчитанных значений. С этими предположениями относительно просто применить и алгоритм Витерби, и алгоритм BCJR для каждого из предложенных отображений [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рисунке 3 и рисунке 5 показаны результаты, полученные с эвристическими алгоритмами для различных параметров. Во всех случаях было выбрано значение $D=20$ бит на символ. Это гарантирует, что 2^{-D} достаточно мало, чтобы сделать разницу между x_n и

x'_n незначительной, позволяя использовать схему кодирования с произвольным размером блока N .

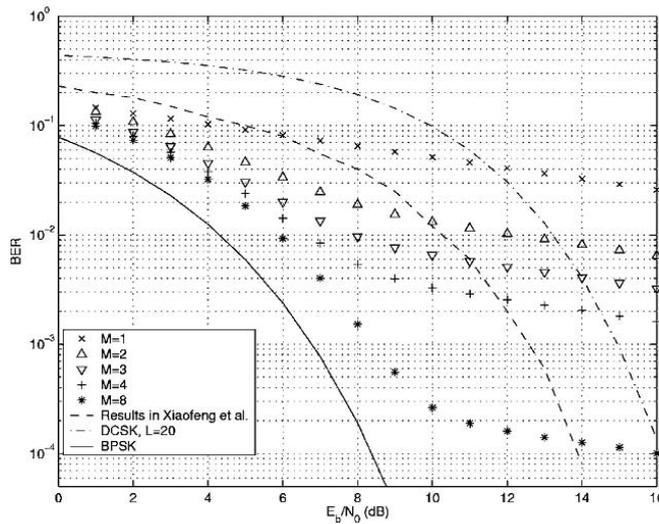


Рисунок 3 – Частота ошибочных бит (BER) для случая эвристического декодирования (отображение сдвига Бернулли) с $D=20$ бит и $M=1,2,3,4,8$ символов (для сравнения приведены BER ДФМ, ДКМ ($L=20$) и результаты из [11])

Как можно видеть на рисунке 3, где показаны результаты алгоритма эвристического декодирования с применением отображения сдвига Бернулли, с увеличением M улучшается BER. Выделяются две различных области в получающихся графиках BER: область спада, стремящаяся к кривой графика BPSK на расстоянии в несколько децибел, и область минимального уровня, значение которого становится меньше с увеличением M , устанавливая компромисс между сложностью декодирования и требуемым BER. Причина этого минимального уровня связана со значениями y_{n+M-1} , лежащими вне интервала $[0,1]$. Значения могут правильно декодироваться с более высокой вероятностью, когда число последовательных принятых во внимание выборок растет, чтобы было больше доступной информации для принятия решения по символу и избыточность использовалась эффективнее.

Чтобы показать это, вычислим вероятность ошибки для $M = 2$. Мы можем рассмотреть три случая:

1. $y_{n+1} < 0$

В этом случае $z_n^0 = 0$ и $z_n^1 = \frac{1}{2}$; получаем:

$$p_{e1} = P \left[y_{n+1} < 0, (z_n^1 - y_n)^2 < (z_n^0 - y_n)^2, x_n < \frac{1}{2} \right] + P \left[y_{n+1} < 0, (z_n^0 - y_n)^2 < (z_n^1 - y_n)^2, x_n \geq \frac{1}{2} \right].$$

2. $y_{n+1} > 1$

В этом случае $z_n^0 = \frac{1}{2}$ и $z_n^1 = 1$; декодированный символ всегда будет 1, так что

$$p_{e2} = P \left(y_{n+1} > 1, x_n < \frac{1}{2} \right).$$

3. $0 \leq y_{n+1} \leq 1$

В этом случае нет никаких ограничений или нормализации; получаем:

$$p_{e3} = P\left[0 \leq y_{n+1} \leq 1, (z_n^1 - y_n)^2 < (z_n^0 - y_n)^2, x_n < \frac{1}{2}\right] + P\left[0 \leq y_{n+1} \leq 1, (z_n^0 - y_n)^2 < (z_n^1 - y_n)^2, x_n \geq \frac{1}{2}\right].$$

Зная, что для отображения сдвига Бернулли $y_{n+1} = x_{n+1} + n_{n+1} = f(x_n) + n_{n+1}$, $z_n^0 = \frac{y_{n+1}}{2}$, $z_n^1 = \frac{y_{n+1}}{2} + \frac{1}{2}$, $y_n = x_n + n_n$, а также что n_n и n_{n+1} , являющиеся значениями гауссовского белого шума, независимы и равномерно распределены, получим:

4. $y_{n+1} < 0$

$$p_{e1}^B = \frac{1}{4} \int_0^{\frac{1}{2}} \operatorname{erfc}\left(2x\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right) \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1}{4} - x\right)\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right] dx + \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{2}}^1 \operatorname{erfc}\left(2x\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right) \left\{1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1}{4} - x\right)\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right]\right\} dx. \quad (7)$$

5. $y_{n+1} > 1$

$$p_{e2}^B = \frac{1}{4} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right) + \frac{1}{2\sqrt{48\pi\frac{E_b}{N_0}}} \left(1 - e^{-\frac{12E_b}{N_0}}\right). \quad (8)$$

6. $0 \leq y_{n+1} \leq 1$

$$p_{e3}^B = \frac{1}{\sqrt{48\pi\frac{E_b}{N_0}}} \int_0^1 \left(\frac{1-x}{2}\right) \left\{ \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1-x}{4}\right)\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right] + \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{1+x}{4}\right)\sqrt{12\frac{E_b}{N_0}}\right] \right\} dx. \quad (9)$$

Все уравнения должны быть интегрированы численно. Результаты вместе с общей вероятностью битовой ошибки и результатом моделирования эвристического алгоритма для $M = 2$ изображены на рисунке 4. Увеличение сложности декодирования путем увеличения M может компенсировать ошибки, возникающие, когда символ находится вне интервала $[0,1]$. Это показывает важность включения как можно большего количества выборок в декодирование.

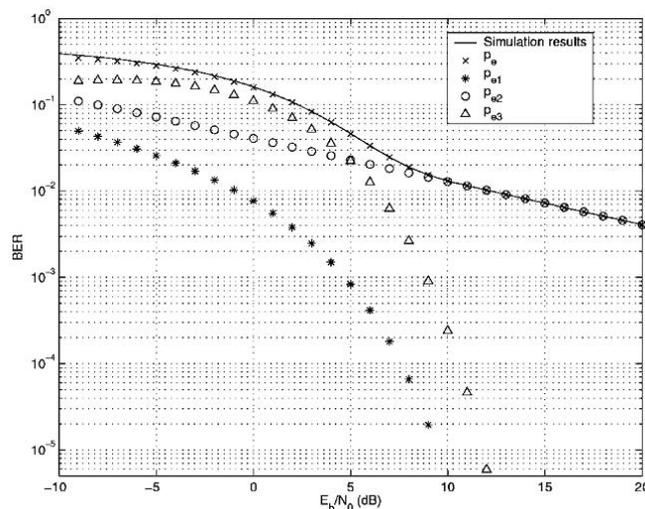


Рисунок 4 – Теоретически рассчитанная вероятность ошибок и результат моделирования для отображения сдвига Бернулли при выполнении эвристического декодирования ($M=2$)

На рисунке 5 показаны результаты, полученные при использовании рекурсивного эвристического алгоритма. При $D = 20$, $M = 4$ мы получаем лучшие результаты, чем в предыдущем случае: область минимального уровня падает очень быстро с каждой итерацией, достигая ограничивающей кривой на расстоянии в несколько децибел от BER BPSK при семи итерациях.

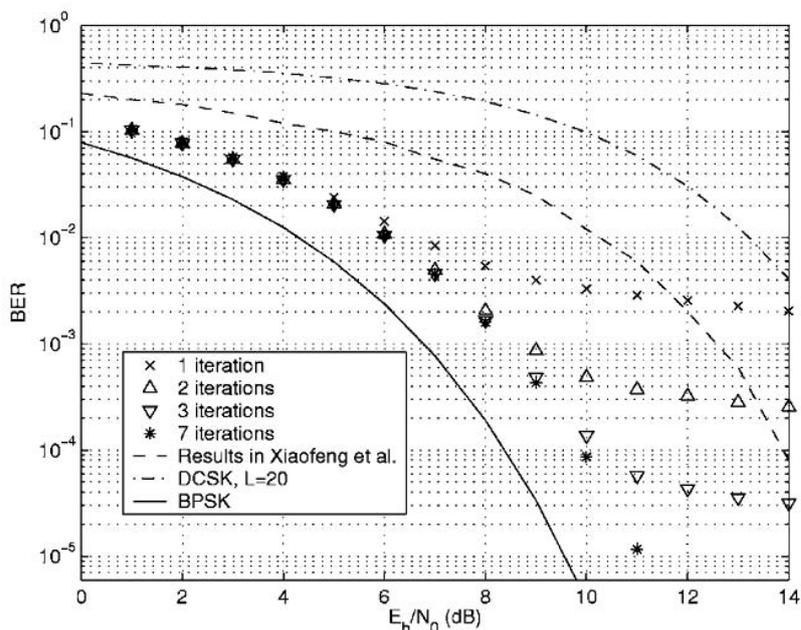


Рисунок 5 – Частота ошибочных бит (BER)
для случая рекурсивного эвристического декодирования
(отображение сдвига Бернулли)
с $D=20$ бит, $M=4$ символа и 1,2,3,7 итераций
(для сравнения приведены BER ДФМ, ДКМ ($L=20$) и результаты из [11])

В случае декодирования Витерби для $P=32$, $L=10$ результаты фактически совпадают с полученными в предыдущем случае с семью итерациями. BCJR декодирование еще ближе к случаю BPSK, фактически оно совпадает с ожидаемой предельной эффективностью [10], вычисленной посредством анализа минимального расстояния для случая отображения сдвига Бернулли. Фактически этот алгоритм близок к оптимальному с точки зрения BER для используемого типа кодирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны различные алгоритмы декодирования хаотической последовательности, полученной с помощью хаотических отображений, сопряженных отображению сдвига Бернулли. Проведено моделирование для указанных алгоритмов зависимости BER от отношения сигнал-шум $\frac{E_b}{N_0}$.

Полученные результаты показывают, что эффективность алгоритмов декодирования с точки зрения частоты ошибочных бит (BER) приближается к классическим методам двоичной фазовой манипуляции (ДФМ), дифференциальной кодовой манипуляции (ДКМ). Кроме того, выявлено решающее влияние выборок, выпадающих после добавления шума за пределы заданного интервала на окончательную величину BER принятой последовательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митин С.В. Кодирование двоичной последовательности с использованием дискретных хаотических отображений // Наука и образование. – МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – № 6, 2012 [Электронный ресурс]. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/402537.html>.
2. Генераторы хаотических колебаний: учебное пособие / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьев, С.В. Митин. – М.: Гелиос-АРВ, 2007.
3. Baptista M., Lopez L., Information transfer in chaos-based communication. // Physical Review E - Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics. – Vol. 65. – № 5. – P. 0552011-0552014.
4. Proakis J. Digital communication // McGraw Hill, Inc. 1995. – 928 p.
5. Viterbi A. Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm // IEEE Transactions on Information Theory. – Vol. IT-13. – P. 260-269.
6. Bahl L., Cocke J., Jelinek F., Raviv J. Optimal Decoding of Linear Codes for minimizing symbol error rate // IEEE Transactions on Information Theory. – Vol. IT-20(2). – P. 284-287.
7. Schweizer J., Schimming T. Symbolic dynamics for processing chaotic signals – II: Communication and coding. // IEEE Transactions of Circuits and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 1283-1295.
8. Schweizer J., Schimming T. Symbolic dynamics for processing chaotic signals – I: Noise reduction for chaotic sequences. // IEEE Transactions of Circuits and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 1269-1282.
9. Kisel A., Dedieu H., Schimming T. Maximum likelihood approaches for noncoherent communications with chaotic carriers // IEEE Transactions on Circuit and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 533-542.
10. Kozic S., Oshima K., Schimming T. Nonlinear Dynamics of Electronic Systems 2003, NDES2003, IEEE International Workshop, Scuol, Switzerland, 2003. – P. 141-144.
11. Xiaofeng G., Xingang W., Meng Z., Lai C.H. Chaotic digital communication by encoding initial conditions // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 2004. – № 14. – P. 358-363.

Митин Сергей Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел

Доцент

Тел.: 8 910 300 44 58

E-mail: tician@yandex.ru

S.V. MITIN (*Associate Professor*)

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

**DECODING ALGORITHMS FOR BINARY SEQUENCES
ENCODED USING DISCRETE CHAOTIC MAPS**

The article describes algorithms of decoding binary sequence that is encoded using discrete chaotic maps. The effectiveness of different decoding algorithms in terms of bit error rate (BER) is researched.

Keywords: *decoding; decoding algorithms; chaos; chaotic communication.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Mitin S.V. Kodirovanie dvoichnoj posledovatel'nosti s ispol'zovaniem diskretny'x xaoticheskix otobrazhenij // Nauka i obrazovanie. – MGTU im. N.E'. Bauman. E'lektron. zhurn. – № 6, 2012 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/402537.html>.
2. Generatory' xaoticheskix kolebanij: uchebnoe posobie / B.I. Shaxtarin, P.I. Koby'lkina, Yu.A. Sidorkina, A.V. Kondrat'ev, S.V. Mitin. – M.: Geliios-ARV, 2007.
3. Baptista M., Lopez L., Information transfer in chaos-based communication. // Physical Review E - Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics. – Vol. 65. – № 5. – P. 0552011-0552014.
4. Proakis J. Digital communication // McGraw Hill, Inc. 1995. – 928 p.
5. Viterbi A. Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm // IEEE Transactions on Information Theory. – Vol. IT-13. – P. 260-269.

6. Bahl L., Cocke J., Jelinek F., Raviv J. Optimal Decoding of Linear Codes for minimizing symbol error rate // IEEE Transactions on Information Theory. – Vol. IT-20(2). – P. 284-287.
7. Schweizer J., Schimming T. Symbolic dynamics for processing chaotic signals – II: Communication and coding. // IEEE Transactions of Circuits and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 1283-1295.
8. Schweizer J., Schimming T. Symbolic dynamics for processing chaotic signals – I: Noise reduction for chaotic sequences. // IEEE Transactions of Circuits and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 1269-1282.
9. Kisel A., Dedieu H., Schimming T. Maximum likelihood approaches for noncoherent communications with chaotic carriers // IEEE Transactions on Circuit and Systems. – Vol. 48. – № 11. – P. 533-542.
10. Kozic S., Oshima K., Schimming T. Nonlinear Dynamics of Electronic Systems 2003, NDES2003, IEEE International Workshop, Scuol, Switzerland, 2003. – P. 141-144.
11. Xiaofeng G., Xingang W., Meng Z., Lai C.H. Chaotic digital communication by encoding initial conditions // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 2004. – № 14. – P. 358-363.

УДК 621.396.6.019

В.В. БУХАРИН, В.А. ЛИПАТНИКОВ, Д.В. САХАРОВ

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

Рассмотрен метод управления информационной безопасностью организации на основе процессного подхода при возникновении нарушений внешнего периметра системы защиты в информационно-вычислительных сетях (ИВС). Данный метод позволяет увеличить неопределенность принятия решения при анализе нарушителем работы сегментов вычислительной сети по каналам связи, обеспечить результативность использования модифицированной процедуры определения используемых адресов при информационном обмене между удаленными сегментами распределенной ИВС, повысить уровень скрытности работы сегментов ИВС по каналам связи, организованным на основе IP-протокола.

Ключевые слова: *процессный подход управления информационной безопасностью; несанкционированный доступ; безопасность и скрытность работы сегментов распределенной информационно-вычислительной сети; IP-протокол.*

ВВЕДЕНИЕ

Значительное увеличение объема информации в процессе решения бизнес-задач, а также рост влияния этой информации на эффективность предприятия и повышение динамичности процессов диктуют потребность в разработке и внедрении более прогрессивных методов и стратегий управления службой информационных технологий (ИТ) компании [1]. В организациях должен быть определен и документально оформлен порядок выполнения работ по обеспечению информационной безопасности (ИБ) в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 [2]. Актуальной задачей является обеспечение ИБ всех этапов функционирования информационно-вычислительных сетей (ИВС) на базе процессного подхода, позволяющего управлять и контролировать ИБ с помощью анализа объекта защиты, его уязвимостей, оценки рисков, управления инцидентами и т.п. Анализ инцидентов в области ИБ показывает, что для распределенных ИВС, сегменты которых соединены между собой через сеть общего пользования, одним из уязвимых мест, позволяющих осуществить несанкционированный доступ (НСД) к защищаемой сети, является нарушение внешнего периметра системы защиты информации (СЗИ), реализуемое посредством применения компьютерных атак. Инцидент – любое событие, которое не является частью стандартной операции услуги и которое вызывает или может вызвать прерывание или снижение качества предоставления услуги. Сетевая компьютерная атака – заранее спланированное целенаправленное воздействие на определенные объекты ИВС программными и аппаратными средствами через установление соединения на сетевом или транспортном уровне, а также попытки установления соединения с объектом воздействия на канальном или сетевом уровне. Цель атаки – организация канала утечки информации, блокирование, модификация, уничтожение информационных ресурсов, блокирование СЗИ объекта. При этом нарушителю для принятия решения о применяемых для атак средствах требуется провести анализ и идентификацию параметров защищаемой сети. При объединении удаленных сегментов ИВС задача защиты информационной части пакетов легко решается средствами криптографии [3]. В то же время серьезные угрозы для поиска потенциальных уязвимостей и организации деструктивных воздействий может представлять перехват нарушителем в сети и анализ открытой части пакетов сообщений, что позволяет идентифицировать адреса корреспондентов и вскрыть логическую структуру распределенной ИВС. Логическая структура (ЛС) ИВС – структура сети, сформированная нарушителем на основе логического анализа перехваченных им в реальной системе связи информационных

потоков и отражающая идентифицированные сетевыми (IP) адресами узлы распределенной ИВС и ее элементов, логические связи между ними по признаку наличия взаимного информационного обмена с указанием его интенсивности и направления. ЛС может включать в себя информацию о транзитных узлах сети общего пользования, отображая информацию о маршрутах информационных потоков. Существуют и активно развиваются СЗИ, которые реализуют различные методы защиты канала связи ИВС на основе протоколов IP [4], связанных со скрыванием истинных адресов корреспондентов. Однако известные методы обеспечивают относительно низкий уровень скрытности работы сегментов вычислительной сети по каналам связи, обусловленный тем, что изменение адресов отправителя и получателя в передаваемых пакетах происходит только в пределах базы реальных адресов, используемых во взаимосвязанных удаленных сегментах распределенной ИВС. При этом данные изменения осуществляют только при реальном информационном обмене. Существующие методы защиты имеют уязвимости, которые позволяют нарушителю вскрыть ЛС ИВС, установить истинные адреса удаленных сегментов распределенной сети и использоваться для организации деструктивных воздействий. Кроме этого передача в открытом виде идентификационного номера пакета позволяет нарушителю получить контроль над виртуальным каналом, например, с использованием механизма «десинхронизации» TCP-соединения [5]. Неизвестная основная причина одного или нескольких инцидентов – это проблема. Следовательно, проблема управления ИБ организации на основе процессного подхода для защиты от вскрытия нарушителем уязвимости ИВС является актуальной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать метод управления ИБ организации на основе процессного подхода. Цель – защита вычислительной сети от вскрытия нарушителем, обеспечение повышения уровня безопасности и скрытности работы сегментов вычислительной сети по каналам связи.

Основные ограничения и допущения: ИВС состоит из нескольких сегментов, объединенных внешней транспортной сетью и использующей при передаче информации стек протоколов IP. Такие потоки информации в сети описываются по пуассоновскому закону.

РЕШЕНИЕ

В связи с высокой зависимостью бизнеса от ИТ важнейшими повседневными задачами ИТ-службы является обеспечение доступности систем и своевременное (в разумный срок) разрешение инцидентов. Для эффективного функционирования организации необходимо идентифицировать и осуществлять управление многочисленных связанных между собой видов деятельности. Любое действие, использующее ресурсы и подверженное управлению для того, чтобы осуществить преобразование входов в выходы, может рассматриваться как процесс. Часто выход одного процесса формирует вход в другой процесс. Скоординированное объединение и выполнение процессов менеджмента услуг обеспечивает текущее управление, более эффективное и благоприятное для непрерывного совершенствования. Выполнение этих видов деятельности и процессов требует наличия персонала для диспетчерской службы, поддержки услуг, предоставления услуг и для оперативных групп, которые должны быть хорошо организованы и скоординированы. Необходимы также соответствующие инструментальные средства для гарантии того, что эти процессы реализуются результативно и эффективно. Инцидент – это любое событие, которое не является частью стандартной операции услуги и которое вызывает или может вызвать прерывание или снижение качества предоставления услуги [2]. Цель: осуществлять эффективный менеджмент защиты информации в рамках всей деятельности по услугам. Средства управления защитой должны функционировать таким образом, чтобы:

- 1) выполнять требования политики по защите информации;
- 2) осуществлять менеджмент рисков, связанных с доступом к услугам или системам.

Предлагается метод управления ИБ организации путем защиты от вскрытия нарушителем уязвимости ИВС, обеспечивающий повышение уровня безопасности и скрытности работы сегментов сети по каналам связи за счет использования модифицированной процедуры определения используемых адресов при информационном обмене между удаленными сегментами распределенной сети путем введения ложных адресов из адресного пространства сетей, не относящихся к сегментам распределенной сети, и изменения реальных идентификаторов передаваемых пакетов. Сущность метода заключается во включении адреса отправителя и идентификатора номера пакета в его информационную часть, закрытую алгоритмами криптографии.

Реализация метода управления ИБ организации осуществляется следующим образом. При объединении удаленных сегментов распределенной ИВС через телекоммуникационные сети общего пользования усложняется решение задачи по обеспечению ИБ. Это связано с возникновением практически неограниченного спектра потенциальных уязвимостей и угроз, связанных либо с НСД к информации или ее перехватом в процессе передачи по каналам, либо с деструктивными воздействиями на ИВС. Однако даже при отсутствии возможности декодирования перехваченной информации нарушитель путем анализа сетевого трафика (заголовков пакетов сообщения) имеет возможность определить информационное взаимодействие сегментов распределенной ИВС, так как заголовки пакетов сообщений передают в открытом виде.

Основными данными из заголовка пакета сообщения, используемыми для определения информационного взаимодействия, являются адреса отправителей, получателей и идентификатор пакета сообщения. IP-адреса представляют собой основной тип адресов, на основании которых осуществляют передачу пакетов между сетями. Эти адреса состоят из последовательности в 32 бита. IP-адрес назначает администратор и он состоит из двух частей: номера сети и номера узла. Кроме того, все пространство адресов делится на пять классов, в соответствии с которыми определяется, сколько бит адреса относится к сетевой части, а сколько к узловой. При маршрутизации пакета через внешние сети основную роль играет сетевая часть IP-адреса, так как на промежуточных маршрутизаторах направление передачи пакета определяется по номеру сети (сетевая часть IP-адреса) [6]. Кроме того, при передаче пакета источник присваивает ему идентификационный номер размером 16 бит. Данный номер используется в случае выполнения фрагментации пакета при прохождении через внешнюю сеть. Все фрагменты пакета будут иметь одинаковый идентификационный номер. Это необходимо для правильной сборки фрагментов в исходный пакет [7]. При информационном взаимодействии сегментов распределенной ИВС нумерация пакетов осуществляется последовательно.

Таким образом, при управлении ИБ организации на основе процессного подхода для обеспечения безопасности и скрытности работы сегментов распределенной ИВС по каналам связи возникает необходимость использования процедуры скрывания истинных адресов корреспондентов и изменение значений идентификаторов пакетов в информационном потоке сообщений.

Реализация метода показана на схеме варианта ИВС (рис. 1).

Сегменты распределенной ИВС 1.1 и 1.2 подключены к внешней сети 2 посредством маршрутизатора 1.1.3 и 1.2.3. В общем случае сегмент распределенной ИВС 1.1 представляет собой совокупность ПЭВМ 1.1.1₁–1.1.1_N, периферийного и коммуникационного оборудования 1.1.2 и 1.1.3, объединенного физическими линиями связи. Все эти элементы имеют идентификаторы, в качестве которых в наиболее распространенном стеке протоколов IP используются сетевые адреса (IP-адреса). Внешняя сеть представлена набором маршрутизаторов 2.1₁–2.1₉, осуществляющих транспортировку информационных потоков из одного сегмента распределенной ИВС в другой.

Структура пакетов сообщений и принцип передачи пакетов в вычислительных сетях известны. На рисунке 2 представлена структура заголовка IP-пакетов сообщений, где выделены поля: идентификатор, адрес отправителя и получателя пакета сообщений [8]. При

прохождении пакетов через внешнюю сеть осуществляется его маршрутизация от источника к получателю в соответствии с IP-адресом назначения.

На рисунке 3 представлена схема, поясняющая процесс передачи и приема информационного и уведомляющего пакетов сообщений, а на рисунке 4 – блок-схема алгоритма, реализующего метод защиты канала связи распределенной ИВС.

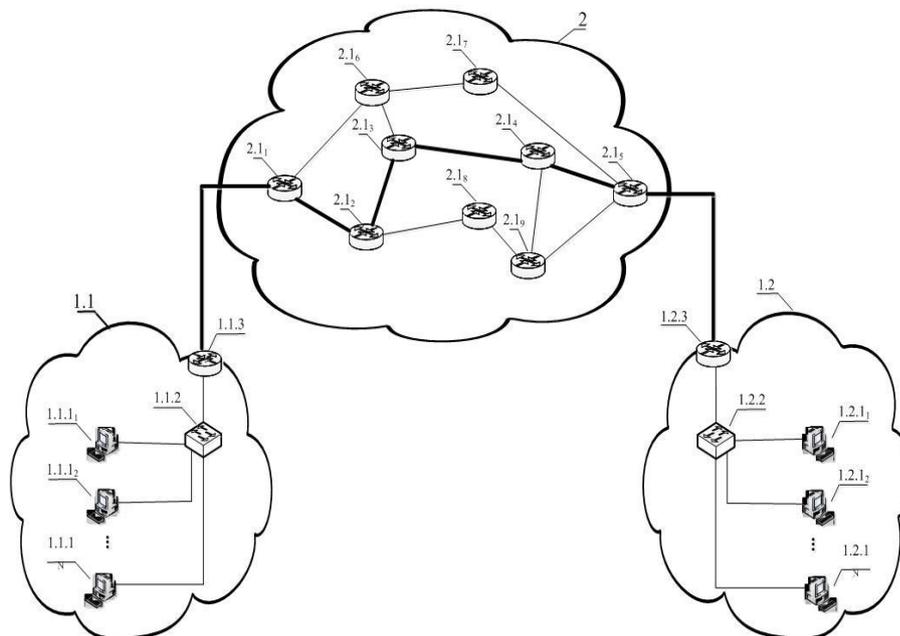


Рисунок 1 – Пример типовой структуры распределенной вычислительной сети

Байты				
0		1	2	3
Версия	Длина заголовка	Тип обслуживания	Длина пакета	
Идентификатор			Флаги (3 бита)	Смещение фрагмента
Время жизни		Протокол	Контрольная сумма	
IP адрес отправителя				
IP адрес получателя				
Опции				
Данные				

Рисунок 2 – Структура IP-заголовка пакета сообщений

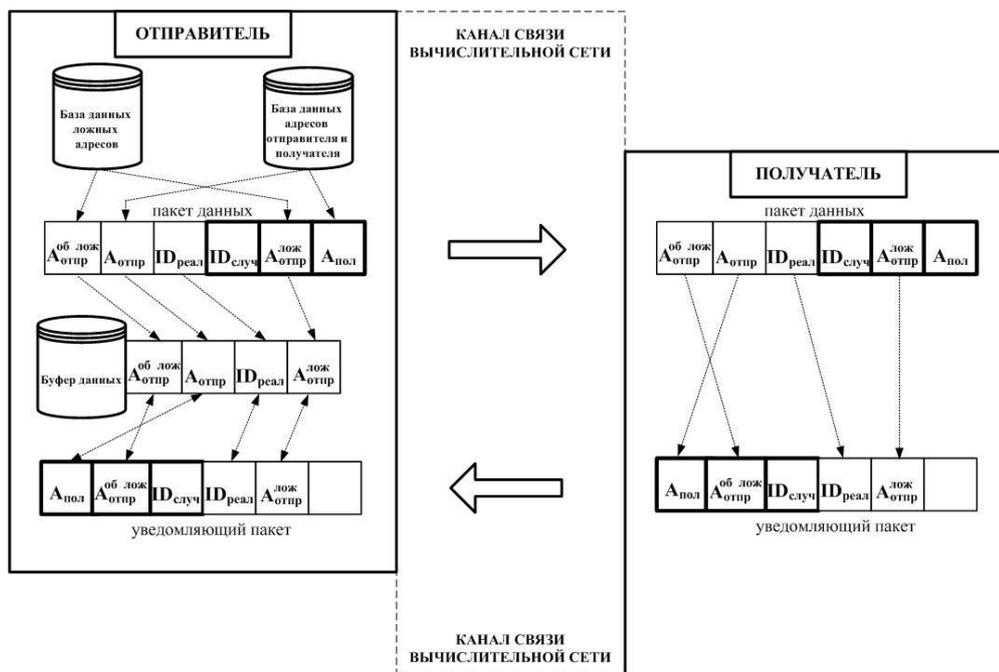


Рисунок 3 – Процесс передачи и приема информационного и уведомляющего пакетов сообщений

На начальном этапе задают исходные данные, включающие адреса отправителя и получателя сообщений. Формируют у получателя и отправителя в предварительно заданные исходные данные базу из Z ложных адресов отправителя. После чего запоминают текущий адрес отправителя и получателя (блок 1-3, рис. 4).

Выделяют из заданной базы ложных адресов текущий ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и запоминают его. Формируют идентификатор заголовка пакета $ID_{случ}$ по случайному закону (блок 4-6, рис. 4).

У отправителя из предварительно заданной базы ложных адресов случайным образом выделяют его обратный ложный адрес $A_{отпр}^{об\ лож}$ и запоминают его (блок 7, рис. 4).

Первоначально у отправителя формируют исходный пакет данных, в который включают предварительно запомненные текущий адрес отправителя $A_{отпр}$ и обратный ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$, а также реальный идентификатор пакета $ID_{реал}$. После чего кодируют любым из известных методов кодирования [3] и преобразуют его в формат IP (блок 8-11, рис. 4). Преобразование заключается в добавлении IP-заголовка к закодированному пакету данных. Полученный в результате пакет является информационным пакетом сообщения, в котором заменены текущий адрес отправителя $A_{отпр}$ на предварительно запомненный ложный текущий адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и реальный идентификатор заголовка пакета $ID_{реал}$ на сформированный идентификатор $ID_{случ}$ по случайному закону, а в качестве адреса получателя используется текущий адрес получателя $A_{пол}$. Передают получателю сформированный информационный пакет сообщений (блок 12-13, рис. 4).

На втором этапе после приема у получателя информационного пакета сообщения выделяют закодированные данные и декодируют их (блок 14-16, рис. 4).

Далее формируют у получателя информацию о новых текущих адресах отправителя и получателя. Для этого выделяют из декодированных данных текущий адрес отправителя $A_{отпр}$, который используют в качестве текущего адреса получателя $A_{пол}$, и обратный ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$, который используют в качестве текущего ложного

адреса отправителя $A_{отпр}^{лож}$, и запоминают их (блок 17-19, рис. 4).

На третьем этапе для подтверждения факта получения от отправителя пакета у получателя формируют уведомляющий пакет сообщения. Для чего как и у отправителя, формируют исходный пакет, представляющий собой уведомление о получении информационного пакета сообщения. Затем в исходный пакет включают предварительно сохраненные текущий ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и реальный идентификатор заголовка пакета $ID_{реал}$ (блок 20-21, рис. 4). Далее кодируют пакет данных и преобразуют его в формат IP (блок 22-23, рис. 4). Назначают текущим адресом отправителя $A_{отпр}$, предварительно запомненный обратный ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$, полученный из принятого от отправителя пакета сообщения. Также назначают текущим адресом получателя $A_{пол}$ предварительно запомненный адрес отправителя $A_{отпр}$ (блок 24, рис. 4). После этого заменяют реальный идентификатор заголовка пакета $ID_{реал}$ на сформированный идентификатор $ID_{случ}$ по случайному закону (блок 25, рис. 4). Далее передают сформированный уведомляющий пакет сообщения от получателя к отправителю (блок 26, рис. 4).

На четвертом этапе после приема у отправителя уведомляющего пакета сообщения из заголовка пакета выделяют текущие адреса отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$ и получателя $A_{пол}$ (блок 27-28, рис. 4). Сравнивают соответствующие адреса с предварительно запомненными обратным ложным адресом отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$ и адресом отправителя $A_{отпр}$ (блок 29).

При несовпадении адресов принятый пакет сообщения не анализируют, а при совпадении выделяют из принятого уведомляющего пакета сообщения закодированные данные и декодируют их (блок 30-32). Выделяют из декодированных данных текущий ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и реальный идентификатор заголовка пакета $ID_{реал}$ (блок 33). Сравнивают выделенный текущий ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и реальный идентификатор $ID_{реал}$ с соответствующими предварительно запомненными ложным адресом отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и реальным идентификатором пакета $ID_{реал}$ (блок 34). При несовпадении соответствующих адресов принимают решение о неправильной передаче пакета сообщения, а при совпадении – о правильной передаче (блок 35-36, рис. 4). Запоминают ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{лож}$ и обратный ложный адрес отправителя $A_{отпр}^{об\ лож}$ для исключения повторного их использования (блок 37, рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методе управления информационной безопасностью организации на основе процессного подхода применяется псевдослучайное использование структурных ресурсов ИВС. Повышается неопределенность принятия решения при несанкционированном анализе нарушителем работы сегментов вычислительной сети по каналам связи.

Обеспечивается результативность использования модифицированной процедуры определения используемых адресов при информационном обмене между удаленными сегментами распределенной ИВС путем введения ложных адресов из адресного пространства сетей, не относящихся к сегментам распределенной ИВС, и изменения реальных идентификаторов передаваемых пакетов, что позволяет повысить уровень безопасности и скрытности работы сегментов ИВС по каналам связи. Метод может быть использован при организации процессных подходов управления ИБ организаций.

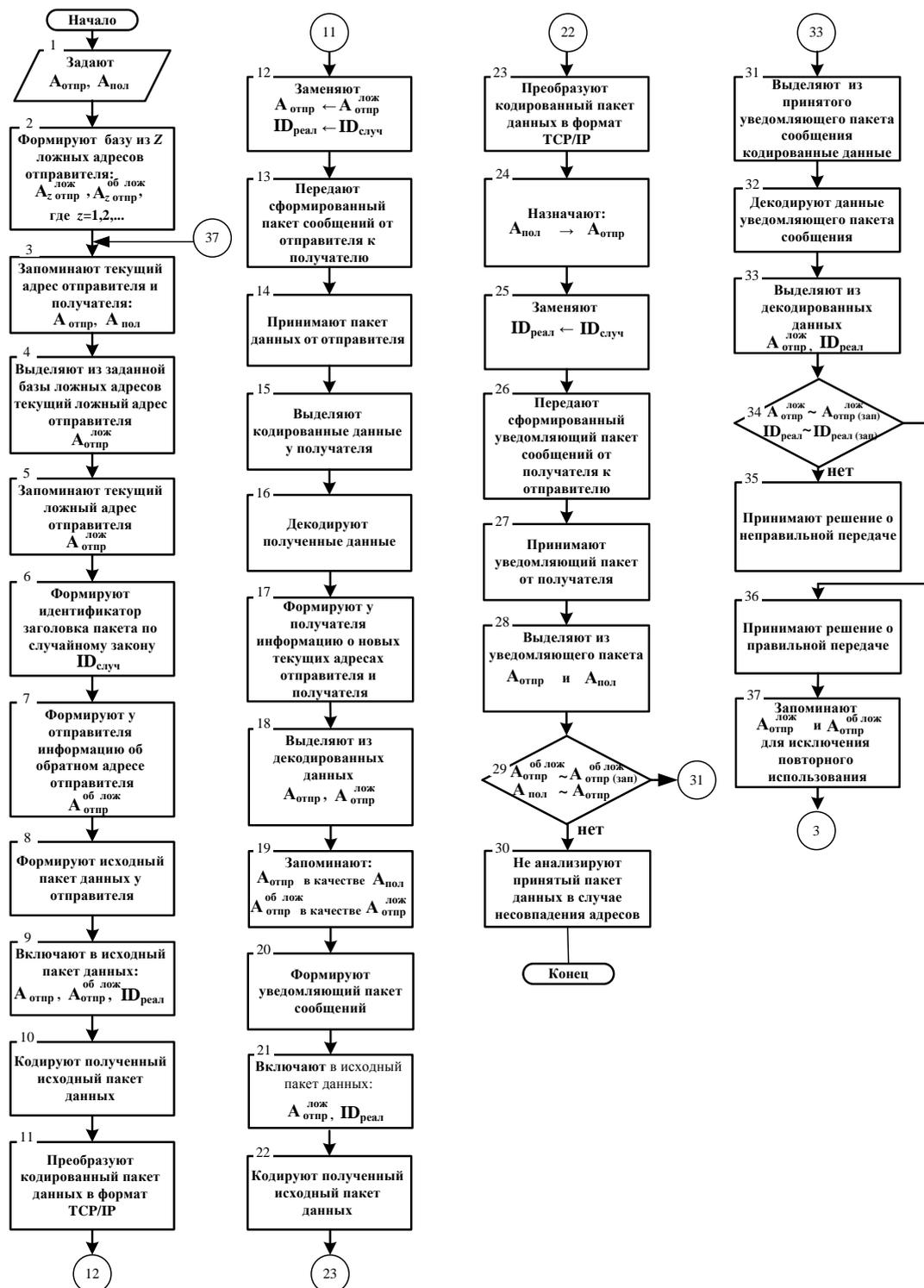


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма защиты канала связи распределенной ИВС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липатников В.А. Стратегический менеджмент: учеб. пособие. ВАС. – СПб., 2012. – 668 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2010 Информационная технология. Менеджмент услуг. Часть 1. Спецификация.
3. Молдовян Н.А. и др. Криптография: от примитива к синтезу. – СПб.: БВХ-Петербург, 2004. – С. 301-337.
4. Патент RU №2306599, МПК G06F 21/00 (2006.01) по пункту 1, опубл. 20.09.2007 г., бюл. № 26.
5. Семенов Ю.А. (ГНЦ ИТЭФ). Сетевая безопасность. Человек-по-середине [Электронный

- ресурс]. – URL: http://book.itep.ru/secur_6.htm#6.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы: учебник для ВУЗов. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – С. 340-349.
 7. Золотов С. Протоколы Internet. – СПб.: БХВ-Петербург, 1998. – С. 182-190.
 8. RFC 791, Internet Protocol, 1981, сентябрь. – С. 11-22.

Бухарин Владимир Владимирович

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург
Кандидат технических наук, докторант
Тел.: 8 (812) 556-93-41
E-mail: bobah_buch@mail.ru

Липатников Валерий Алексеевич

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург
Доктор технических наук, профессор

Сахаров Дмитрий Владимирович

Северо-Западный филиал ОАО «МегаФон», г. Санкт-Петербург
Соискатель
Тел.: 8 (812) 956-78-88
E-mail: Dmitry.Sakharov@megafon.ru

V.V. BUXARIN (*Candidate of Engineering Sciences, Doctoral Candidate*)

V.A. LIPATNIKOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor*)
Military Academy of Communications, Saint-Petersburg

D.V. SAXAROV (*Applicant*)
North-West Branch of «MegaFon», Saint-Petersburg

**METHOD OF ORGANIZATIONAL INFORMATION SECURITY CONTROL BASED
ON PROCESS APPROACH**

The following paper describes method of process-based information security control within an organization during external perimeter security system breaches of information network. The described method allows increasing uncertainty of decision-making by an intruder while analyzing functionality of information network through communications channels, provide effectiveness of employing modernized address detection procedure during information exchange between remote segments of distributed communications network, improve security level of IP-based network segments' communications channels.

Keywords: *process based approach of information security management; unauthorized access; security and secrecy of distributed network segments; IP-protocol.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Lipatnikov V.A. Strategicheskij menedzhment: ucheb. posobie. VAS. – SPb., 2012. – 668 s.
2. GOST R ISO/MEK 20000-1-2010 Informacionnaya texnologiya. Menedzhment uslug. Chast' 1. Specifikaciya.
3. Moldovyan N.A. i dr. Kriptografiya: ot primitiva k sintezu. – SPb.: BXV-Peterburg, 2004. – S. 301-337.
4. Patent RU №2306599, MPK G06F 21/00 (2006.01) po punktu 1, opubl. 20.09.2007 g., byul. № 26.
5. Semyonov Yu.A. (GNC ITE'F). Setevaya bezopasnost'. Chekovek-po-seredine [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://book.itep.ru/secur_6.htm#6.
6. Olfier V.G., Olfier N.A. Komp'yuterny'e seti: principy', texnologii, protokoly': uchebnik dlya VUZov. – 3-e izd. – SPb.: Piter, 2010. – S. 340-349.
7. Zolotov S. Protokoly' Internet. – SPb.: BXV-Peterburg, 1998. – S. 182-190.
8. RFC 791, Internet Protocol, 1981, sentyabr'. – S. 11-22.

М.Н. ГОРЮНОВ, А.Г. МАЦКЕВИЧ, С.В. ЕРЕМЕНКО, А.Л. ЕРШОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ

Рассмотрены проблемы исследования программного обеспечения на отсутствие недокументированных возможностей в условиях отсутствия исходных текстов, предложен вариант решения задачи повышения оперативности и достоверности поиска функциональных объектов программного обеспечения.

Ключевые слова: *недекларированные возможности; функциональный объект; автоматизированный поиск.*

В настоящее время основу большинства современных информационно-телекоммуникационных систем составляют программно-аппаратные средства импортного производства. Гарантии доверия к данным средствам могут быть достигнуты только после проведения соответствующих тематических исследований их программного обеспечения. Однако они поставляются без полного набора исходных текстов программ, что приводит к значительному увеличению временных и, как следствие, финансовых затрат на их исследования. Одной из задач таких исследований является верификация функциональных объектов¹, реализующих стандартизированные алгоритмы (алгоритмы сжатия информации, криптографические алгоритмы и т.д.), заявленные разработчиком.

Другой задачей исследований является проверка на отсутствие в программном обеспечении недодекларированных возможностей (например, реализация не заявленных разработчиком сетевых протоколов, алгоритмов скрытого преобразования информации, функций гарантированного уничтожения данных и т.д.). То есть, задача исследования в данном случае сводится практически к обнаружению недокументированных разработчиком функциональных объектов.

Поиск в исполняемых модулях программного обеспечения участков кода, реализующих недокументированные алгоритмы либо ФО, корректность реализации которых необходимо проверить, является очень затратным. Кроме этого, возможна ситуация, когда специалист-исследователь может так и не обнаружить необходимый ФО либо не обнаружить имеющиеся в ПО недокументированные возможности, что в конечном результате может привести к возникновению угроз безопасности информации.

ФО (в широком смысле) может быть представлен несколькими способами (рис. 1):

- в виде алгоритма;
- в виде фрагмента исходного текста языка программирования;
- в виде фрагмента машинного кода.

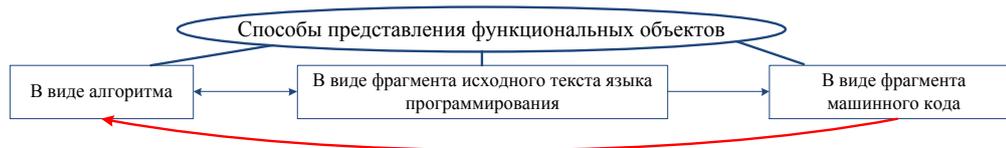


Рисунок 1 – Способы представления функционального объекта программного обеспечения

¹ Под функциональными объектами (ФО) понимаются элементы программы, осуществляющие выполнение действий по реализации законченного фрагмента алгоритма программы [1, с. 2].

Необходимо отметить, что невозможно однозначно восстановить исходный текст ФО по соответствующему ему машинному коду, также, как и получить из алгоритма машинный код напрямую. Но существует возможность восстановления алгоритма по соответствующему ему фрагменту машинного кода (рис. 1). Таким образом, решение задачи обнаружения ФО возможно на основе создания его модели с использованием признакового пространства его представления в виде машинного кода.

В настоящее время для обнаружения в ПО заданных ФО используют набор его характерных признаков. При этом выделяют сигнатурный и статистический подходы.

В качестве сигнатур обычно применяются последовательности инструкций процессора или совокупность инструкций и операндов-констант. Например, для криптографических алгоритмов используются константы или таблицы подстановок, которые прописаны в стандарте на сам алгоритм. Данный подход позволяет быстро и достаточно точно обнаружить наличие в программном обеспечении искомого ФО. Но это применимо только в случае, если для исследуемого алгоритма возможно создание подобных сигнатур. Кроме того, сигнатурный подход не всегда дает возможность определить «границы» и конкретное местонахождение искомого ФО.

При статистическом подходе в качестве характеристик, используемых для поиска ФО, обычно используют частоту появления тех или иных инструкций процессора (или их последовательностей). Дополнительно может анализироваться изменение энтропии выходных данных по отношению к входным и т.д. Данный подход достаточно успешно применяется для поиска в машинном коде криптографических примитивов, характеризующихся большим количеством арифметических и битовых инструкций.

Более подробно анализ сигнатурных и статистических методов поиска ФО рассмотрен в [2]. Описанные в [2] подходы ставят целью обнаружение ФО, реализующих в основном криптографические алгоритмы или их части (криптопримитивы). Их основным недостатком является узкая направленность, что не дает возможности их применения при поиске других типов стандартизированных алгоритмов. Кроме того, существующие методы поиска ФО не учитывают структуру ФО.

Свободным от данных недостатков является подход, в основе которого лежит использование модели ФО, формируемой на основе математического аппарата Марковских цепей. Это позволит учесть особенности структуры ФО, расширить область применения существующих методов их обнаружения, а также повысить их достоверность.

В связи с этим имеет смысл свести задачу обнаружения ФО к задаче их бинарной классификации, одним из классов в которой будет класс искомого ФО. Тогда в случае отнесения неизвестного ФО к классу искомого будем считать, что искомым ФО обнаружен. Под классом искомого ФО будем понимать множество реализаций одного и того же ФО, но полученных при использовании одноплатных компиляторов из программ, написанных на одном языке программирования и на основе одного и того же алгоритма. Далее понятия модель класса ФО и модель ФО будем считать тождественными.

Для разработки модели ФО, учитывающей его структурные особенности, представим трассу выполнения реализующего его машинного кода в виде сплошного потока инструкций процессора без учета операндов. Полученную последовательность инструкций будем рассматривать как последовательность символов латинского алфавита и символа «пробел» для разделения инструкций между собой. Таким образом, исходными данными для построения модели будет являться последовательность вида:

$$O_{\text{FO}} = \{o_i\}, o \in \{., a, b, c \dots z\}.$$

Использование для описания ФО последовательности символов инструкций процессора, полученных из трассы его выполнения, позволяет уменьшить размерность параметров модели.

Результаты проведенных исследований показали, что использование для построения модели ФО всего набора инструкций процессора, полученных из трассы выполнения

исполняемого кода, реализующего ФО, является нецелесообразным. Это объясняется тем, что инструкции, явным образом не влияющие на результат выполнения ФО (перемещения данных в памяти процесса, передачи управления, проверки условий и т.д.) «зашумляют» структуру ФО. В связи с этим к исходной последовательности инструкций необходимо применить фильтр, который исключит из нее следующие инструкции: call, ret, pushad, popad, push, pop, jmp, jnz, jbe, jnb, jge, jns, jle, jg, jz, js, jb, ja, jl, cmp, test, std, cld, cdq, bswap, inc, dec, movzx, mov, гер. Данный перечень может быть дополнен (уточнен) с учетом специфики моделируемого ФО.

В качестве одного из методов фильтрации трассы может быть использован метод «слайсинга», при котором из трассы выделяются только те инструкции, входные операнды которых достигли входные данные, а также те инструкции, чьи выходные операнды повлияли на выходные данные алгоритма [3].

Учитывая тот факт, что большинство инструкций процессора состоит из трех символов, является целесообразным для построения модели ФО использовать представление полученной последовательности символов в виде цепи Маркова 2-го порядка. При этом необходимо отметить, что вероятности появления символов в данной последовательности со временем не изменяются. Тогда состоянием S_i в момент времени n для данной цепи будем считать появление одного из возможных символов последовательности $O_{\text{ФО}}$. Таким образом, полученную цепь Маркова можно охарактеризовать вектором начальных состояний:

$$\vec{P}(0) = \{p_k\}, p_k \equiv P(o_0 = a_k), a_k \in \bar{A}_N^2 = \{S_i S_j\}$$

$$k = \overline{1, N^2}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}$$

и матрицей переходных вероятностей за n шагов:

$$\vec{P}(n) = \{p_{lk}(n, n-1)\}, p_{lk}(n, n-1) \equiv P(o_n = S_l | o_{n-1} = a_k), a_k \in \bar{A}_N^2 = \{S_i S_j\}$$

$$l = \overline{1, N}, k = \overline{1, N^2}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}.$$

Таким образом, построение модели ФО ПО в условиях отсутствия исходных текстов программ включает в себя следующие этапы:

1. Получение трассы выполнения ФО.
2. Выделение инструкций процессора из полученных данных.
3. Фильтрация выделенной последовательности с целью удаления «зашумляющих» инструкций.
4. Определение вектора начальных состояний полученной последовательности (начальное состояние цепи Маркова 2-го порядка).
5. Расчет матрицы переходных вероятностей цепи Маркова 2-го порядка.

Полученная модель является основным элементом системы обнаружения ФО ПО в условиях отсутствия исходных текстов (рис. 2). В состав системы входят три основных модуля: предварительной обработки, подсистемы обучения и подсистемы обнаружения.

В модуль предварительной обработки в зависимости от выполняемой процедуры поступают либо обучающие, либо контрольные файлы. Обучающие файлы содержат в себе искомые ФО. Контрольный файл проверяется на наличие в нем требуемого ФО с указанием его местоположения. На этапе обучения в модуле предварительной обработки выполняются следующие операции:

- получение трасс выполнения машинного кода различных обучающих файлов;
- выделение из полученных трасс последовательностей инструкций процессора;
- определение множества зашумляющих инструкций искомого ФО (зашумляющие инструкции определяются отдельно для каждого из классов ФО).

На этапе обнаружения в данном модуле обеспечиваются:

- дизассемблирование контрольного файла;
- получение адресов ФО, присутствующих в файле;
- получение трасс выполнения машинного кода ФО, присутствующих в файле;
- выделение из полученных трасс последовательностей инструкций процессора.

В модуле подсистемы обучения осуществляется определение параметров модели класса искомого ФО, а также значений логарифмической функции правдоподобия последовательностей, сгенерированных индивидуальными обучающими моделями, по отношению к обобщенной обучающей модели ФО. В состав данного модуля входят следующие основные блоки:

- формирования входных векторов;
- построения обучающих моделей искомого ФО;
- определения значений логарифмической функции правдоподобия.

На вход блока формирования входных векторов подсистемы обучения поступают обучающие последовательности инструкций процессора и перечень зашумляющих инструкций. Последние удаляются из обучающих выборок. В результате входные вектора представляют собой последовательности инструкций, которые наиболее полно характеризуют структуру искомого ФО.

В блоке построения обучающих моделей выполняются следующие операции:

- строятся индивидуальные модели ФО для каждого из входных векторов;
- формируется обобщенная модель ФО на основе объединения входных векторов в единую последовательность.

После построения индивидуальных и обобщенных обучающих моделей класса искомого ФО определяются значения логарифмической функции правдоподобия последовательностей, сгенерированных на основе индивидуальных моделей, по отношению к обобщенной. Происходит это следующим образом:

1. На основе каждой из индивидуальных моделей вырабатывается тестовая последовательность.

2. Рассчитываются значения логарифмической функции правдоподобия L каждой из полученных последовательностей O длины T для обобщенной обучающей модели ФО λ_o по формуле:

$$L(O|\lambda_o) = \frac{1}{T} \lg P(O|\lambda_o).$$

3. Минимальное из рассчитанных значений принимается за пороговое и запоминается.

Параметры обобщенной обучающей модели класса искомого ФО, а также пороговое значение логарифмической функции правдоподобия, рассчитанное в п.2, являются выходом подсистемы обучения и сохраняются в базу данных.

В модуле подсистемы обнаружения определяется факт наличия в контрольном файле конкретного (искомого) ФО, а также определяется его местоположение. В состав данного модуля входят два блока:

- формирования входных векторов;
- классификации.

На вход блока формирования входных векторов подсистемы обнаружения поступают последовательности инструкций процессора контрольных ФО, адреса их расположения в файле и перечень зашумляющих инструкций. Последние из контрольной выборки удаляются. В результате полученные последовательности являются входными векторами для блока классификации.

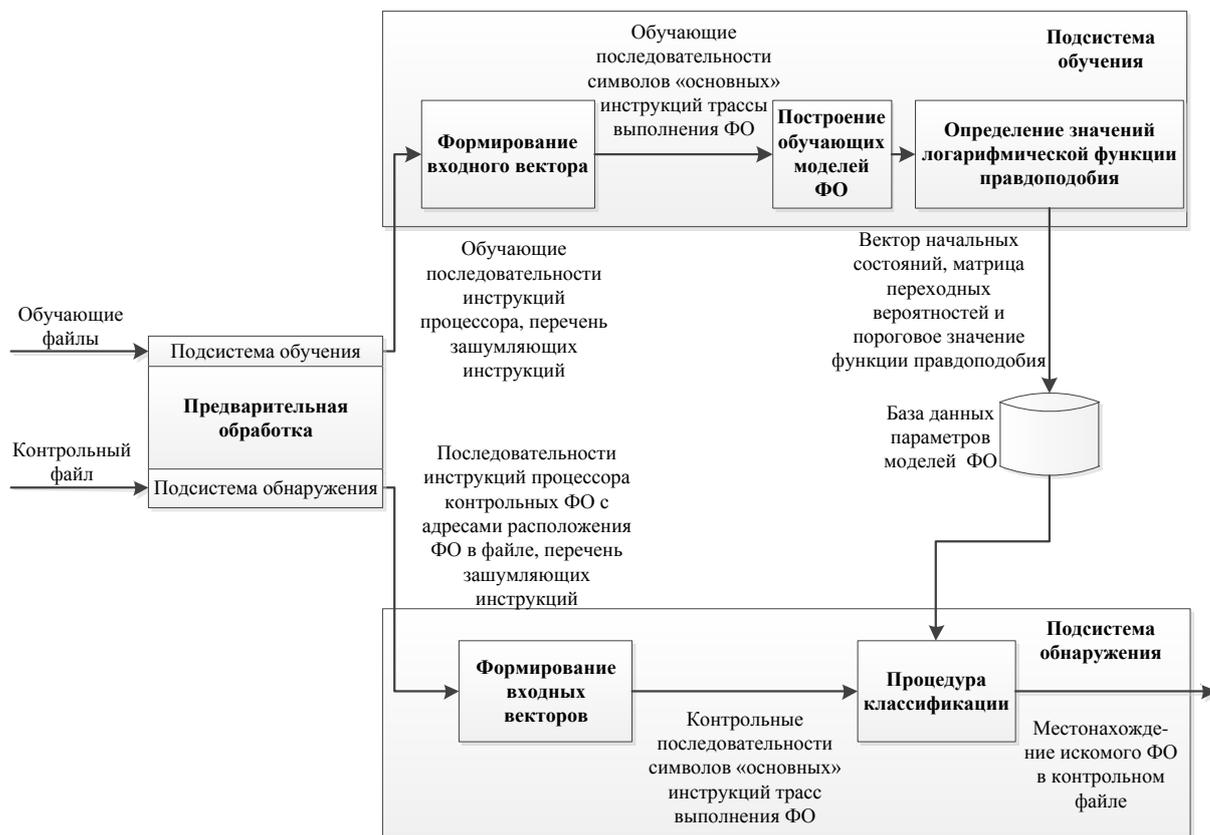


Рисунок 2 – Структурная схема процесса обнаружения функциональных объектов программного обеспечения в условиях отсутствия исходных текстов

В блоке классификации выполняются следующие операции:

- рассчитываются значения логарифмической функции правдоподобия каждого из входных векторов для обобщенной обучающей модели;
- каждое из полученных значений сравнивается с пороговым;
- если какое-либо из рассчитанных значений превышает пороговое, то такой ФО относится к классу искомого. Его адрес запоминается и выдается на выход системы.

Для подтверждения вышеизложенного был проведен ряд экспериментальных исследований. В качестве искомого ФО был выбран криптографический алгоритм Rijndael. Для обучения были выбраны четыре файла, скомпилированных компилятором Visual C++, и четыре файла, скомпилированных компилятором Borland Delphi. В данных файлах искомым ФО был предварительно обнаружен и верифицирован «вручную». Перечень обучающих файлов приведен в таблице 1.

Таблица 1– Перечень обучающих файлов

п/п	Обучающие файлы	Компилятор
	<i>Aep.exe</i> (приложение «Advanced Encryption Package», разработчик <i>SecureAction Research</i>)	Visual C++
	<i>Crypto.dll</i> (приложение «AES-Up», разработчик <i>Axiom Information Security Ltd</i>)	
	<i>LockNote.exe</i> (приложение «Steganos LockNote», разработчик <i>Steganos GmbH</i>)	
	<i>CSCrySec.sys</i> (приложение «InfoWatch CryptoStorage», разработчик ЗАО "Инфовотч")	
	<i>DataHider.exe</i> (приложение «BDV DataHider», разработчик <i>Badev Vlad Software Company</i>)	Borland Delphi

<i>Encrypter.exe</i> (приложение «Mooseoft Encrypter», разработчик <i>Richard Nyström</i>)	
<i>invsecr.exe</i> (приложение «Invisible Secrets», разработчик <i>NeoByte Solutions</i>)	
<i>XMCrypt.exe</i> (приложение «XMCrypt», разработчик <i>Maryan Khudyk</i>)	

В качестве контрольных файлов также были выбраны файлы, скомпилированные компиляторами Visual C++ и Borland Delphi. Для проверки функционирования системы обнаружения было решено выбрать в качестве контрольного не весь файл, а только некоторые из его ФО, которые являются наиболее «близкими» по своей структуре и функциональной нагрузке. В частности, такими объектами были выбраны:

- алгоритм шифрования Blowfish приложения Mooseoft Encrypter (файл *Encrypter.exe*);
- алгоритм шифрования Nush приложения InfoWatch CryptoStorage (файл *ciwBaseLib.dll*);
- алгоритм расчета хэш-функции SHA-256 приложения AES-Up (файл *Crypto.dll*).

Кроме указанных, для контроля было выбрано по одному произвольному ФО приложений Mooseoft Encrypter, AES-Up и Invisible Secrets. Результаты расчетов значений логарифмической функции правдоподобия приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов значений логарифмической функции правдоподобия

п/ п	Файл	Компилятор	Контрольный функциональный объект	Значение логарифмической функции правдоподобия при компиляторе обобщенной обучающей модели	
				<i>Visual C++</i>	<i>Borland Delphi</i>
	<i>Aep.exe</i>	<i>Visual C++</i>	<i>Rijndael</i>	0,88	0,89
	<i>Crypto.dll</i>		<i>Rijndael</i>	0,86	0,85
	<i>Crypto.dll</i>	<i>Visual C++</i>	SHA-256	0,72	0,9
	<i>Crypto.dll</i>		Произвольный (адрес 0x42CE80)	0,74	0,77
	<i>LockNote.exe</i>		<i>Rijndael</i>	0,84	0,82
	<i>CSCrySec.sys</i>		<i>Rijndael</i>	0,87	0,75
	<i>ciwBaseLib.dll</i>		<i>NUSH</i>	0,74	0,85
	<i>DataHider.exe</i>	<i>Borland Delphi</i>	<i>Rijndael</i>	0,64	0,92
	<i>Encrypter.exe</i>		<i>Rijndael</i>	0,71	0,92
0	<i>Encrypter.exe</i>		<i>Blowfish</i>	0,8	0,72
1	<i>Encrypter.exe</i>		Произвольный (0x48FBA0)	0,86	0,63
2	<i>invsecr.exe</i>		<i>Rijndael</i>	0,68	0,92
3	<i>invsecr.exe</i>		Произвольный (0x31220)	0,43	0,73
4	<i>XMCrypt.exe</i>		<i>Rijndael</i>	0,7	0,92

В таблице 2 полужирным шрифтом выделены пороговые значения логарифмической функции правдоподобия, рассчитанной в процессе обучения системы. Курсивом показаны значения функции правдоподобия.

Анализ представленных результатов показал, что предложенный подход позволяет обнаружить искомый ФО даже при условии поиска среди схожих с ним по функциональной нагрузке и структуре. Вместе с тем, необходимо отметить, что перед обучением системы обнаружения необходимо учитывать тип компилятора, который использовался при разработке файлов контрольного программного обеспечения. То есть обучающие и контрольные файлы должны быть скомпилированы одноплатными компиляторами. В противном случае система выдает большое количество ложно-положительных результатов.

В данной работе не учитывалась возможность применения к контрольным файлам различных методов запутывающих преобразований (обфускация, сжатие исполняемого кода или его шифрование и так далее).

Проведенные экспериментальные исследования являются предварительными. В дальнейшем планируется проведение экспериментов для различных типов стандартизированных алгоритмов с большим количеством контрольных ФО, а также планируется исследовать возможность применения предложенного подхода в совокупности с существующими статистическими и сигнатурными методами с использованием различных типов автоматических классификаторов. Еще одним из возможных направлений дальнейших исследований является использование в качестве исходных данных для построения модели ФО не символов, а идентификаторов инструкций процессора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководящий документ. Защита от несанкционированного доступа к информации. Часть 1. Программное обеспечение средств защиты информации. Классификация по уровню контроля отсутствия недеklarированных возможностей // Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России), 1999 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.fstec.ru/_docs/doc_3_3_010.doc (дата обращения 07.11.2012).
2. Felix Gröbert. Automatic Identification of Cryptographic Primitives in Software // Kerckhoffs, 2010 [Электронный ресурс]. – URL: <https://kerckhoffs.googlecode.com/files/Groebert-Automatic.Identification.of.Cryptographic.Primitives.in.Software.pdf> (дата обращения 25.12.2012).
3. Тихонов А.Ю., Аветисян А.И. Комбинированный (статический и динамический) анализ бинарного кода // Институт системного программирования Российской академии наук, 2012 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ispras.ru/ru/proceedings/docs/2012/22/isp_22_2012_131.pdf (дата обращения 07.11.2012).

Горюнов Максим Николаевич

Академия ФСО России, г. Орел
Научный сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-96-60
E-mail: max.gor@mail.ru

Мацкевич Андрей Георгиевич

Академия ФСО России, г. Орел
Научный сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-96-59
E-mail: mag3d@rambler.ru

Еременко Сергей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»
Тел.: 8 (4862) 45-57-58
E-mail: sv5771@mail.ru

Ершов Алексей Леонидович
Академия ФСО России, г. Орел
Научный сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-96-59
E-mail: al.er@rambler.ru

M.N. GORUNOV (*Research Associate*)

A.G. MATSKEVICH (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

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

A.L. ERSHOV (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

MODELING OF DETECTION SOFTWARE FUNCTIONAL OBJECTS IN THE ABSENCE OF THE SOURCE TEXT

The problems of software research on the absence of undocumented features in the absence of source code are considered; the task solutions of increasing of efficiency and search accuracy of software functional objects are proposed.

Keywords: *undocumented features; functional object; automated search.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Rukovodyashhij dokument. Zashhita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Chast' 1. Programmnoe obespechenie sredstv zashhity' informacii. Klassifikaciya po urovnyu kontrolya otsutstviya nedeklarirovanny'x vozmozhnostej // Federal'naya sluzhba po texnicheskomu i e'ksportnomu kontrolyu (FSTE'K Rossii), 1999 [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://www.fstec.ru/_docs/doc_3_3_010.doc (data obrashheniya 07.11.2012).
2. Felix Gröbert. Automatic Identification of Cryptographic Primitives in Software // Kerckhoffs, 2010 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <https://kerckhoffs.googlecode.com/files/Groebert-Automatic.Identification.of.Cryptographic.Primitives.in.Software.pdf> (data obrashheniya 25.12.2012).
3. Tixonov A.Yu., Avetisyan A.I. Kombinirovanny'j (sticheskiy i dinamicheskiy) analiz binarnogo koda // Institut sistemnogo programmirovaniya Rossijskoj akademii nauk, 2012 [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://www.ispras.ru/ru/proceedings/docs/2012/22/isp_22_2012_131.pdf (data obrashheniya 07.11.2012).

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ КИБЕРТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ

Рассмотрена возможность оптимизации состава технических средств защиты информации объектов инфокоммуникационных систем при применении технологии двойного назначения в условиях воздействия кибертеррористических угроз.

Ключевые слова: объекты инфокоммуникационных систем; система защита информации; кибертеррористическая угроза; электромагнитный импульс; побочные электромагнитные излучения и наводки.

Необходимость организации защиты информации объектов инфокоммуникационных систем (ИКС) обусловлена существованием внешних и внутренних источников электромагнитного излучения, наиболее опасными среди которых является кибертеррористическая атака с применением генераторов электромагнитного импульса (ЭМИ) и побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН) средств электронно-вычислительной техники (ЭВТ) данных объектов. Организация системы защиты информации двойного назначения предусматривает определение цели, содержания и порядка действий по обеспечению защиты информации [1].

В качестве цели защиты информации объектов ИКС необходимо рассматривать предотвращение уничтожения, разрушения и неконтролируемого распространения указанной информации в результате ее несанкционированного доступа к информации путем применения электронной атаки. В связи с данными аспектами система защиты информации двойного назначения (СЗИ ДН) объектов ИКС от кибертеррористических угроз представляет собой совокупность технических средств и методов защиты информации, обеспечивающих предотвращение уничтожения и разрушения средств ЭВТ и информации, циркулирующей в ИКС. Данная система должна функционировать по правилам, установленным действующим законодательством Российской Федерации, организационно-распорядительными и нормативными документами по защите информации. В свою очередь, оптимизация СЗИ ДН объектов ИКС от кибертеррористических угроз заключается в выборе наилучшей из числа альтернативных структуры системы защиты и оптимального варианта состава технических средств защиты информации (ТСЗИ) в указанной структуре, необходимых для достижения избранной цели защиты информации [1, 3].

Независимо от уровня сложности и разновидности объектов ИКС схема построения СЗИ ДН представляет собой итерационную последовательность: постановка задач – проработка вариантов их осуществления – принятие решения.

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЗИ ДН ОБЪЕКТОВ ИКС

Системотехнический синтез СЗИ ДН объектов ИКС заключается в сведении в единое целое исходных представлений об объектах ИКС на этапе проработки альтернативных вариантов замысла защиты информации, реализующего требования к защите информации [1].

Вариант структуры СЗИ ДН объектов ИКС, отражающей результаты указанной проработки, представлен на рисунке 1.

Основными компонентами структуры СЗИ ДН объектов ИКС являются подсистемы мониторинга электромагнитной обстановки, подавления поля ЭМИ и локализации (устранения) каналов утечки защищаемой информации с помощью как пассивных, так и более прогрессивных динамических (адаптивных) ТСЗИ.

Назначение остальных подсистем, указанных на рисунке 1, непосредственно следует из их наименования, а описание этих подсистем содержится в общедоступных источниках информации.

СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Структурная оптимизация СЗИ ДН объектов ИКС заключается в формировании такой схемы системы защиты, которая определит основные функциональные части системы, необходимые для обеспечения экстремального значения показателя оптимальности системы при выделенных финансовых средствах C_{\max} на ее создание.



Рисунок 1 – Вариант структуры СЗИ ДН объектов ИКС

Показателем оптимальности СЗИ ДН, вытекающим из ее функционального назначения, является уровень надежности защиты объектов ИКС, обеспечиваемый системой, а критерием эффективности – требуемая вероятность решения задачи защиты информации в фиксированный момент (интервал) времени.

Математическая формулировка задачи структурной оптимизации СЗИ имеет вид при ограничениях [1-2]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{G}(D_{\bar{G}}, M_{0\bar{G}}, F_{\bar{G}}) \in \arg \max R_3 \\ M_0 \in M_B, C \in C_{\max}, R_3 \geq R_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В зависимости (1) приняты следующие обозначения: \bar{G} – вектор эффективности СЗИ ДН объектов ИКС, соответствующий функциональному назначению системы защиты; $D_{\bar{G}}$ – структура СЗИ в целом, заданная составом функциональных подсистем; $M_{0\bar{G}}$ – структура подсистемы мониторинга электромагнитной обстановки и защиты от ЭМИ, а также локализации (устранения) каналов утечки защищаемой информации, заданная оптимальным вариантом состава ТСЗИ; $F_{\bar{G}}$ – функция цели управления свойствами указанной выше подсистемы.

Задача структурной оптимизации не является однородной по переменным, поэтому ее решение осуществляется в несколько этапов при последовательном изменении на каждом из них ранее фиксированной части переменных так, чтобы продвинуться к экстремуму общего показателя оптимизации на очередном этапе.

Результатом структурной оптимизации СЗИ выступает квазиоптимальная структурная схема системы защиты.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВАРИАНТА СОСТАВА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Эффективность СЗИ ДН объектов ИКС во многом предопределяется выбором оптимального варианта состава ТСЗИ из числа возможных вариантов указанных средств [2].

Сформулируем подход к решению задачи оптимизации состава ТСЗИ по безусловному критерию предпочтения.

Пусть каждый вариант состава ТСЗИ из числа принятых к рассмотрению определяется некоторой совокупностью параметров [1, 4]:

$$\bar{N} \{ \bar{L} = (l_1, l_2, \dots, l_s) \} \cup \{ \bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_m) \} \quad (2)$$

где $\bar{L} = (l_1, l_2, \dots, l_s)$ – вектор показателей качества ТСЗИ, к числу которых относятся степень подавления поля ЭМИ и опасного канала утечки защищаемой информации, коэффициент готовности подсистемы и т.п.; $\bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ – вектор параметров ТСЗИ, которые можно варьировать, изменяя показатели качества ТСЗИ.

Выбор конкретных значений вектора K из некоторой области $B = (\bar{K} \in B)$ определяет возможный вариант состава ТСЗИ. Область B формируется совокупностью ограничений типа равенств ($K_i = K_{i0}$), неравенств ($K \leq K_i \leq K_{i\max}$), дискретности функциональной связи ($f_j(\bar{K}) \leq 0$). В общем случае существует множество $M_B = \{S_1, S_2, \dots, S_z\}$ возможных вариантов выбора ТСЗИ, и те из них, которые обеспечивают наилучшее значение вектора \bar{L} , образуют подмножество оптимальных вариантов $M_0 \in M_B$. Тогда задача выбора оптимального состава ТСЗИ принимает вид

$$\left. \begin{aligned} \bar{L} &= (l_1, l_2, \dots, l_s)_{\bar{K} \in B} \rightarrow T_{opt} \\ B &: l_i = l_i(\bar{K}), i = \overline{1, S}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где T_{opt} – оператор, реализующий принцип оптимальности (например, минимизации состава ТСЗИ).

С учетом изложенного задача оптимизации (2) формулируется так: необходимо найти такую область изменения параметров k_1, k_2, \dots, k_m , чтобы она являлась подобластью области B и каждый из векторов $\bar{K}^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_m^*)$ этой подобласти был бы оптимальным по безусловному критерию предпочтения, т.е. в области B не должно существовать другого вектора $\bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_m)$, такого, что $l_i(\bar{K}) \leq l_i(\bar{K}^*)$, и хотя бы одно неравенство должно быть строгим.

Решение задачи оптимизации (2) осуществляется с помощью алгоритмов, основанных на методах случайного поиска.

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ПОДСИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ, ПОДАВЛЕНИЯ ПОЛЯ ЭМИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ (УСТРАНЕНИЯ) ОПАСНЫХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Для уяснения сущности задачи управления свойствами подсистем мониторинга электромагнитной обстановки, подавления поля ЭМИ и локализации (устранения) опасных

каналов утечки информации объектов ИКС обратимся к рисунку 3, на котором изображена формализованная структура данных подсистем (обозначим ее индексом E). Указанная структура содержит управляемую и управляющую подсистемы защиты.

Под управляемыми подсистемами защиты объектов ИКС от кибертеррористических угроз будем понимать совокупность нескольких ТСЗИ, объединенных единством избранной цели защиты информации. К управляющей подсистеме отнесем совокупность технических средств управления и контроля состояния ТСЗИ.



Рисунок 2 – Формализованная структура мониторинга электромагнитной обстановки, подавления поля ЭМИ и локализации (устранения) опасных каналов утечки информации

Согласно рисунку 2, подсистему E можно характеризовать следующей группой переменных: $X_{\{x_n\}}$ – множество, обусловленное полями ЭМИ; $Z_{\{z_m\}}$ – множество выходных сигналов, являющихся побочными электромагнитными излучениями; $Y_{\{y_k\}}$ – множество неопределенных внешних возмущений (электромагнитный шум, радиоактивный фон и т.п.); $V_{\{v_i\}}$ – множество наблюдаемых признаков (параметров), характеризующих техническое состояние ТСЗИ; $W_{\{w_j\}}$ – множество управляющих воздействий, формируемых технологом управляющей подсистемы защиты информации [1].

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЗИ ДН ОБЪЕКТОВ ИКС НА СТОХАСТИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Структура объектовой системы защиты информации, полученная в результате оптимизации описанным выше способом, может функционировать с различными уровнями качества. При этом отказы отдельных подсистем не приводят к отказу всей системы в целом, а переводят ее в состояние, характеризующее способность выполнения отдельных частных задач.

Очевидно, что с точки зрения результативности функционирования, т.е. выполнения всех задач, невыполнения отдельных частных задач или невыполнения всех частных задач, каждое состояние H_i системы можно характеризовать выходным эффектом состояния Q_i . Вероятность нахождения системы защиты в этом состоянии определяется величиной $P(H_i)$. Поскольку величины Q_i и H_i независимы, то оценкой работоспособности системы защиты является величина:

$$Q = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot Q_i. \quad (4)$$

Применительно к системе защиты информации, нацеленной на выполнение m частных задач и имеющей n дискретных состояний, которые образуют полную группу несовместных событий, формула (4) может быть преобразована к виду:

$$Q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_j P(H_i) P_j(A/H_i), \quad (5)$$

где P_j – вероятность выполнения j -й частной задачи; $P_j(A/H_i)$ – условная вероятность события A , означающего выполнение системой своих функций на некотором уровне качества, достаточном для решения j -й частной задачи, при нахождении системы в i -м состоянии.

КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИКС ОТ КИБЕРТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ

Злоумышленник с помощью генератора ЭМИ генерирует совокупность импульсов (пусть она будет конечной и счетной $i = 1, \bar{n}$) или путем применения технических средств съема информации по каналам ПЭМИН производит кибератаку. Введем вероятность $P_{i\text{КибТУ}}$ успешной атаки на объект ИКС и ущерба q_i наносимого этому объекту [5, 6].

Система защиты объекта ИКС выполняют функцию полного или частичного предотвращения воздействия на объект информатизации. Основной характеристикой системы защиты является вероятность предотвращения ущерба $P_{\text{инред}}$, наносимого объекту ИКС.

Обозначим общий предотвращенный СЗИ ущерб через \bar{P} , а предотвращенный ущерб за счет применения оборонительной стратегии через \bar{p}_i .

После введенных обозначений сформулируем в общем виде задачу синтеза средств защиты информации в ОИ. Рассмотрим метод решения задачи оптимального распределения ресурса системы защиты при фиксированном векторе распределения средств поражения \bar{U} .

Необходимо выбрать вариант реализации СЗИ, обеспечивающий минимизацию ущерба. Минимизация ущерба \bar{P} осуществляется методом последовательных приращений (выпуклых оболочек). Задача минимизации ущерба \bar{P} заменяется эквивалентной ей задачей максимизации предотвращаемого ущерба от воздействия угроз при допустимых затратах на систему защиты $C_{\text{доп}}$ [3, 4].

Формальная постановка задачи имеет вид

$$T_{opt} = \bar{p}_i u_i \max \bar{P}(T). \quad (6)$$

Также можно в постановке задачи линейного программирования решения минимаксной задачи симплекс-методом [4, 5]

$$\gamma \left(\begin{matrix} \leftarrow opt \\ \bar{p} \\ \rightarrow opt \\ u \end{matrix} \right) = \max_{\bar{\omega}} \min_{\bar{q}} T \left(\begin{matrix} \leftarrow opt \\ \bar{p} \\ \rightarrow opt \\ u \end{matrix} \right) = \min_{\bar{q}} \max_{\bar{\omega}} T \left(\begin{matrix} \leftarrow opt \\ \bar{p} \\ \rightarrow opt \\ u \end{matrix} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u^{opt} g_{ij} \quad (7)$$

найти $T_{opt} \in T^+$ при ограничении $C_{\max}(T_{opt}) \leq C_{\text{доп}}$, т.е. при минимальных затратах предотвратить максимум возможного ущерба. Здесь $T_{opt} T^+$ – допустимое и оптимальное значение вектора \bar{T} ; $C_{\text{доп}}$ – допустимые затраты на СЗИ.

Для решения задачи необходимо, прежде всего, сформировать показатель качества функционирования СЗОИ $\bar{P}(T)$.

Предотвращенный ущерб в общем виде выражается соотношением:

$$\bar{P} = F(P_{i\text{КибТУ}}; u_i; P_{\text{инред}}; i = 1, \bar{n}). \quad (8)$$

Предотвращенный ущерб за счет реализации мероприятий защиты определяется следующим выражением:

$$\bar{p}_i = P_{i\text{КибыТ}} \cdot u_i \cdot P_{i\text{пред}}; i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Таким образом, при $i = \overline{1, n}$ получаем:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n P_{i\text{КибыТ}} \cdot u_i \cdot P_{i\text{пред}}. \quad (10)$$

Остановимся более подробно на сомножителях, входящих в формулу (4). Вероятность успешного воздействия (атаки) ЭМИ на объект информатизации P_i определяется статистически и соответствует относительной частоте ее появления:

$$P_{i\text{КибыТ}} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \bar{\lambda}_i, \quad (11)$$

где λ_i – частота воздействия ЭМИ.

Ущерб u_i может определяться в абсолютных единицах: экономических потерях при катастрофических отказах элементов объекта ТКС (средств ЭВТ, телекоммуникационных устройств), временных затратах, объеме уничтоженной или «испорченной» информации и т.д.

Однако практически оценить ущерб весьма затруднительно, особенно на ранних этапах проектирования СЗИ. Поэтому целесообразно вместо абсолютного ущерба использовать относительный ущерб, который представляет собой степень опасности ЭМИ для информационно-управляющей системы ОИ. Степень опасности может быть определена экспертным путем в предположении, что угроза применения ЭМИ по объекту информатизации составляют полную группу событий, т.е. [5]:

$$0 \leq u_i \leq 1; \sum_{i=1}^n u_i = 1. \quad (12)$$

Наиболее сложным вопросом является определение вероятности устранения последствий применения угрозы применения ЭМИ P_j при проектировании СЗИ.

Сделаем естественное допущение, что эта вероятность определяется тем, насколько полно учтены качественные и количественные требования к СЗОИ при их проектировании, т.е.:

$$P_{i\text{пред}} = f_i(x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{im}), \quad (13)$$

где x_{ij} – степень выполнения j -го требования к СЗИ для устранения i -го воздействия, $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$.

Пусть первые « k » требований будут количественными ($j = \overline{1, k}$) остальные « $m-k$ » – качественными ($j = \overline{k+1, m}$).

Степень выполнения j -го количественного требования определяется его близостью к требуемому (оптимальному) значению. Для оценки степени выполнения j -го количественного требования к СЗОИ удобнее всего использовать его нормированное значение $x_{ij} (j = \overline{1, k}), 0 \leq x_{ij} < 1$.

Как показано в [5], для нормирования удобно использовать функцию вида:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ji}^{\text{нх}}}{x_{ji}^{\text{нл}} - x_{ji}^{\text{нх}}}, \quad (14)$$

где x_{ij} текущее значение j -го требования; $x_{ji}^{\text{нл}}, x_{ji}^{\text{нх}}$ – наилучшее и наихудшее значения.

С учетом формулы (9) получаем следующие расчетные соотношения:

при $x_{ji}^{НП} = x_{ji \max}; x_{ji}^{НХ} = x_{ji \min}$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ji \min}}{x_{ji \max} - x_{ji \min}}, \quad (15)$$

при $x_{ji}^{НП} = x_{\sigma \max}; x_{ji}^{НХ} = x_{\sigma \min}$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij \max} - x_{ji}}{x_{ji \max} - x_{ji \min}}, \quad (16)$$

при $x_{ji}^{НП} = x_{ijopt}; x_{ji}^{НХ} = x_{\sigma \max}; x_{\sigma \min} \leq x_{\sigma opt} \leq x_{\sigma \max}$:

$$\bar{x}_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{при } x_{ji} > x_{ijmin}; x_{ji} < x_{ijmax}; \\ 1 & \text{при } x_{ji} = x_{ijopt}; \\ \frac{x_{ij} - x_{jimin}}{x_{jiopt} - x_{jimin}} & \text{при } x_{ijmin} \leq x_{ji} \leq x_{ijopt}; \\ \frac{x_{ijmax} - x_{ji}}{x_{jimax} - x_{jiopt}} & \text{при } x_{ijopt} \leq x_{ji} \leq x_{ijmax}. \end{cases} \quad (17)$$

Степень выполнения j -го качественного требования определяется функцией принадлежности к наилучшему значению $\mu(x_{ij})$

Разложив функцию (13) в ряд Макларена и ограничившись лишь первыми членами ряда, получим:

$$P_{i \text{пред}} = P_{i \text{пред}}(0) + \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_{i \text{пред}}}{\partial x_{ij}} \cdot x_{ij}, \quad (18)$$

где $P_{i \text{пред}}(0) = 0$ – вероятность предотвращения СЗОИ атаки (воздействия) при

невыполнении требований СЗОИ; $\frac{\partial P_{i \text{пред}}}{\partial x_{ij}} = \alpha_{ij}^{opt}$ – величина, характеризующая степень

влияния j -го требования на вероятность предотвращения системой защиты атаки (воздействия) (важность выполнения j -го требования для предотвращения СЗОИ

воздействия ЭМИ). Очевидно, что $0 \leq \alpha_{ij}^{opt} \leq 1$; $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij}^{opt} = 1$ для $i = 1, \bar{n}$.

После подстановки в (13) соответствующих значений получаем:

$$\bar{P}_{i \text{пред}} = \sum_{j=1}^k \alpha_{ij}^{opt} \cdot \bar{x}_{ij} + \sum_{j=k+1}^m \alpha_{ij}^{opt} \cdot \mu(x_{ij})^{opt}. \quad (19)$$

Окончательно формула (13) для оценки величины \bar{P} предотвращенного ущерба принимает вид:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \bar{\lambda}_i \cdot q_i \cdot \alpha_{ij}^{opt} \cdot \bar{x}_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=k+1}^m \bar{\lambda}_i \cdot q_i \cdot \alpha_{ij}^{opt} \cdot \mu(x_{ij})^{opt}. \quad (20)$$

Таким образом, задача синтеза СЗОИ в виде (1, 2) сводится к оптимальному обоснованию количественных и качественных требований к СЗОИ при допустимых затратах и принимает вид [4]

$$\max \bar{P}(x_{ij}; i = \bar{1}, \bar{n}; j = \bar{1}, \bar{m}) \quad (21)$$

при ограничении $C(x_{ij}) \leq C_{\text{доп}}, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$, т.е. при $\min C(x_{ij}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m})$.

В соответствии с формулировкой задачи (21) основными этапами ее решения являются:

– сбор и обработка экспертной информации о характеристиках угроз: частоте появления i -ой угрозы λ_i и ущербе $u_i (i = \overline{1, n})$;

– сбор и обработка экспертной информации для определения важности выполнения j -го требования для устранения i -ой угрозы α_{ij}^{opt} и функции принадлежности $\mu(x_{ij})^{\text{opt}}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m})$;

– оценка стоимости СЗОИ для конкретного варианта ее реализации, зависящая от степени выполнения требований $C(x_{ij}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m})$;

– разработка математической модели и алгоритма выбора рационального варианта построения СЗИ (рационального задания требований) в соответствии с постановкой (21) как задачи линейного программирования (симплекс-методом).

При отсутствии информации об угрозах для решения задачи (21) может быть использован показатель вида:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \alpha_{ij}^{\text{opt}} \cdot \bar{x}_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=k+1}^m \alpha_{ij}^{\text{opt}} \cdot \mu(x_{ij})^{\text{opt}}. \quad (22)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полежаев А.П., Василец В.И. Оптимизация объектовой системы защиты информации об изделиях двойного назначения // Специальная техника. – № 5. – М.: ОАО «ЭЛЕКТРОЗАВОД», 1996. – С. 1-5.
2. Dviljanskiy A.A., Ivanov V.A., Kuprienko V.M., Tikhomirov V.P., Popov P.V. Methods for Assessing the threshold Value of Jamming Energy of Electronic Computer Aids by an Electromagnetic Pulse // Telecommunications and Radio Engineering, 2010. – Vol. 69. – № 2.
3. Двилянский А.А., Привалов А.А., Куприенко В.М., Иванов И.В. Методика разработки средств защиты информационной системы от воздействия электромагнитного импульса // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010. – № 3. – С. 26-35.
4. Двилянский А.А. и др. Технология двойного назначения для защиты критически важных объектов информатизации от кибертеррористических атак // Проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения: материалы 7-й Научно-практической конференции, 3-4 марта 2011 г.
5. Теренин А.А. Проектирование экономически эффективной системы информационной безопасности. Защита информации. – INSIDE № 5. – С. 2-11.
6. Двилянский А.А. Методы оптимизации системы защиты объекта информатизации от воздействия электромагнитного импульса // Известия Тульского Государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». – Вып. 9. – Тула: Изд. ТулГУ, 2006. – С. 20-25.

Двилянский Алексей Аркадьевич

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, старший преподаватель

Тел.: 8 910 301 17 07

E-mail: advil@mail.ru

Иванов Владимир Алексеевич

Академия ФСО России, г. Орел

Доктор военных наук, профессор

Тел.: 8 910 205 12 81

A.A. DVILYANSKIY (*Candidate of Engineering Sciences, Senior Teacher*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

V.A. IVANOV (*Doctor of Military Sciences, Professor*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**OPTIMIZATION OF SYSTEM INFORMATION SECURITY OF THE OBJECTS
INFOCOMMUNICATION SYSTEMS FROM CYBERTERRORIST THREATS**

The possibility of optimization of technical means of information protection facilities of information systems in the application of dual-purpose technologies in conditions of influence the threat of cyberterrorism.

Keywords: *objects of infocommunication systems; the system of protection of information; the threat of cyberterrorism; electromagnetic pulse; side of electromagnetic radiation and interference.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Polezhaev A.P., Vasilecz V.I. Optimizaciya ob''ektovoj sistemy' zashhity' informacii ob izdelyiyax dvojnogo naznacheniya // *Special'naya tekhnika*. – № 5. – M.: OAO «E'LEKTROZAVOD», 1996. – S. 1-5.
2. Dviljanskiy A.A., Ivanov V.A., Kuprienko V.M., Tikhomirov V.P., Popov P.V. Methods for Assessing the threshold Value of Jamming Energy of Electronic Computer Aids by an Electromagnetic Pulse // *Telecommunications and Radio Engineering*, 2010 – Vol. 69. – № 2.
3. Dvilyanskiy A.A., Privalov A.A., Kuprienko V.M., Ivanov I.V. Metodika razrabotki sredstv zashhity' informacionnoj sistemy' ot vozdejstviya e'lektromagnitnogo impul'sa // *Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij*, 2010. – № 3. – S. 26-35.
4. Dvilyanskiy A.A. i dr. Tekhnologiya dvojnogo naznacheniya dlya zashhity' kriticheski vazhny'x ob''ektov informatizacii ot kiberterroristicheskix atak // *Problemy' razvitiya tekhnologicheskix sistem gosudarstvennoj oxrany', special'noj svyazi i special'nogo informacionnogo obespecheniya: materialy' 7-j Nauchno-prakticheskoy konferencii, 3-4 marta 2011 g.*
5. Terenin A.A. Proektirovanie e'konomicheskij e'ffektivnoj sistemy' informacionnoj bezopasnosti. Zashhita informacii. – *INSIDE* № 5. – S. 2-11.
6. Dvilyanskiy A.A. Metody' optimizacii sistemy' zashhity' ob''ekta informatizacii ot vozdejstviya e'lektromagnitnogo impul'sa // *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Tekhnologicheskaya sistemotekhnika»*. – Vy'p. 9. – Tula: Izd. TulGU, 2006. – S. 20-25.

Ю.Б. ИВАНОВ, Е.И. ЛАРКИН, А.А. СЛЫШЕВ, А.В. КУТУЗОВ

ФИЛЬТРАЦИЯ IP-ПАКЕТОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРАВИЛ

Для повышения эффективности защиты VPN-маршрутизаторов от всех видов DDoS-атак предлагается использовать динамический IP-фильтр, обрабатывающий сетевые пакеты на основе изменяющегося во времени по определенному алгоритму списка правил фильтрации.

Ключевые слова: *фильтрация пакетов; IP-фильтр; защита от DDoS-атаки VPN-маршрутизаторов.*

Основой контроля IP-потоков, проходящих через интерфейсы сетевых узлов, является IP-фильтрация, выполняющая отсеивание нежелательных IP-пакетов с помощью фильтров.

Стандартный фильтр IP-пакетов представляет собой отдельный сетевой узел с работающим на нем программным обеспечением (межсетевой экран, маршрутизатор) и сконфигурированный таким образом, чтобы фильтровать входящие и исходящие пакеты.

Правила настройки IP-фильтров могут быть разрешающими, запрещающими или иными; они реализуют управление маршрутом, ограничение скорости передачи и другие функции. Фильтрация IP-трафика осуществляется на основе служебной информации, содержащейся в заголовках передаваемых пакетов. Основным критерием фильтрации являются IP-адреса и номера портов TCP/UDP отправителя и получателя.

Использование информации, содержащейся в TCP- и IP-заголовках пакетов, на современном этапе становится все менее эффективным критерием фильтрации, потому как возможный злоумышленник при организации DDoS-атаки может создать свой заголовок, который удовлетворяет разрешающим правилам фильтрации.

Для повышения эффективности системы защиты от подобных атак в качестве критерия фильтрации кроме информации, содержащейся в TCP- и IP-заголовках пакетов, могут быть использованы данные других полей IP-пакета, например «Время жизни» (Time to Live, TTL), «Тип обслуживания» (Type of Service, ToS), «Общая длина» (Total Length) и др.

Применение для фильтрации значений времени жизни пакета (TTL) достаточно сложно реализовать, и практически оно ограничено количеством сетевых узлов на маршруте. При этом использование данных о типе обслуживания (ToS) является эффективным лишь временно, пока сегменты данного поля не будут корректно заполнены злоумышленником.

Поле «Общая длина» IP-пакета занимает два байта и означает общую длину пакета с учетом заголовка и поля данных. Максимальная длина пакета ограничена разрядностью поля, определяющего эту величину (65535 Б). При передаче по сетям различного типа длина пакета выбирается с учетом максимальной длины пакета протокола нижнего уровня, несущего IP-пакеты. Если это кадры Ethernet, то выбираются пакеты с максимальной длиной в 1500 Б, уместяющиеся в поле данных кадра Ethernet. В стандарте предусматривается, что все сетевые узлы должны быть готовы принимать пакеты длиной до 576 Б.

При организации и настройке параметров соединения значение длины IP-пакета устанавливает администратор сети. Использование этого критерия совместно с IP-адресами и номерами портов отправителя и получателя дает возможность реализовать комбинационный способ, позволяющий организовать эффективную защиту от компьютерных атак. Такой способ IP-фильтрации предполагает настройку установленных правил, на основе которых будет осуществляться фильтрация IP-пакетов.

Пример настройки защиты предлагаемым способом представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Набор правил фильтрации по заголовку и длине IP-пакета

Тип	Адрес отправителя	Адрес получателя	Порт отправителя	Порт получателя	Длина пакета	Действие
TCP	129.6.48.254	123.4.5.92	*	1024	150 Б	разрешить
*	*	*	*	*	*	запретить

Согласно данным таблицы 1, первое правило позволяет пропускать пакеты TCP от источника 129.6.48.254, имеющего любой порт отправителя, по адресу 123.4.5.92, если соединение устанавливается с портом 1024, а длина пакета составляет 150 Б.

Второе правило запрещает все остальные пакеты. Если этого правила не было бы, то устройство фильтрации могло запрещать, а могло и не запрещать другие типы пакетов.

Согласно предложенному способу, когда на один из портов поступает IP-пакет P_i , то осуществляется его анализ путем сравнения значений полей пакета со значениями, указанными в правилах фильтрации (рис. 1). Сначала проверяется информация в заголовке пакета P_i . IP-адреса отправителя и получателя должны соответствовать IP-адресам, указанным в правилах фильтрации (129.6.48.254 и 123.4.5.92), а также должно выполняться условие $N_i = N_{порт} = 1024$, т. е. значение в поле «Порт получателя» пакета P_i равно значению, указанному в правилах фильтрации. Затем принятый IP-пакет анализируется по длине пакета. Если выполняется последнее условие $L_i = L_{п}$, т. е. длина принятого пакета P_i совпадет со значением длины пакета, указанным в правилах фильтрации, то пакет пропускается. Если же правило не выполняется, то принятый IP-пакет отбрасывается.

Вероятность совпадения длины пакета злоумышленника со значением, указанным в правилах фильтрации, очень мала, так как значение этого параметра может быть любым в промежутке от 1 до 576 байт (для кадра Ethernet).

Однако при продолжительной управляемой атаке злоумышленник имеет возможность подстроиться под значение длины пакета и определить порт получателя.

Для повышения эффективности целесообразно ввести группу дополнительных правил фильтрации. К преимуществам такого IP-фильтра относится то, что он реализует две группы правил фильтрации – статическую и динамическую. В данном случае параметр общей длины пакета является функцией от времени $L_{п}(t)$ и изменяет свое значение согласно заранее определенному алгоритму управления длиной пакета.

При настройке устройства фильтрации предлагаемым способом администратор сети задает не одно строго определенное значение, а диапазон возможных значений, и в соответствии с алгоритмом управления длина пакета в правилах фильтрации может изменять свое значение в пределах заданного диапазона. Практически такую настройку IP-фильтра

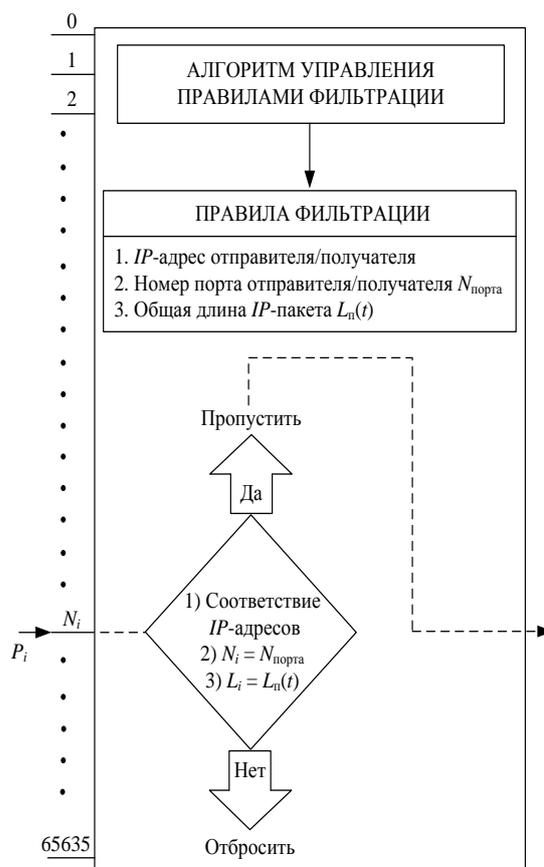


Рисунок 1 – Функциональная схема IP-фильтра

К преимуществам данного способа фильтрации относится то, что злоумышленнику потребуется значительно большее количество ресурсов и времени, чтобы организовать атаку, отвечающую всем правилам фильтрации. К тому же компьютерная атака должна быть управляемой во времени, что демаскирует местонахождение злоумышленника. Кроме того, при применении такого способа IP-фильтрации отсутствует зависимость от вида компьютерной атаки, которую может использовать злоумышленник.

Недостатком практического применения предложенного способа IP-фильтрации является необходимость синхронизации взаимодействующих фильтров IP-пакетов. Поэтому его использование возможно только при организации соединений типа «точка-точка» или виртуальных туннелей. Для упрощения процедуры синхронизации алгоритм управления длиной пакета можно реализовать таким образом, чтобы значение длины пакета изменялось по заданному алгоритму после передачи и приема определенного количества информации.

Фильтрация IP-пакетов на основе динамических правил может применяться как основа защиты маршрутизаторов в виртуальной частной сети (VPN) от различных компьютерных атак из внешней сети. На рисунке 2 представлена структура типовой виртуальной частной сети с указанием места размещения динамических фильтров IP-трафика для организации эффективной защиты сетевых узлов от DDoS-атак.

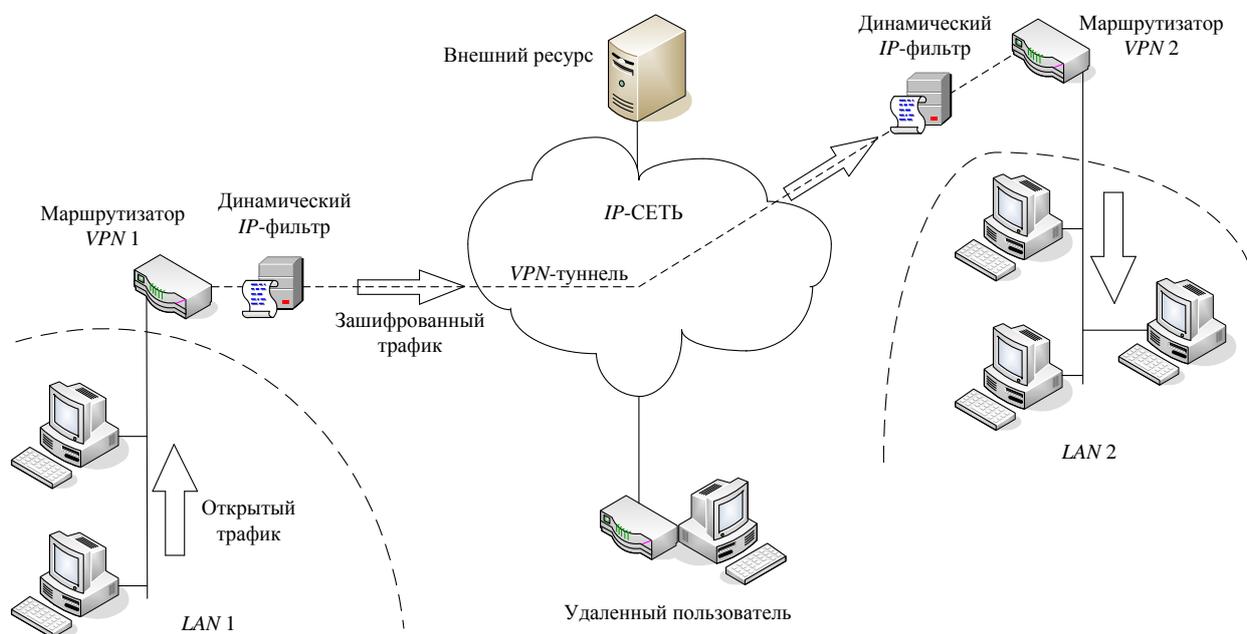


Рисунок 2 – Схема построения VPN-сети с использованием динамических IP-фильтров

В процессе настройки параметров VPN-соединения администратор сети также осуществляет настройку параметров динамических фильтров и устанавливает начальные правила фильтрации, исходя из которых фильтры будут либо пропускать, либо отбрасывать поступающие IP-пакеты. Спустя некоторый промежуток времени, согласно алгоритму управления фильтрацией, установленные администратором сети начальные правила фильтрации будут автоматически изменять свои значения.

С помощью динамических правил фильтрации в качестве изменяющегося во времени критерия можно установить не один параметр, а несколько. Например, можно использовать номера портов отправителя и получателя, так как они также устанавливаются администратором при настройке сети. Кроме того, в качестве алгоритма управления правилами фильтрации можно использовать один из стандартов шифрования (ГОСТ 28147-89, AES, IDEA и др.), что значительно уменьшает вероятность определения злоумышленником закономерности изменения критериев в правилах фильтрации.

Пример применения способа фильтрации IP-пакетов на основе динамических правил для защиты узлов сети от DDoS-атак представлен функциональной схемой на рисунке 3.

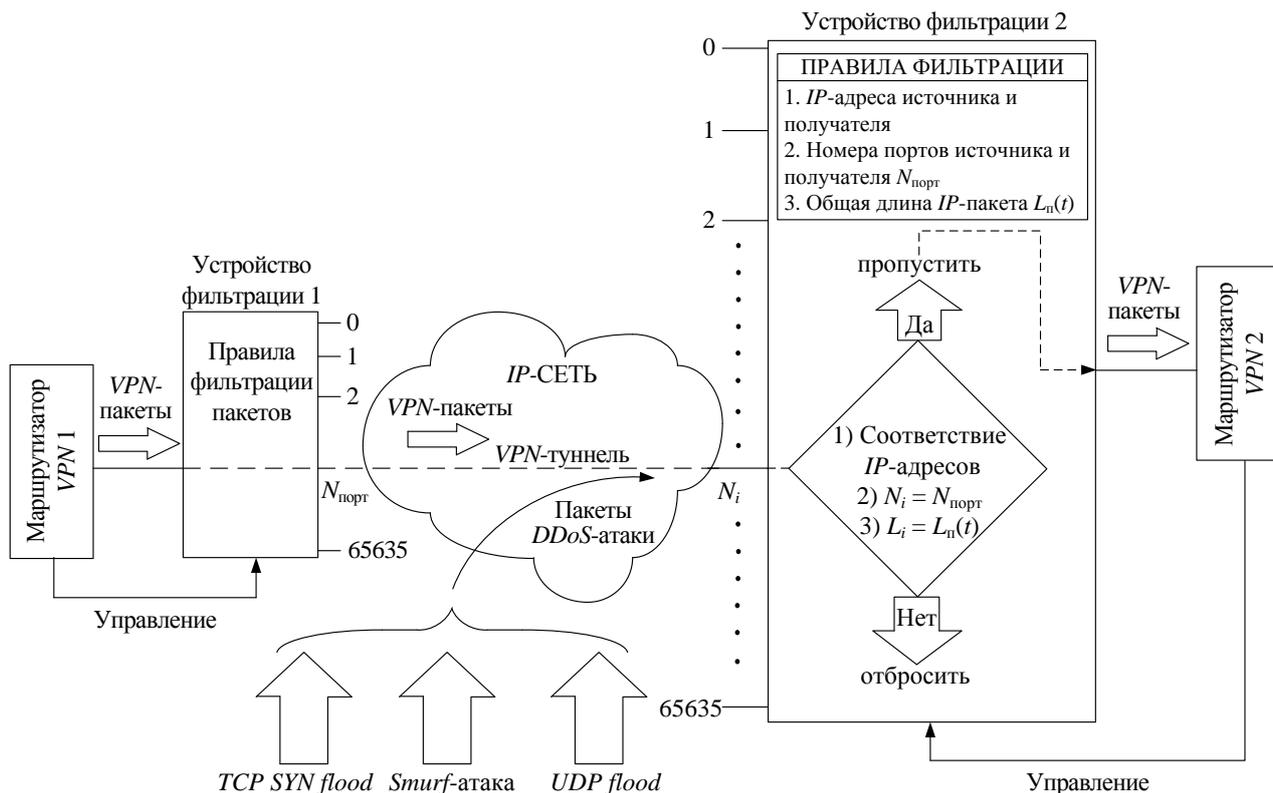


Рисунок 3 – Функциональная схема защиты от DDoS-атак динамическим IP-фильтром

В некоторый момент времени, когда параметры $N_{\text{порта}}$ и $L_{\text{п}}$ имеют фиксированные значения, на вход динамического фильтра поступает несколько IP-пакетов, один из которых является истинным, а все остальные – ложными, т. е. IP-пакетами DDoS-атаки злоумышленника. Фильтр проверяет информацию в заголовке IP-пакета, сравнивает номера портов и сверяет длину пакета с заданными в правилах значениями. Если прибывший пакет не удовлетворяет любому из критериев, то прохождение такого пакета через фильтр запрещается, и он отбрасывается. Если IP-адреса отправителя и получателя подходят под правила фильтрации: N_i равен номеру порта отправителя, N_j равен номеру порта получателя и $L_i = L_{\text{п}}$, то прибывший пакет считается истинным и проходит через фильтр дальше согласно указанному адресу. Злоумышленник имеет возможность подстроиться под начальные правила фильтрации, установленные администратором, но на это требуется определенное время, в течение которого динамические параметры фильтра уже изменяют свои значения согласно алгоритму управления.

Таким образом, использование рассмотренного способа IP-фильтрации с изменяемыми параметрами длины IP-пакета и номеров портов обеспечивает эффективную и непрерывную защиту от компьютерных DDoS-атак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мафтик С. Механизмы защиты в сетях ЭВМ: пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 216 с.
2. Столингс В. Основы защиты сетей: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 304 с.
3. Платонов В.В., Петраков В.В. Программно-аппаратные средства обеспечения информационной безопасности вычислительных сетей: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Радио и связь, 2006. – 240 с.

Иванов Юрий Борисович

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, преподаватель
Тел.: 8 (4862) 42-61-61
E-mail: zhmur@yahoo.com

Ларкин Евгений Иванович

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат военных наук, доцент
Тел.: 8 (4862) 36-53-69
E-mail: larkin22@yandex.ru

Слышев Александр Александрович

Академия ФСО России, г. Орел
Старший преподаватель
Тел.: 8 (4862) 76-14-27
E-mail: a_slyshev@mail.ru

Кутузов Александр Викторович

Академия ФСО России, г. Орел
Преподаватель
E-mail: alviku@yandex.ru

YU.B. IVANOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*)

E.I. LARKIN (*Candidate of Military Sciences, Associate Professor*)

A.A. SLYSHEV (*Senior Teacher*)

A.V. KUTUZOV (*Teacher*)

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

IP-PACKET FILTERING BASED ON DYNAMIC RULES

To increase the effectiveness of the protection VPN routers from all types of DDoS attacks is proposed to use dynamic IP filter that handles network packets based on time-varying algorithm the list of filter rules.

Keywords: *packet filtering; IP-filter; DDoS protection of VPN router.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Maftik S. Mexanizmy' zashhity' v setyax E'VM: per. s angl. – M.: Mir, 1993. – 216 s.
2. Stolings V. Osnovy' zashhity' setej: per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2002. – 304 s.
3. Platonov V.V., Petrakov V.V. Programmno-apparatny'e sredstva obespecheniya informacionnoj bezopasnosti vy'chislitel'ny'x setej: uchebnoe posobie dlya studentov vy'sshix uchebny'x zavedenij. – M.: Radio i svyaz', 2006. – 240 s.

УДК 004.932

Д.О. МАРКИН, В.В. КОМАШИНСКИЙ

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД КОНТЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРОТИВОПРАВНЫМ ЭРОТИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ

Рассмотрены существующие работы в области методов и способов анализа и фильтрации эротических и порнографических изображений (ПИ). Предложен способ, повышающий возможности фильтрации ПИ, основанный на комбинации существующих алгоритмов.

Ключевые слова: контент-анализ изображений; распознавание изображений; контентный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно растущий уровень развития современных информационных технологий создает новые угрозы в сфере противоправных действий в информационной среде. В настоящее время свободный доступ в сеть Интернет существует практически во всех образовательных учреждениях, на рабочих местах в коммерческих и государственных организациях, не говоря уже о домашнем Интернете. В связи с этим всевозрастающую роль начинает играть противодействие распространению противоправной информации в сети Интернет – как текстовой, так и мультимедийной. Известно, что в web-потоке могут содержаться не только вредоносные данные, но и информация, ни прямо, ни косвенно не относящаяся как к образовательным, так и к служебным задачам. Более того, подобная информация может быть запрещена законодательством РФ (пропаганда терроризма и насилия, порнография, информация, разжигающая межнациональную рознь и т.д.). В данной статье, рассматриваются вопросы обнаружения и фильтрации контента, содержащего материалы эротического и порнографического содержания.

Вопросами фильтрации ПИ в Интернете заинтересовались уже давно, практически с первых дней появления подобного незаконного контента. Однако несмотря на это, по-прежнему основными подходами к обнаружению ПИ считаются фильтрация по черным спискам и анализ текстового описания (сопровождающий текст, ключевые слова). И очень незначительная доля средств фильтрации использует контент-анализ изображений. Последний метод в связи с необходимостью обработки большого количества данных многократно уступает по производительности остальным методам. Однако если не брать в расчет время обработки данных, методы контент-фильтрации решают эту задачу значительно эффективнее, поскольку применимы к любым изображениям, в том числе, неизвестным, и не зависят от списков и сопровождающего текста.

Этому вопросу уделяется достаточно серьезное внимание на государственном уровне. В законе «О средствах массовой информации» [1], к которым относятся и многие ресурсы сети Интернет, четко указано на недопустимость распространения материалов, пропагандирующих порнографию, а также усиление помощи в воспитании детей путем активного противодействия распространению и рекламы материалов с порнографическим содержанием [2]. Рядом международных актов регламентирована целенаправленная деятельность в борьбе с детской порнографией в интернете [3-6]. В федеральном законе «Об основных гарантиях прав ребенка в Российской Федерации» [7] закреплена обязанность органов государственной власти РФ принимать меры по защите ребенка от информации порнографического характера.

Для борьбы с порнографическим контентом уже создано достаточно большое количество программных средств, но, тем не менее, далеко не все задачи еще решены.

В сети Интернет уже появились онлайн-сервисы, предоставляющие услуги по фильтрации ПИ, такие, как платформа машинного зрения YATAGAN Server, позволяющая

[08] решать множество прикладные задачи интеллектуального анализа изображений и распознавания объектов и порно-фильтр «Rise Guard» [9].

Кроме того, поисковая система «Яндекс» внедрила систему piFilter [10] для фильтрации порнографических изображений. PiFilter создана на основе технологий локализации объектов и распознавания образов, разработанных компанией WeSEE Ltd для собственной глобальной поисковой системы Picollator. Оценка контента производится без ручного вмешательства и исключительно на основе анализа содержания изображений, а не текстовых описаний к ним.

Весной 2011 года МВД заказало [11] за 7,7 миллионов рублей у Российской компании «ССТ-Технология хаоса» так называемый порно-поисковик, основным полем деятельности которого будут жесткие диски компьютеров.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОНТЕНТНОЙ ФИЛЬТАЦИИ ПИ

Механизмы и способы фильтрации изображений на предмет выявления материалов порнографического характера более подробно применяют два подхода: обнаружение: по черному списку и сопровождающему тексту и обнаружение на основе контентного анализа. Существующие на рынке программные средства фильтрации ПИ (Web Filter, Cyber Sister, Net Nanny, K9 Web Protection, Kaspersky Internet Security) осуществляют фильтрацию по первому подходу, они не могут эффективно бороться с неизвестными источниками ПИ. Обнаружение ПИ на основе контентного анализа позволяет перекрыть названный пробел. Оно заключается в выявлении на изображении данных, связанных с человеком, таких, как лица, туловища, конечностей, кожи, нижнего белья и др. Обработав эти данные, можно делать вывод о наличии или отсутствии порнографического содержания на изображении.

Для классификации изображений разные исследователи используют разные комбинации признаков изображения и разные методы обработки эти признаки.

Wang и другие [12] применяли комбинацию из вейвлетов Добеши, нормализованных центральных моментов и гистограмм цветов как характеристический вектор и противопоставляли его небольшому количеству характеристик, полученных от обучающей базы данных. По заявлению исследователей полученная ими система WIPE™ (Wavelet Image Pornography Elimination) в среднем обрабатывает каждое изображение меньше, чем за 10 секунд. При разных конфигурациях система дает разные значения ошибок первого и второго рода (табл. 1).

Таблица 1 – Эффективность системы WIPE

Конфигурация	Тип изображений (всего)	Принято за порнографические	Принято за нормальные
А	Порнографические (437)	426 (97,5%)	11 (2,5%)
	Нормальные (10809)	1993 (18,4%)	8816 (81,6%)
В	Порнографические (437)	416 (95,2%)	21 (4,8%)
	Нормальные (10809)	1155 (10,7%)	9654 (89,3%)

Chan и другие [13] использовали три простые характеристики: отношение площади кожи к площади всего изображения, отношение площади самого большого сегмента кожи к площади всего изображения и общее количество сегментов на изображении.

В системе фильтрации изображений Image Guarder, разработанной Zeng [14], используется комбинация кожных характеристик, характеристик текстур и характеристик формы. Среднее время обработки одного изображения в Image Guarder меньше 1 секунды. При этом обеспечивает вероятность обнаружения взрослых изображений 0,765 (вероятность пропуска соответственно равна 0,235) и вероятность правильного опознания нормальных изображений 0,95 (вероятность ложного срабатывания соответственно равна 0,05).

Forsyth и другие разработали алгоритм, включающий фильтр кожи и группировщик человеческих фигур для обнаружения нагих людей в изображении [15].

В своей работе [16] Zheng и другие предложили гибридный подход к детектированию взрослых web-изображений, при котором используются 5 характеристик. И все эти характеристики связаны с лицом: число лиц на изображении, площадь областей лиц, положение лица на изображении, отношение площади кожи по всему изображению к площади лиц и отношение площади самого большого сегмента кожи к площади лиц. При этом в качестве аппарата классификации исследователи используют дерево принятия решения, в итоге получается вполне впечатляющий результат (табл. 2).

Таблица 2 – Эффективность системы детектирования (Зенг и др.)

Тип изображений	Кол-во	Детектированные как взрослые		Детектированные как нормальные	
		Кол-во	%	Кол-во	%
Взрослые	451	412	91,35	39	8,65
Нормальные присутствуют люди	1119	99	8,47	1020	91,53
Нормальные отсутствуют люди	626	36	5,75	590	94,25

Лианг (Liang) и другие [17] для обнаружения порнографических изображений используют 13 характеристик (табл. 3).

Таблица 3 – Тринадцать характеристик изображения (Лианг и др.)

№	Характеристика	Значение
1	Процент кожи	Процент кожных пикселей на изображении
2	Процент кожных цветов	Содержимая доля кожных пикселей
3	Количество кожных областей	Количество кожных области на изображении
4	Количество конечностей	Количество конечностей на изображении
5	Высота областей	Отношение высоты самой большой кожной области к высоте изображения
6	Ширина областей	Отношение ширины самой большой кожной области к ширине изображения
7-13	Моменты H_u	7 моментов H_u (1-7), вычисленных для самой большой кожной области.

В этом случае исследователи построили свой классификатор на основе многослойного перцептрона (MLP – Multilayer Perceptron). В точке оптимума данная система имеет вероятность пропуска 0,15 и вероятность ложного срабатывания 0,195.

Анализ существующих работ по обнаружению ПИ на основе контентного анализа показал, что связанные с лицом высокоуровневые характеристики, используемые в работе [16], оказываются очень эффективными для обнаружения ПИ. Метод построения модели цвета кожи, основанный на кожной области лица, позволяет окончательно решить проблему разноцветности кожи для разных человеческих рас. При этом дерево принятия решений легко обучается и обладает высокой скоростью при обнаружении. Однако данный подход имеет также существенный недостаток. Он заключается в том, что присутствие лица на изображении является обязательным.

Среди универсальных, т.е. не требующих наличия лица на изображении, методов обнаружения ПИ интерес представляет работа Лианга [17], в которой применяется статистическая модель цвета кожи и используются характеристики, связанные с областями кожи и их формой (табл. 3). При этом позволяет обнаружить 85% ПИ и 80,5% непорнографических изображений (НПИ). Предложенный в работе [12] метод хотя дает

более высокую точность обнаружения ПИ, но время обработки 10с слишком велико для системы реального времени.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД

С целью наследовать преимущества подхода [16], а также дополнить его для устранения недостатка, предлагается комбинированный подход (рис. 1).

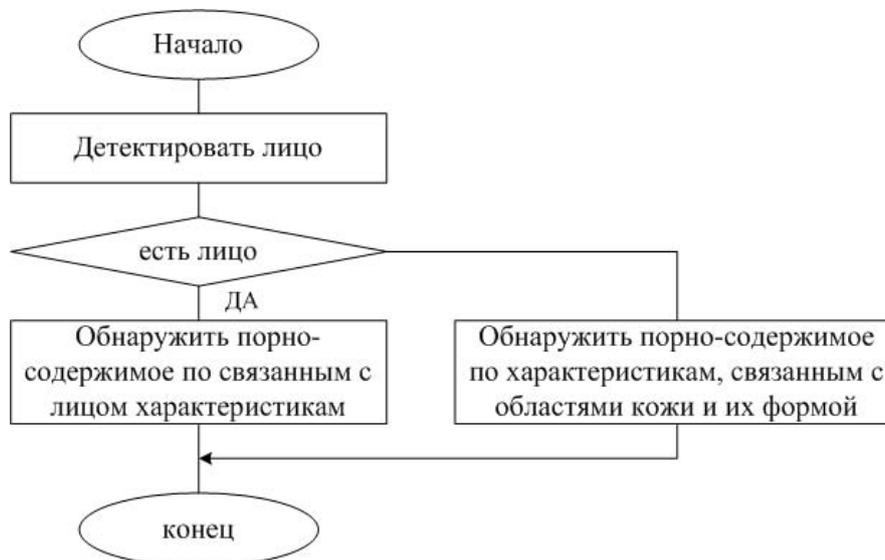


Рисунок 1 – Комбинированный подход к обнаружению ПИ

Первым шагом в этом случае является детектирование лиц. Если на изображении присутствует одно или несколько лиц, то обнаружение будет осуществляться по характеристикам, связанным с лицом; причем первая характеристика (F1 – количество лиц) автоматически вычислена.

Существуют различные подходы и алгоритмы детектирования лица, среди которых в настоящее время наибольшую популярность получает алгоритм Виола-Джонс [18], который позволяет детектировать лицо в реальном масштабе времени.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОРНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СВЯЗАННЫМ С ЛИЦОМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦВЕТА КОЖИ

После того, как лицо было обнаружено, необходимо построить по каждой области лица модель цвета кожи. Полученная этим путем модель позволяет с высокой точностью обнаружить остальные кожные области на изображении.

В качестве цветового пространства выбирается пространство YCbCr; чтобы представлять распределение каждого компонента цвета (Y, Cb, Cr), используется нормальное распределение $N(\mu, \sigma)$. Значения цветов пикселей в области лица представляется как ансамбль выборок:

$$\Omega = \{\{y_1, cb_1, cr_1\}, \{y_2, cb_2, cr_2\}, \dots, \{y_K, cb_K, cr_K\}\}. \quad (1)$$

Затем вычисляют математическое ожидание и дисперсию каждого нормального распределения. Для распределения компонента Y

$$\mu_y = \frac{1}{K} \sum y_j; \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{K-1} \sum (y_j - \mu_y)^2, \quad (2)$$

где K – количество элементов в Ω , т.е. количество пикселей в областях лица.

Распределение компонентов Cb и Cr могут быть вычислены аналогичным образом. Вне областей лица пиксели классифицируются как пиксели кожи, если они удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{cases} \|y - \mu_y\| \leq a_y \sigma_y \\ \|cb - \mu_{cb}\| \leq a_{cb} \sigma_{cb}, \\ \|cr - \mu_{cr}\| \leq a_{cr} \sigma_{cr} \end{cases} \quad (3)$$

где y , cb , cr – значения компонентов цвета данного пикселя, a_y , a_{cb} , a_{cr} – значения порогов, метод определения которых описывается ниже.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КОЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Если значения порогов a_y , a_{cb} , a_{cr} фиксированы, то они не позволяют различать области кожи от областей, имеющих цвет, аналогичный цвету кожи [16]. В связи с этим предпринимается поход динамического определения порогов путем анализа свойств текстуры области кожи лица. Кожная область обычно однородная и имеет гладкую текстуру. Текстурные характеристики могут быть использованы для поиска оптимального порога. Однородность области кожи определяется следующим образом:

$$\begin{cases} \sigma_{region}^y < 0,5 \mu_{region}^y \\ \sigma_{region}^{cb} < 0,4 \mu_{region}^{cb}, \\ \sigma_{region}^{cr} < 0,4 \mu_{region}^{cr} \end{cases} \quad (4)$$

где σ_{region}^y и μ_{region}^y – среднее квадратическое отклонение и математическое ожидание компонента Y в области. σ_{region}^y , μ_{region}^y , σ_{region}^{cb} , μ_{region}^{cb} имеют аналогичный смысл.

В первую очередь, каждый пиксель изображения классифицируется, используя формулу (3) с начальными пороговыми значениями $a_y=2,5$, $a_{cb}=a_{cr}=2,0$. После этого грубого детектирования можно получить некоторые области кожи. Для каждой достаточно большой области проверяем ее однородность. Если она однородна, то принимаем ее за область кожи. А если нет, уменьшаем значения порогов путем умножения на 0,9 и осуществляем детектирование кожи с новыми пороговыми значениями в данной области. Этот процесс будет продолжаться, пока все области не станут однородными.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

После того как были выявлены на изображении области кожи, из них необходимо вычислить характеристики изображения и принять по ним решение о том, является ли данное изображение порнографическим. Используемыми характеристиками являются следующие:

F1 – число лиц на изображении. Порнографические изображения обычно содержат небольшое количество лиц.

F2 – площадь областей лиц. Изображения, на которых области лиц занимают слишком большую площадь, могут являться полнолицевыми портретами.

$$F2 = \frac{\text{количество пикселей в областях лиц}}{\text{общее количество пикселей изображения}}$$

F3 – положение лица на изображении. Изображения, которые содержат лицо в центре, как правило, являются нормальными.

$$F3 = \frac{\text{расстояние(центр}_{\text{лица}}, \text{центр}_{\text{изображения}})}{\min(\text{ширина изображения}, \text{длина изображения})}$$

F4 – отношение площади кожи по всему изображению к площади лиц.

$$F4 = \frac{\text{количество пикселей по всему изображению}}{\text{количество пикселей в областях лиц}}$$

F5 – отношение площади самого большого сегмента кожи к площади лиц. Чем больше значения F4 и F5, тем больше вероятность того, что изображение является порнографическим.

$$F5 = \frac{\text{количество пикселей в самом большом сегменте кожи}}{\text{количество пикселей в областях лиц}}$$

Дерево принятия решений для определения наличия порнографического содержания на изображении представлено на рисунке 2.

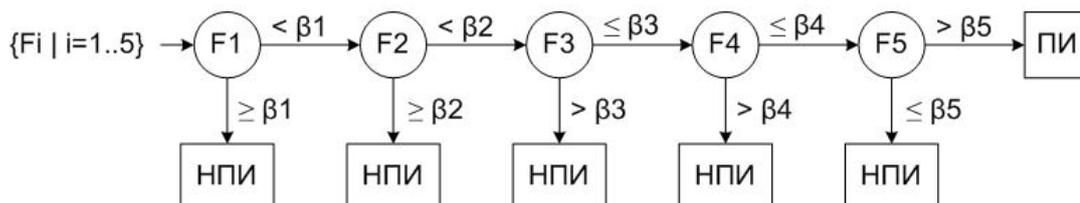


Рисунок 2 – Принятие решения о наличии порнографического содержания

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОРНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ, СВЯЗАННЫМ С ОБЛАСТЯМИ КОЖИ И ИХ ФОРМОЙ. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦВЕТА КОЖИ

Если не обнаружено ни одного лица на изображении, то для детектирования областей кожи необходимо построить статистическую модель цвета кожи. Для этого на обучающих изображениях вручную необходимо выделить области кожи, из которых получаем ансамбль выборок, аналогичный формуле (1)

$$\psi = \{(r_1, g_1, b_1), (r_2, g_2, b_2), \dots, (r_N, g_N, b_N)\}. \quad (5)$$

Однако в этом случае кожные пиксели собираются от разных людей, поэтому их значения покрывают больший диапазон, чем в случае, когда кожные пиксели собирают от одного лица. В силу сказанного модель (2) здесь не пригодна, вместо нее используем карту распределения кожных пикселей (КРКП). Для удобства представления КРКП в качестве цветового пространства выбираем пространство RGB. Тогда КРКП представляет собой трехмерную матрицу C размером $256 \times 256 \times 256$, каждый элемент которой содержит значение вероятности того, что соответствующий ему пиксель встречается на обучающих изображениях как кожный пиксель.

$$C(r, g, b) = \frac{N_{rgb}}{N}, \quad (6)$$

где N – количество элементов в Ψ , т.е. суммарное количество кожных пикселей на обучающих изображениях; N_{rgb} – частота появления пикселя (r,g,b) в Ψ .

В случае отсутствия лица точная модель цвета кожи может быть построена только из кожных пикселей в области лица (до нескольких тысяч пикселей). В этом случае, чтобы получить хорошую модель, количество пикселей N должно быть намного больше – до нескольких миллиардов.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КОЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Кожные области на изображении детектируются следующим образом:

1. Пиксели изображения помечаются как кожные, если их RGB-значения в КРКП больше некоторого порога ϵ_0 .

2. Определяется текстура пикселей, чтобы исключить те пиксели, которые обладают цветом кожи, но имеют высокие текстурные амплитуды (кожные области обычно гладкие, и поэтому имеют маленькие текстурные амплитуды). Чтобы достигнуть лучшего соотношения точности – вычислительного времени, применяется матрица смежности [19].

3. Вероятные кожные пиксели, полученные после применения определителя текстуры, расширяются для включения соседних пикселей с близкими цветовыми и текстурными свойствами. Этот шаг позволяет включить в кожные области:

- пиксели с кожным цветом, которые игнорируются определителем текстуры из-за их близости к контурам на изображении;
- пиксели из кожных областей, которые были отброшены, потому что их цвет отличается от цвета кожи из-за плохого качества изображения.

4. Кожные области сегментируются, используя адаптивное детектирование границ Canny и помечая лежащие на границах пиксели как некожные. Данный шаг гарантирует разделимость соседних областей, например, рука и корпус при формировании кожных областей.

5. Формируются кожные области путем группировки связанных кожных пикселей. Маленькие кожные области отбрасываются.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Если на изображении были обнаружены кожные области, то из них извлекаются 13 характеристик, которые представляются в таблице 3. Если ни одна кожная область не была обнаружена, то изображение принимается за НПИ.

P1 – процент кожных пикселей на изображении, считанный после того, как сформированы кожные области.

P2 – отношение количества разных кожных пикселей к количеству кожных пикселей в КРКП. Полагается, что изображения, содержащие большое количество человеческой кожи, включали бы больше количество кожных цветов (оттенков) по сравнению с изображениями с малым количеством кожи или без нее.

P3 – количество кожных областей на изображении. Изображение с большим количеством кожных областей скорее является НПИ.

P4 – количество конечностей на изображении (фильтр геометрии тела Forsyth и Fleck, указывающий на присутствие человеческих тел на изображении). Для определения количества конечностей к кожным областям применяется быстрый алгоритм утоньшения для получения их скелетов. Потом считывается количество вероятных конечностей, определяемых как длинных прямых частей от скелета, имеющих отношения по длине и расстоянию как у человеческих конечностей.

P5-P13 относятся к размеру и форме самой большой кожной области. Если на изображении есть обнаженный человек, то предполагается, что ему соответствует эта самая большая кожная область. P5 и P6 – это отношения самой большой кожной области к всему изображению по ширине и высоте. Чем больше эти значения, тем больше вероятности того, что изображение является порнографическим. P7-P13 относятся к форме самой большой кожной области, представляемые семью инвариантными моментами H_u , вычисляемыми по ее контуру.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

Для того, чтобы определить, является ли заданное изображение порнографическим, в качестве классификатора используем многослойный персептрон (МЛП). Было выявлено, что оптимальными параметрами МЛП для классификации изображений по характеристикам являются 1 скрытый слой и 10 нейронов в скрытом слое [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен комбинированный метод обнаружения ПИ на основе контентного анализа, сочетающий достоинства существующих работ с некоторой модификацией. С

учетом возможности современных компьютеров для повышения качества обнаружения кожных пикселей выбирается КРКП размером $256 \times 256 \times 256$, а не $64 \times 64 \times 64$. В случае наличия на изображении двух или более лиц предполагается, что если одно лицо намного больше другого, то изображение скорее является непорнографическим. Предполагаемая характеристика (максимальное отношение лиц) позволяет уменьшить вероятность ложного положительного детектирования ПИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Российской Федерации от 27 декабря 1991 года № 2124-1 «О средствах массовой информации».
2. Указ Президента Российской Федерации от 14.05.1996 № 712 «Об основных направлениях государственной семейной политики».
3. Постановление Правительства РФ от 25 сентября 2002 г. № 703 «О заключении Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки о сотрудничестве в осуществлении правоохранительной деятельности и контроля за наркотиками».
4. Распоряжение Правительства РФ от 15 февраля 2011 г. № 218-р «О подписании Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Чешской Республики о сотрудничестве в области борьбы с преступностью».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.01.2001 № 17 «О подписании Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Бельгия о сотрудничестве в борьбе с преступностью».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.07.2003 № 455 «О подписании Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Итальянской Республики о сотрудничестве в борьбе с преступностью».
7. Федеральный закон от 24.07.1998 № 124-ФЗ «Об основных гарантиях прав ребенка в Российской Федерации».
8. Rise Vision. Распознавание людей и объектов [Электронный ресурс]. – URL: <http://rise-vision.org>.
9. Порно фильтр «Rise Guard» [Электронный ресурс]. – URL: <http://rise-vision.org/Pages/About.aspx>.
10. PiFilter – детектор порнографических изображений для социальных сетей, фотосайтов, интернет-провайдеров [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pifilter.com>.
11. МВД заведет порно-ищейку [Электронный ресурс]. – URL: http://www.newsinfo.ru/articles/2011-04-18/mvd_porno/751786/.
12. Wang J., Wiederhold G., Firshein O. System for screening objectionable images using Daubechies' wavelets and colour histograms. IDMS'97. Volume 1309, Spring-Verlag LNCS, 1997. – P. 20-30.
13. Chan Y., Harvey R., Smith D. Building systems to block pornography. In Eakins, J., Harper, D., eds.: Challenge of Image Retrieval, BCS Electronic Workshops in Computing series, 1999. – P. 34-40.
14. Zeng W., Gao W., Zhang T., Liu Y. Image Guarder: An Intelligent Detector for Adult Images. Asian Conference on Computer Vision. ACCV2004, Jeju Island, Korea, Jan.27-30, 2004. – P. 198-203.
15. Fleck M.M., Forsyth D.A., Bregler C. Finding naked people. ECCV. Volume II Spring-Verlag, 1996. –P. 593-602.
16. Zheng Q.F., Zhang M.J., Wang W.Q. A Hybrid Approach to Detect Adult Web Images.
17. Liang K.M, Scott S.D., Waqas M. Detecting pornographic images.
18. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.facedetection.com/facedetection/techniques.htm/>.
19. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.

Маркин Дмитрий Олегович
Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник

E-mail: admin@nikitka.net

Комашинский Владимир Владимирович
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук

D.O. MARKIN (*Employee*)

V.V. KOMASHINSKIY (*Doctor of Engineering Sciences*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**COMBINED METHOD CONTENT ANALYSIS DETECTION OF IMAGES
WITH UNLAWFUL SEXUAL CONTENT**

Existing works in the area of methods and ways of erotic and pornographic images filtration and analysis is considered. The way increasing opportunities of erotic images filtration and based on combination of existing algorithms is suggested.

Keywords: *image content analysis; image identification; content analysis.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zakon Rossijskoj Federacii ot 27 dekabrya 1991 goda № 2124-I «O sredstvax massovoj informacii».
2. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 14.05.1996 № 712 «Ob osnovny'x napravleniyax gosudarstvennoj semejnoj politiki».
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25 sentyabrya 2002 g. № 703 «O zaklyuchenii Soglasheniya mezhdru Pravitel'stvom Rossijskoj Federacii i Pravitel'stvom Soedinyonny'x Shtatov Ameriki o sotrudnichestve v osushhestvlenii pravooxranitel'noj deyatel'nosti i kontrolya za narkotikami».
4. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 15 fevralya 2011 g. № 218-p «O podpisanii Soglasheniya mezhdru Pravitel'stvom Rossijskoj Federacii i Pravitel'stvom Cheshskoj Respubliki o sotrudnichestve v oblasti bor'by' s prestupnost'yu».
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 09.01.2001 № 17 «O podpisanii Soglasheniya mezhdru Pravitel'stvom Rossijskoj Federacii i Pravitel'stvom Korolevstva Bel'giya o sotrudnichestve v bor'be s prestupnost'yu».
6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 31.07.2003 № 455 «O podpisanii Soglasheniya mezhdru Pravitel'stvom Rossijskoj Federacii i Pravitel'stvom Ital'yanskoj Respubliki o sotrudnichestve v bor'be s prestupnost'yu».
7. Federal'ny'j zakon ot 24.07.1998 № 124-FZ «Ob osnovny'x garantiyax prav rebyonka v Rossijskoj Federacii».
8. Rise Vision. Raspoznavanie lyudej i ob'ektov [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://rise-vision.org>.
9. Porno fil'tr «Rise Guard» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://rise-vision.org/Pages/About.aspx>.
10. PiFilter – detektor pornograficheskix izobrazhenij dlya social'ny'x setej, fotosajtov, internet-provajderov [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.pifilter.com>.
11. MVD zavedyot porno-ishhejku [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://www.newsinfo.ru/articles/2011-04-18/mvd_porno/751786/.
12. Wang J., Wiederhold G., Firshein O. System for screening objectionable images using Daubechies' wavelets and colour histograms. IDMS'97. Volume 1309, Spring-Verlag LNCS, 1997. – P. 20-30.
13. Chan Y., Harvey R., Smith D. Building systems to block pornography. In Eakins, J., Harper, D., eds.: Challenge of Image Retrieval, BCS Electronic Workshops in Computing series, 1999. – P. 34-40.
14. Zeng W., Gao W., Zhang T., Liu Y. Image Guarder: An Intelligent Detector for Adult Images. Asian Conference on Computer Vision. ACCV2004, Jeju Island, Korea, Jan.27-30, 2004. – P. 198-203.
15. Fleck M.M., Forsyth D.A., Bregler C. Finding naked people. ECCV. Volume II Spring-Verlag, 1996. –P. 593-602.
16. Zheng Q.F., Zhang M.J., Wang W.Q. A Hybrid Approach to Detect Adult Web Images.
17. Liang K.M, Scott S.D., Waqas M. Detecting pornographic images.
18. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.facedetection.com/facedetection/techniques.html/>.
19. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЕКТОРА ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В МАЛОМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Предлагается модель оценки вероятности реализации угроз компьютерной системе на основе анализа параметров трафика после отображения их в маломерное пространство.

Ключевые слова: информационная безопасность; оценка рисков; кластеризация.

ВВЕДЕНИЕ

Международные и российские стандарты в области оценки и управления рисками допускают как качественную, так и количественную оценку риска. Анализ существующих методик показывает, что в настоящее время распространены только методы качественного анализа риска. Очевидно, что более привлекательно выглядят методики и программные продукты, использующие количественные показатели. Здесь основную трудность при проведении анализа рисков информационной безопасности составляет оценка вероятностей реализации угроз. Такая оценка может производиться путем сопоставления текущего состояния КС, описываемого набором параметров, эталонному с расчетом вероятности реализации угроз в текущий момент.

Решение этой задачи в отношении риска будет качественным скачком в сравнении с существующими методиками. Одним из таких широко распространенных случаев являются атаки на КС в процессе взаимодействия с внешними сетями, которым посвящена данная работа. Задачей является построение классификатора, относящего любой входной вектор к одному из нечетких множеств, имеющих в базе данных. Входными данными классификатора является вектор показателей сетевого трафика на границе корпоративной сети, выходными данными является индекс нечеткого множества, к которому можно отнести трафик. Таким образом, классификатор на базе внутренней структуры нечетких множеств, хранящейся в обучающей базе, говорит: «входной объект X с вероятностью p относится к классу $W(i)$ ».

Наш подход основан на предположении, что среди всех возможных показателей и метрик векторов, описывающих состояние сетевого трафика, найдется хотя бы одна, которая разделяет образы, принадлежащие разным классам. После этого метод диффузных карт позволит выявить взаимосвязи между классами по существенным признакам и отбросить влияние несущественных признаков. Для этой цели в работе вводится понятие «диффузного расстояния» между состояниями сетевого трафика, представленными в виде векторов; из них далее строится диффузная карта.

В данной статье мы предложим новый подход математического представления состояний сетевого трафика, заданного вектором показателей, проецирующим индикаторы состояний в маломерное математическое пространство так, что близкие состояния будут сгруппированы плотно друг к другу относительно стандартной евклидовой метрики L_2 . Данный подход ранее применялся в сфере распознавания изображений, когда ставилась задача воссоздать трехмерный образ, заданный набором двухмерных проекций [1]. В контексте нашей тематики данный подход применяется впервые.

Каждая координата вектора количественно характеризует состояние сетевого трафика в том или ином аспекте. В результате состояния трафика характеризуются определенным набором признаков $X_n, n = 1, 2, 3, \dots$.

Проблема такого представления заключается в том, что каждый параметр, входящий в состав числовых характеристик состояний, характеризуется своей шкалой, которые несравнимы между собой. Например, параметры могут быть представлены в различных единицах, несравнимых между собой.

Для решения этой проблемы вводится понятие «взаимного расстояния» между представлениями состояния сетевого трафика, в результате чего каждый образ представлен не величинами по каждой категории, а вектором отношений с остальными образами из обучающей выборки. В результате мы получаем многомерное представление каждого показателя в виде вектора с равноценными координатами, измеряемыми в одной шкале. Иными словами, вместо значения показателя $x(i)$ получаем k -мерный вектор

$$\psi = (s(x, x_1), s(x, x_2), \dots, s(x, x_k)),$$

где k – число элементов в обучающей выборке, x_1, \dots, x_k – все образы из обучающей выборки.

Следующая задача сводится к определению меры близости s между признаками, представленными значениями в различных шкалах. Сама мера близости должна быть представлена в количественном отношении, свободном от всякой шкалы. Приведем алгоритм построения этой меры близости.

ЭТАП 1

ПОСТРОЕНИЕ ВЗАИМНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ КАЖДОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

Пусть $z_1 = \{X\}_1, \dots, z_k = \{X\}_k$ – представления состояний сетевого трафика. По каждому показателю строится матрица размерности $k \times k$ взаимных расстояний:

$$\psi_{ij} = s(x_i, x_j),$$

где $s(x_i, x_j)$ – мера близости между показателями, зависящая от контекста шкалы измерений, где $1 \leq i, j \leq k$, k – размер обучающей выборки. В качестве меры близости возьмем L_2 – норму, то есть

$$s(x_i, x_j) = \|x_i^2 - x_j^2\|.$$

ЭТАП 2

ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ КОНТЕКСТА ШКАЛЫ

Строится сингулярное разложение матрицы (ψ_{ij}) ,

$$\psi = s_1 U_1 V_1^T + s_2 U_2 V_2^T + \dots + s_r U_r V_r^T,$$

где s_i – спектр матрицы, а U_i – сингулярные вектора матрицы, которые все по норме равны 1.

В результате такого разложения имеем:

- каждый текущий показатель для образа I представлен строкой с номером I матрицы ψ , содержащей k строк и k столбцов, где k – число состояний, представленных в обучающей выборке;
- каждая I -я строка матрицы ψ представлена координатами с номером I сингулярных векторов;
- главное сингулярное число s_1 матрицы ψ ответственно за единицы измерения, а потому содержит информацию о шкале измерений;
- распределение величин вектора V_1 является показателем значимости каждого из сингулярных векторов $U_1 - U_n$;
- все вектора $U_1 - U_n$ нормированы и взаимно ортогональны.

ЭТАП 3

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ И ОТБОР СУЩЕСТВЕННЫХ КООРДИНАТ

Таким образом, каждый показатель каждого образа представлен вектором

$$U_1(i), U_2(i), \dots, U_k(i),$$

где i – номер образа, а k – число образов в базе.

Как было сказано, каждый из векторов U_k является абсолютной оценкой взаимной близости образа i по отношению к остальным образам базы относительно какого-то одного показателя. При этом значимость оценки U_k определяется величиной соответствующей координаты вектора V_1 . Поэтому мы можем выбрать только те m координат, которые являются наиболее существенными, то есть их значимость больше заранее заданного порога,

который подбирается экспериментально. Как правило, статистическая структура данных такова, что m находится в интервале 3-5 [2].

ЭТАП 4

СОВОКУПНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТА В ВИДЕ МНОГОМЕРНОГО ВЕКТОРА С РАВНОСИЛЬНЫМИ КООРДИНАТНЫМИ ШКАЛАМИ

На предыдущем этапе мы получили представление каждого показателя образа в виде вектора, состоящего из 3 координат. Строка каждого такого вектора является мерой близости образа к остальным образам, имеющимся в обучающей выборке. Причем близость измеряется в аспекте того или иного показателя. Теперь, чтобы получить совокупное представление образа по всем показателям, мы должны инициализировать такой вектор:

$$Z = (Z_{1,1}, Z_{1,2}, Z_{1,3}, Z_{2,1}, Z_{2,2}, Z_{2,3}, \dots, Z_{k,1}, Z_{k,2}, Z_{k,3}),$$

где каждая тройка координат соответствует каждому показателю, размер которого равен $3k$, k – число образов в обучающей выборке.

Следующая задача – выяснить закономерности в представлении данных, которые разделяют стационарные и аномальные состояния. При решении этой проблемы мы будем опираться на метод «диффузных карт», описанный в [2]. Суть метода заключается в том, что многомерные данные проецируются в математическое многообразие малой размерности с сохранением взаимных отношений между данными. При этом топология многообразия моделирует различие между проекциями. То есть вариация данных описывается многообразием, выстраиваемым диффузной картой. При моделировании используется подход диффузных процессов на графах. Опишем диффузный процесс, который выявит скрытые закономерности, существующие между характеристиками, разделяющие классы. Модель, которую мы предлагаем, основывается на случайном блуждании по графу.

Дано множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ объектов в многомерном пространстве M , $M = (X, \|\cdot\|)$ задает метрику в этом пространстве. В контексте нашего алгоритма это k векторов, имеющих размерность $3k$, представляющих состояния сетевого трафика вне контекста от единиц измерения первоначальных показателей.

Техника диффузных карт используется для анализа данных M путем изучения геометрии топологического многообразия, которое описывает их взаимное распределение. Принцип основан на взятии изотропного ядра

$$K \in \mathbb{R}^{k \times k},$$

элементы которого определяются как

$$k(x, y) \triangleq e^{-\frac{\|x-y\|}{\varepsilon}}, x, y \in M,$$

где ε – мета-параметр алгоритма, зависящий от средней нормы рассматриваемых векторов.

Это ядро представляет меру сходства между точками данных в многообразии. Ядро может быть интерпретировано с точки зрения взвешенного графа $M = (V, E)$ с множеством вершин, идентифицированных с точками данных в M , а веса ребер определяются ядром K .

Определим вес каждой точки данных $x \in M$ (то есть вершины из E) в данном графе как

$$q(x) \triangleq \sum_{y \in M} k(x, y).$$

Нормализация ядра по этому весу дает $k \times k$ вероятностей переходов стохастической матрицы P , элементами которых являются:

$$p(x, y) = k(x, y) / q(x), x, y \in M,$$

что задает Марковский процесс случайных блужданий по графу (V, E) .

Симметричное сопряженное отображение \bar{P} для оператора перехода P определяет диффузию сходства между точками данных по формуле:

$$\bar{p}(x, y) = \frac{k(x, y)}{\sqrt{q(x)q(y)}} = \sqrt{q(x)}p(x, y)\frac{1}{\sqrt{q(y)}}, x, y \in M.$$

Диффузные карты описывают распределение данных через топологическое многообразие в евклидовом пространстве, размерность которого обычно значительно ниже, чем первоначальная размерность.

Это вложение – результат спектрального анализа диффузии близости ядра \bar{P} . Собственные значения $\bar{P} \ 1 = \sigma_0 \geq \sigma_1 \geq \dots$ и их соответствующие собственные векторы $\bar{\varphi}_0, \bar{\varphi}_1, \dots$ используются для построения карты, которая сопоставляет каждой точке $x \in M$ точку

$$\bar{\Phi}(x) = (\sigma_i \bar{\varphi}_i(x))_{i=0}^\delta$$

при достаточно малом δ , который представляет собой размерность вложенного пространства. Параметр δ зависит от распределения значений в спектре \bar{P} .

Как правило, вычисление спектра большой матрицы весьма затруднительно с точки зрения вычислительных затрат. Для решения этой задачи можно использовать метод, позволяющий вычислить быстро первые главные компоненты сингулярного разложения матрицы [3].

Важным свойством диффузных карт является то, что евклидово расстояние в диффузной карте равно диффузному расстоянию в первоначальном пространстве:

$$Diff_t(x, y) \approx \|\psi_1(x) - \psi_2(y)\|_{\mathbb{R}^m}.$$

Как показано в [3], диффузное расстояние $P_t(x, y)$ может быть вычислено по следующей формуле:

$$P_t^2(x, y) = \sum_i \lambda_j^{2t} (\psi_i(x) - \psi_j(y))^2,$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ – собственные числа матрицы P , такие, что

$$|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq \dots \geq |\lambda_m|,$$

а $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m$ – соответствующие им собственные векторы.

Отбросив теперь члены при собственных числах, близких к 0, и оставив первые w самых существенных слагаемых, приходим к тождеству:

$$P_t(x, y) = \sum_{k=1}^w \lambda_j^t (\psi_k(x) - \psi_k(y)).$$

Определим отображение

$$\psi_t(x) = (\lambda_1^t \psi_1(x), \lambda_2^t \psi_2(x), \dots, \lambda_w^t \psi_w(x)).$$

Нетрудно видеть, что оно обладает следующими свойствами:

- отображение происходит в пространство размерности w ;
- отображение не является линейным;
- расстояние между образами точек равно диффузному расстоянию, то есть вероятности попасть из точки x в точку y при случайном блуждании по графу за время t .

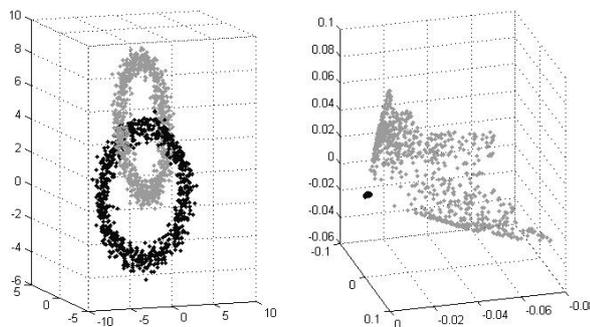


Рисунок 1 – Разделение классов при помощи диффузных карт: слева – исходные данные, справа – результат применения диффузных карт

Рисунок 1 иллюстрирует эффективность разделения перемешанных известных кластеров. Если сгенерировать данные как два сцепленных друг с другом кольца

(обозначенных черным и синим цветом), то никакие известные линейные методы их явно разделить не смогут. Тем не менее случайное блуждание по графу, представленному этими кольцами, логически их способно разделить, поскольку при случайном блуждании вероятность оставаться внутри одного и того же кольца больше, чем вероятность перейти из одного кольца в другое.

Мы построили отображение, переводящее элементы обучающего множества в диффузную карту. Теперь необходимо распространить это отображение на произвольный вектор x , основываясь только на отношении входного элемента к элементам обучающей выборки. Поскольку отображение было определено только для элементов обучающей выборки, то распространение его на произвольный вектор той же размерности требует дополнительного определения.

Рассмотрим множество $D = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в метрическом пространстве $M = (X, \|\cdot\|)$, а также функцию $f : D \rightarrow \mathbb{R}$. Необходимо распространить $f(x)$ для любого x из $X \setminus D$, основываясь на f и расстоянии от x до множества D . В абстрактной форме, используя терминологию функционального анализа, спектральная задача выглядит следующим образом:

$$\int_a^b G(x, y)\phi(y)dy = \lambda\phi(x).$$

Тем не менее, от абстрактной формы мы переходим к форме дискретной, поскольку вместо функций, определенных на интервале, мы имеем дело с дискретными векторами. Дискретизация спектральной формы:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G(x_i, x_j)\phi(x_j) = \lambda\phi(x).$$

Определим расширение Нюстрема ϕ до новой точки x [4], которое и является искомым расширением:

$$\hat{\phi}(x) \triangleq \frac{1}{n\lambda} \sum_{j=1}^n G(x, x_j)\phi(x_j).$$

Для нашей задачи G – это положительно определенная матрица.

Собственные функции G составляют ортонормированный базис для \mathbb{R}^n .

Любой вектор

$$f^T = (f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n))$$

может быть разложен

$$f = \sum_{i=1}^n \langle f, \phi_i \rangle \phi_i(x).$$

Расширение –

$$xf(x) = \sum_{i=1}^n \langle f, \phi_i \rangle \hat{\phi}_i(x).$$

После диффузного представления множества состояний, описанного в предыдущем разделе, множество состояний сетевого трафика описываются в виде многообразия распределения точек в маломерном пространстве.

Следующая задача – построение методики формального определения аномальных точек. Первый этап алгоритма заключается в предварительном грубом разделении множества точек на «стационарные» и «подозрительные». Для этого необходимо определить точки, которые с достоверной вероятностью относятся к классу стационарных.

Для разделения кластеров, являющихся точками сгущения в анизотропном пространстве, необходимо определить меру принадлежности точки к множеству.

Пусть теперь U – исходное множество в n -мерном пространстве после применения диффузной карты. Пусть H – некое подмножество U . Назовем махаланобис H -шаром радиуса

r множества $S(H, r) = \{x \mid mahal(x, H) < r\}$, где $mahal(x, H)$ – «расстояние махаланобиса» от точки x до множества H [5].

Определим теперь итеративный процесс, сходящийся к центру кластера (точке сгущения). Определим параметр, отвечающий за степень сгущения $1 > r > 0$.

Начальная фаза итераций – множество $W(0) = U$. Далее пусть на k -м шаге определено множество $W(k)$. Тогда $W(k+1) = S(W(k), r)$ – махаланобис $W(k)$ -шар радиуса r . Тогда последовательность $\{W(0), W(1), \dots, W(t) = W\}$, стабилизировавшись на шаге t , сходится к точке сгущения максимального кластера. Сам кластер получается как махаланобис W -шаром радиуса 1: $S(0) = \{x \mid mahal(x, W) < 1\}$.

Применив данный процесс к разности множеств $U(1) = U \setminus S(0)$, получим второй кластер $S(1)$, далее $S(2)$, и т. д. Процесс не останавливается, пока число элементов очередного шара $S(p)$ не будет меньше заданного параметра b . Исходя из предположения, что имеется единое облако регулярных точек и небольшое количество аномалий, мы должны сформировать только первый шар. После такого итеративного процесса аномалии определяются как множество точек, не принадлежащих к основному кластеру:

$$A = U \setminus \{S(0) + S(1) + \dots + S(p)\}.$$

ОПИСАНИЕ «АЛЬФА-ПОТОКА»

Пусть $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ – множество векторов, распределенных в пространстве диффузной карты. Данное множество будем понимать как вершины графа. Определим отношение между вершинами следующим образом.

Пусть n – целое число. Вершина V_i связана ребром с вершиной V_j , если V_i находится среди n ближайших соседей V_j , или наоборот. Предположим теперь, что вершины V_i и V_j связаны. Определим весовую функцию $W_{ij} = \text{corr}(V_i, V_j)$, где corr обозначает коэффициент корреляции [6], распределенный между 0 и 1. В остальных случаях положим $W_{ij} = 0$. Матрицу, составленную из этих элементов, назовем W . Матрица W является матрицей взаимосвязей между данными в диффузной карте.

Сформулируем теперь задачу оптимальной разметки графа в виде основного кластера и аномалий. Стандартной «альфа-функцией» назовем такое отображение из множества состояний сетевого трафика в диффузной карте соответствующим вершинам графа V в отрезок $[0, 1]$ $a: \{V_1, V_2, \dots, V_n\} \rightarrow [0, 1]$, которое имеет следующий физический смысл: $a(V_i)$ – это вероятность принадлежности вершины V_i к главному кластеру. Например, если $a(V_i) = 1$, то соответствующая вершина соответствует состоянию трафика с нормальным поведением. Если $a(V_i) = 0$, то соответствующее состояние является аномальным, что с большой вероятностью соответствует атаке на КС. Термин «альфа-функция» взят по традиции на основании работ [7], где на основе «альфа-форм» строится сегментация топологических образований. Идея «альфа-форм» вдохновила авторов на создание теории «альфа-потока».

Обозначим $a_i = a(V_i)$ и получим распределение вероятностей $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, которое описывает альфа-функцию. Сформулируем условия, накладываемые на альфа-поток:

1. Основной кластер должен иметь максимальное число элементов. В терминах альфа-функции данное условие можно сформулировать как $\|A\| \rightarrow \max$ – изменение альфа-функции должно происходить между вершинами, имеющими маленькую энергию связи.

В терминах альфа-потока данное условие можно сформулировать как $S(A) = \sum_{i,j} [(a_i - a_j)^2 W_{ij}] \rightarrow \min$.

2. Аномалии существуют. В терминах альфа-функции данное условие можно сформулировать как: A нетождественно равный единичному вектору, $A < (1, 1, \dots, 1)$.

Иногда используется так называемый процесс «обучения», который заключается в том, что на вход подаются вершины Y_i , часть из которых размечена, то есть среди индексов координат вектора $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ есть часть, для которых всегда $a_i = 1$, и другая часть, для

которых $a_j = 0$. Кроме того, на первой стадии алгоритма было определено множество точек I , про которые известно, что они являются стационарными, то есть, если i принадлежит I , то $a_i = 1$. Обозначим теперь характеристическую функцию множества I через X_I .

Таким образом, обобщая все три условия, альфа-поток – результат минимизации следующего функционала:

$$A^* = \arg \max \{ F(A) = X_I A + m \| A \|^2 - \sum_{i,j} [(a_i - a_j)^2 W_{ij}] : \| A \| < 1 \}.$$

Пусть D – диагональная матрица, составленная из элементов

$$D_{ij} = \sum (w_{ij} | j = 1 : n).$$

Введем еще обозначение $L = D - W$, и эту матрицу назовем матрицей Лапласа. Распишем в новых обозначениях выражение для $F(A)$:

$$\sum_{i,j} [(a_i - a_j)^2 W_{ij}] = \sum_{ij} [(a_i^2 + a_j^2 - 2a_i a_j) W_{ij}] = \sum_i a_i^2 D_{ij} + \sum_j a_j^2 D_{ij} - 2 \sum_{i,j} [a_i a_j W_{ij}] = 2A^* LA.$$

Таким образом, $F(A) = X_I A + m \| A \|^2 - 2A^* LA \rightarrow \max$.

Решение данной оптимизационной задачи будем производить итеративными методами и искомое распределение весов определять через предельный переход

$$A = \lim \{ a_{\{k\}} | k \rightarrow \infty \}.$$

Данный предельный переход называется «альфа-поток». Множество аномальных состояний определяется теперь как $U = \{i | a_i < e\}$, где e – некое пороговое значение, которое подбирается экспериментально, исходя из экспертной оценки уровня риска и допустимости аномалий.

ВЫВОДЫ

1. Получен новый алгоритм представления каждого состояния трафика в виде многомерного вектора, координаты которого свободны от контекстной зависимости от шкал.
2. Определено математическое представление состояний сетевого трафика в виде точек в маломерном евклидовом пространстве. Размерность пространства равна численному рангу оператора диффузии, который не зависит от n , но зависит от ϵ , объема исходного множества и размерности исходного пространства.
3. Показано, что состояния, связанные друг другом возможностью непрерывного перехода, отображаются в диффузном пространстве как точки, расположенные близко друг к другу с точки зрения евклидовой нормы L_2 .
4. В ходе диффузного представления состояний сетевого трафика в виде точек маломерного пространства определена альфа-функция A , полученная при помощи итерационного процесса, называемого «альфа-поток», которая для каждой точки i , соответствующей какому-то состоянию сетевого трафика, определяет вероятность a_i того, что точка i соответствует стационарному состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muhammad Ahmad , Dr. Ihsan Ul Haq Linear Unmixing and Target Detection of Hyperspectral Imagery, 2011 International Conference on Modeling, Simulation and Control IPCSIT vol.10 (2011) IACSIT Press, Singapore
2. Ronald R. Coifman, Stephane Lafon Diffusion maps Mathematics Department, Yale University, New Haven, CT 06520, USA Received 29 October 2004; revised 19 March 2006; accepted 2 April 2006.
3. Mahamud S., Thornber K. K. and Williams L. R., Segmentation of salient closed contours from real images, Proc. 7-th IEEE Int'l Conf. Comp. Vis. (Corfu, Greece), 1999.
4. Коршунова Ю.М. Математические основы кибернетики. – СПб.: Питер, 2008.
5. Tony F. Chan, Luminita A., Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing, 1998.

6. Новичков А. Понятие метрики. Направления применения метрик. Метрические шкалы. Метрики сложности. Метрики стилистики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.viva64.com/go.php?url=243>.
7. Akkiraju N., Edelsbrunner H., Facello M., Fu P., Mucke E.P., C. Varela. Alpha shapes: definition and software. In «Proc. Internat. Comput. Geom. Software Workshop», ed. N. Amenta, Rpt. GCG 80, Geometry Center, Minneapolis, Minnesota, 1995.

Можин Сергей Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

Тел.: 8 919 263 85 06

E-mail: kattz@rambler.ru

Бондарева Алина Вячеславовна

Академия ФСО России, г. Орел

Курсант

Тел.: 8 953 626 10 69

E-mail: alina_bv@mail.ru

S.V. MOZHIN (*Teacher*)

A.V. BONDAREVA (*Cadet*)

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

**MODEL REPRESENTATION OF THE VECTOR PROPERTIES OF THE NETWORK TRAFFIC
IN A LOW-DIMENSIONAL SPACE**

Model of assessment probability threat's realization is considered. Diffusion maps are used for dimensionality reduction.

Keywords: *information security; risk assessment; clustering.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Muhammad Ahmad , Dr. Ihsan Ul Haq Linear Unmixing and Target Detection of Hyperspectral Imagery, 2011 International Conference on Modeling, Simulation and Control IPCSIT vol.10 (2011) IACSIT Press, Singapore
2. Ronald R. Coifman, Stephane Lafon Diffusion maps Mathematics Department, Yale University, New Haven, CT 06520, USA Received 29 October 2004; revised 19 March 2006; accepted 2 April 2006.
3. Mahamud S., Thornber K. K. and Williams L. R., Segmentation of salient closed contours from real images, Proc. 7-th IEEE Int'l Conf. Corp. Vis. (Corfu, Greece), 1999.
4. Korshunova Yu.M. Matematicheskie osnovy' kibernetiki. – SPb.: Piter, 2008.
5. Tony F. Chan, Luminita A., Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing, 1998.
6. Novichkov A. Ponyatie metriki. Napravleniya primeneniya metrik. Metricheskie shkaly'. Metriki slozhnosti. Metriki stilistiki [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.viva64.com/go.php?url=243>.
7. Akkiraju N., Edelsbrunner H., Facello M., Fu P., Mucke E.P., C. Varela. Alpha shapes: definition and software. In «Proc. Internat. Comput. Geom. Software Workshop», ed. N. Amenta, Rpt. GCG 80, Geometry Center, Minneapolis, Minnesota, 1995.

**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 (полуужирный 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.