

№ 1 (63) январь-февраль 2011

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

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

Редакционный совет

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

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

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

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

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

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

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере
связи и массовых коммуникаций.
Св-во о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-35333 от 17.02.2009 г.

Сдано в набор 15.11.2010 г.
Подписано в печать 25.12.2010 г.
Формат 70x108 1/16.

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

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

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

Рубрики номера

1. Математическое и программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем 5-21
2. Математическое и компьютерное моделирование 22-60
3. Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах 61 -85
4. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами 86-101
5. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети..... 102-110
6. Информационная безопасность..... 111-135

Редакция

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

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

Подписной индекс 15998
по объединенному каталогу
«Пресса России»

© ОрелГТУ, 2011

№ 1 (63) January - February 2011

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

The founder – Orel State Technical University

Editorial council

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

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

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial committee

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

The address of the founder of magazine

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

The address of the edition

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

Journal is registered in Federal Department
for Mass Communication.

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

It is handed over in a set of 15.11.2010,
25.12.2010 are sent for the press
Format 70x108 1/16.

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

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

In this number

1. Software of the computer facilities
and the automated systems 5 -21
2. Mathematical
and computer simulation..... 22-60
3. An information technology in social
and economic and organizational
-technical systems 61 -85
4. Automation and management
of technological processes
and manufactures 86-101
5. Telecommunication systems
and computer networks 102-110
6. The informational safety 111-135

The edition

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

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

*Index on the catalogue
of the «Pressa Rossii» 15998*

© OreISTU, 2011

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

- Катков К.А.* Совершенствование навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем для использования в условиях искусственных возмущений ионосферы5
- Чернышов В.Н., Мишин В.В.* Программное обеспечение для регистрации и комплексной обработки диагностических электрических параметров подшипника15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Григорьев А.П., Бирюков В.П., Комаров П.И., Сибаров Д.А., Сотников В.В.* Математическая модель процесса изомеризации22
- Данилов И.А., Горбунов М.С., Зебрев Г.И., Осипенко П.Н., Ивлев А.А.* Разработка программных средств моделирования ИМС с повышенной стойкостью к внешним воздействующим факторам космического пространства30
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Маматов Е.М., Ушаков Д.И., Старовойт И.А.* О возможности повышения эффективности использования выделенного частотного ресурса в системах с OFDM39
- Матюхин С.И., Писарев А.А., Ставцев А.В.* Компьютерное моделирование процессов, связанных с влиянием микротрещин на вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов.....46
- Полищук Ю.М., Полищук В.Ю.* Имитационное моделирование полей термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты 53

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Коськин А.В., Рожков Г.Г.* Подходы к разработке алгоритмов функционирования подсистемы автоматического управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия62
- Кузнецов А.В.* Организация сопровождения жизненного цикла документов68
- Нечаев Д.Ю.* Многомерное коммуникационное пространство виртуального предприятия72
- Стародубцев Ю.И., Бухарин В.В., Семенов С.С.* Техносферная война80

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

- Сафронова Н.А.* Управление температурой паровоздушной смеси при производстве бараночно-сушечных изделий (БСИ) на основе текущего регрессионного анализа86
- Травин Г.А., Логвинов А.М.* Распределенное вейвлет-преобразование в сетях датчиков с нерегулярными сетками91

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

- Кропотов Ю.А.* Повышение отношения сигнал/помеха в многоканальной системе передачи акустических сигналов при воздействии узкополосных помех.....102
- Усовик С.В., Воронин А.В.* Алгоритм классификации трафика телекоммуникационной сети..... 107

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Боровский А.С., Тарасов А.Д.* Интегрированный подход к разработке общей математической модели функционирования систем физической защиты объектов...111
- Лепешкин О.М.* Методика выбора способов реализации механизмов обеспечения функциональной безопасности критических социотехнических систем на основе среды радикалов.....128

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

<i>Katkov K.A.</i> Improvement of the navigational equipment of the consumers satellite radionavigacionnyh systems for use in condition of the artificial indignations of the ionosphere	5
<i>Chernyshev V.N., Mishin V.V.</i> The program for registration and complex processing of diagnostic electric parameters of the bearing	15

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

<i>Grigor`ev A.P., Biryukov V.P., Komarov P.I., Sibarov D.A., Sotnikov V.V.</i> Mathematical model of process of isomerization.....	22
<i>Danilov I.A., Gorbunov M.S., Zebrev G.I., Osipenko P.N., Ivlev A.A.</i> Design of programming tools for simulation of radiation tolerant ICS for space applications	30
<i>Zhilyakov E.G., Belov S.P., Mamatov E.M., Ushakov D.I., Starovojt I.A.</i> About possibility of increasing the efficiency using dedikated frequency resource in systems with OFDM	39
<i>Matuhin S.I., Pisarev A.A., Stavtsev A.V.</i> Computer simulation of processes related to influence of microcracks on the i-v-curves of semiconductor diodes	46
<i>Polischuk Yu.M., Polischuk V.Yu.</i> Simulation modeling fields of the thermokarst lakes on the area of the permafrost	53

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

<i>Koskin A.V., Rozhkov G.G.</i> Approaches to working out of algorithms of functioning of the subsystem of automatic control by process of training on the basis of parameters of interactive interaction	62
<i>Kuznetsov A.V.</i> The organization of documents circulation support	68
<i>Nechaev D.Y.</i> The multidimensional communication space of a virtual company	72
<i>Starodubtsev Y.I., Bukharin V.V., Semenov S.S.</i> Technospherny war	80

AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

<i>Safronova N.A.</i> The problem solution of temperature control in the chamber with steam-air mixture during small ring-shaped rolls production with the aid of quadratical programming and linear regression as limitations in the cause of the technological process analysis.....	86
<i>Travin G.A., Logvinov A.M.</i> Distributed wavelet transofrm for sensor networks with irregular grids.....	91

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

<i>Kropotov Y.A.</i> Increase of the signal/noise relation in multichannel transmission system of acoustic signals at influence of narrow-band hindrances	102
<i>Usovik S.V., Voronin A.V.</i> Classification of network traffic.....	107

THE INFORMATION SAFETY

<i>Borovskij A.S., Tarasov A.D.</i> Integrated method of development general mathematical models of system of object physical defence operation.....	111
<i>Lepeshkin O.M.</i> Ways selection method of functional safety mechanisms realization for critical sociotechnical systems on the basis of radicals.....	128

УДК 629.783

К.А. КАТКОВ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННЫХ
ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРЫ**

В статье рассматривается вопрос модернизации существующей навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем, позволяющей на этапе первичной обработки навигационных параметров определять величину полосы когерентности трансionoсферного канала непосредственно по навигационным радиосигналам, на этапе вторичной обработки снизить погрешность позиционирования при возникновении искусственных возмущений ионосферы на трассе распространения навигационных радиосигналов.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы; искусственные возмущения ионосферы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что основной вклад погрешности определения псевдодальностей в спутниковых радионавигационных системах (СРНС) вносят погрешности, возникающие на трассе распространения навигационного радиосигнала (НРС). К этому виду погрешности относятся ионосферные, тропосферные погрешности, а также погрешности, обусловленные многолучевостью распространения радиосигнала. Наибольший вклад в погрешность определения псевдодальности вносит ионосфера. В условиях естественных возмущений такая погрешность может достигать нескольких десятков метров [1, 2].

В современной навигационной аппаратуре потребителей (НАП) СРНС компенсация ионосферной погрешности происходит путем использования двухчастотного метода измерений псевдодальностей. В то же время при возникновении искусственных возмущений ионосферы (ИВИ), создаваемых на высотах ее слоя F, применение двухчастотного метода приведет к многократному возрастанию погрешности определения псевдодальностей вследствие возникновения шумовой ионосферной погрешности [3]. Это обусловлено возникновением частотно-селективных замираний (ЧСЗ) принимаемого НРС. Возникновение ЧСЗ хотя бы в одной из четырех радиолиний во время навигационного сеанса приводит к возникновению погрешности позиционирования, не соответствующей требованиям точности, предъявляемым к СРНС [4].

Известны методы снижения погрешности позиционирования в случае возникновения ИВИ [4]. Все эти методы требуют знания полосы когерентности трансionoсферного канала ΔF_k , необходимой для определения степени ЧСЗ радиосигнала ($\Delta F_0/\Delta F_k$, ΔF_0 – ширина спектра НРС). В то же время аналитическое

определение величины ΔF_k весьма затруднено, так как в это выражение входит ряд величин, определить которые в настоящее время точно невозможно.

Целью статьи является разработка модифицированной НАП, позволяющей определять величину полосы когерентности трансионосферного канала и решать навигационную задачу в условиях ИВИ с высокой точностью.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть в результате искусственных возмущений ионосферы на высотах 150 – 300 км создается область повышенной ионизации (ОПИ) с неизвестными параметрами. В результате этого один или несколько НРС подвергаются ЧСЗ. При этом неизвестно, в какой радиолинии и насколько происходит сужение полосы когерентности. Погрешность определения псевдодальности до i -го навигационного космического аппарата (НКА), сигнал которого подвергается ЧСЗ, возрастает в 40...1000 раз [5].

Требуется определить координаты потребителя $q=[X,Y,Z,t]$ с минимальной погрешностью позиционирования s_q .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ

Известно [4, 6], что погрешность позиционирования в общем случае неравноточных измерений псевдодальностей определяется выражением:

$$s_q = \sqrt{s_{D1}^2(n_{11}^2 + n_{21}^2 + n_{31}^2 + n_{41}^2) + s_{D2}^2(n_{12}^2 + n_{22}^2 + n_{32}^2 + n_{42}^2) + s_{D3}^2(n_{13}^2 + n_{23}^2 + n_{33}^2 + n_{43}^2) + s_{D4}^2(n_{14}^2 + n_{24}^2 + n_{34}^2 + n_{44}^2)}, \quad (1)$$

где s_q – среднее квадратичное отклонение (СКО) позиционирования;

$s_{Di}, (i=1..4)$ – СКО измерения псевдодальности до i -го НКА;

n_{ij} – элементы матрицы N , обратной матрице наблюдений H .

Элементами первых трех столбцов матрицы H являются направляющие косинусы линий визирования НКА рабочего созвездия в гринвичской геоцентрической системе координат (ГСК), четвертый столбец незначащий и заполняется единицами:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X-x_1}{D_1} & \frac{Y-y_1}{D_1} & \frac{Z-z_1}{D_1} & 1 \\ \frac{X-x_2}{D_2} & \frac{Y-y_2}{D_2} & \frac{Z-z_2}{D_2} & 1 \\ \frac{X-x_3}{D_3} & \frac{Y-y_3}{D_3} & \frac{Z-z_3}{D_3} & 1 \\ \frac{X-x_4}{D_4} & \frac{Y-y_4}{D_4} & \frac{Z-z_4}{D_4} & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i -го НКА в ГСК ($i=1..4$);

X, Y, Z — координаты потребителя в ГСК;

$D_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}$ – дальность до i -го НКА.

В условиях невозмущенной ионосферы ширина спектра НРС ΔF_0 много шире полосы когерентности трансionoсферного канала ΔF_k . При возникновении ИВИ ширина полосы когерентности сужается и выполняется условие $\Delta F_0 / \Delta F_k \geq 1$ возникновения ЧСЗ принимаемых НРС. Погрешность измерения псевдодальности $s_{Di}^{(q)}$ в этом случае будет прямо пропорциональна степени ЧСЗ навигационного сигнала $\Delta F_0 / \Delta F_k$, она определяется выражением [3, 4]:

$$s_D = \frac{c}{\sqrt{2p} \cdot \Delta F_0 \cdot \bar{E}_r / N_0} \sqrt{\left(1 + \frac{4 \Delta F_0^2}{p \Delta F_k^2}\right)^2 + \frac{\bar{E}_r}{N_0} \left(1 + \frac{4 \Delta F_0^2}{p \Delta F_k^2}\right)^{3/2}}, \quad (3)$$

где c – скорость распространения радиоволн в вакууме;

\bar{E}_r / N_0 – отношение средней энергии НРС к спектральной плотности мощности шума.

Величина ΔF_k определяется выражением:

$$\Delta F_k = \frac{c \cdot f_0^2}{80,8 \cdot p \cdot s_{\Delta N} \sqrt{L_0 \cdot h_{\text{Э}} \cdot \cos ecg \cdot \left(1 + \frac{c^2 \cdot \cos ec^2 g \cdot (h_{\text{Э}}^2 + 3h \cdot (h - h_{\text{Э}}))}{384 \cdot p^2 \cdot f_0^2 \cdot L_0^2 \cdot L_m^2}\right)}}, \quad (4)$$

где f_0 – несущая частота радиосигнала;

$s_{\Delta N}$ – СКО флуктуаций электронной концентрации (ЭК) в неоднородностях ионосферы;

L_m, L_0 – минимальный и максимальный размер ионосферных неоднородностей соответственно (от 10^0 до 10^4 м);

g – угол места излучающего радиосигнал НКА;

h – высота верхней границы ионосферы ($6 \cdot 10^5$ м);

$h_{\text{Э}}$ – эквивалентная толщина ионосферы ($5 \cdot 10^5$ м).

Выражение (4) позволяет оценить зависимость полной полосы когерентности трансionoсферного канала связи (ΔF_k) от параметров НРС (f_0), параметров неоднородной ионосферы ($s_{\Delta N}, L_0, L_m$), а также взаимного расположения потребителя и излучающего сигнал НКА (g). Параметры навигационных сигналов в СРНС являются детерминированными величинами, параметры неоднородной ионосферы – случайными.

Значение полосы когерентности трансionoсферного канала связи зависит от величины СКО флуктуации ЭК в неоднородностях ионосферы ($s_{\Delta N}$), которая, в свою очередь, связана с величиной полного электронного содержания (ПЭС) вдоль траектории распространения НРС N_5 . Существует ряд способов определения ПЭС [7, 8] с использованием одно- и двухчастотной НАП. В случае использования одночастотной НАП необходимо производить измерения псевдодальности по коду и по фазе. В этом случае величина ПЭС определяется выражением [9]:

$$N_S = \frac{f_0^2}{40,3} \left(\hat{D}_\kappa - \hat{D}_\phi \right) = \frac{f_0^2 \cdot c}{40,3} (t_\kappa - t_\phi), \quad (5)$$

где $\hat{D}_\kappa = c \cdot t_\kappa$ и $\hat{D}_\phi = c \cdot t_\phi$ – псевдодальности, измеренные по коду и фазе.

Способ определения ПЭС ионосферы с учетом её неоднородностей по данным двухчастотного радионавигационного приемника базируется на использовании выражения [7, 8]:

$$N_S = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,3(f_1^2 - f_2^2)} (L_1 \cdot I_1 - L_2 \cdot I_2), \quad (6)$$

где f_1, f_2 – несущие частоты НРС;

L_1, L_2 – число оборотов фазы радиосигналов;

$I_m = \frac{c}{f_m}, (m=1;2)$ – длина волны на частоте f_m .

Имея ряд оценок ПЭС, проведенных за интервал времени T , получают значение СКО ПЭС:

$$s_N = \sqrt{\int_0^T \left(N_S(t) - \overline{N}_S(t) \right)^2 dt}, \quad (7)$$

где $\overline{N}_S(t)$ – математическое ожидание величины ПЭС.

Согласно [3], величину СКО флуктуации ЭК в неоднородностях ионосферы ($s_{\Delta Ni}$) на трассе прохождения i -го НРС можно оценить, используя выражение:

$$s_{\Delta Ni} \approx \sqrt{\frac{s_N \cdot \text{sing}_i}{\sqrt{p} \cdot h_E \cdot l_S}}, \quad (8)$$

где l_S – характерный размер ионосферных неоднородностей.

Необходимо отметить, что данная оценка является приблизительной, так как точно неизвестен характерный размер ионосферных неоднородностей (обычно принимается $l_S \approx 400...600$ м).

Таким образом, аналитическое определение полосы когерентности трансionoсферного канала при возникновении ИВИ, следовательно, и погрешности позиционирования, весьма затруднено, так как параметры возмущенной ионосферы ($L_0, L_m, s_{\Delta N}$) в ОПИ в настоящее время точно измерить невозможно. Кроме этого, существующая НАП не позволяет точно определить, сигнал каких именно НКА подвергается ЧЗ. В связи с этим необходима модификация существующей НАП, позволяющая проводить точные навигационные определения в условиях ИВИ.

МОДИФИКАЦИЯ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Для того чтобы определить величину ΔF_k при неизвестных априорно размерах ионосферных неоднородностей, предлагается использовать широкополосность НРС. Для этого необходимо разделить широкополосный (1 МГц или 10 МГц) НРС на спектральные составляющие и проверить условие их коррелированности [10].

Широкополосный НРС с шириной спектра ΔF_0 с помощью полосовых

фильтров делится на частотные составляющие с шагом $\Delta\Omega$ (рис. 1) в течение промежутка времени $T = 1$ сек.

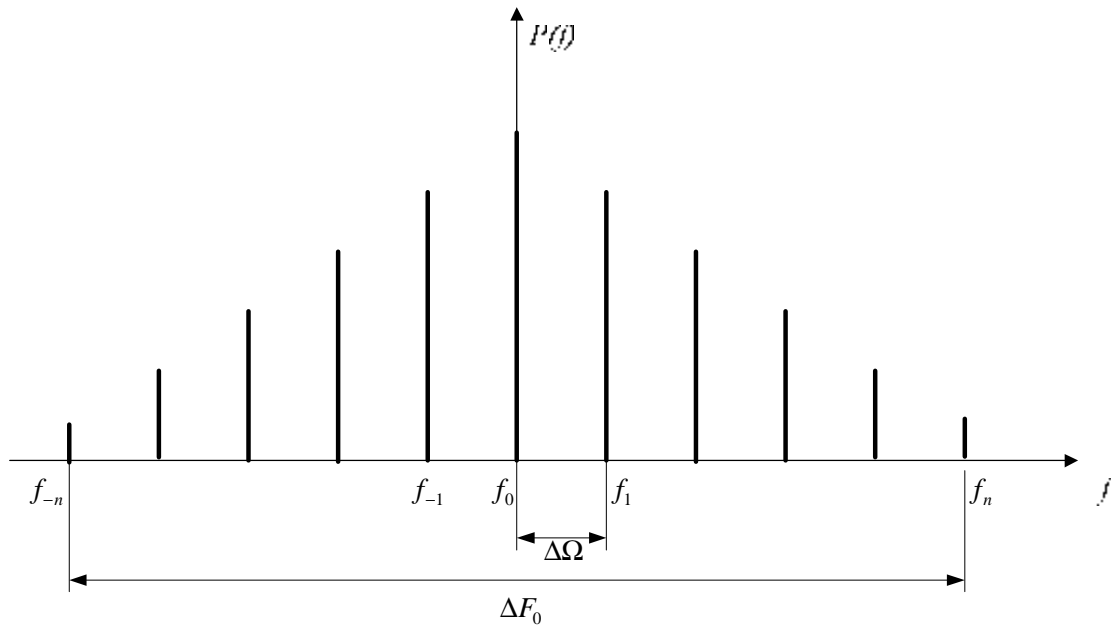


Рисунок 1 – Деление НРС на частотные составляющие

Таким образом, выделяются составляющие спектра $f_{-n}, \dots, f_{-1}, f_0, f_1, \dots, f_n$, симметричные относительно средней частоты спектра f_0 . Затем определяется коэффициент корреляции между симметричными частотными составляющими: f_1 и f_{-1} ; f_2 и f_{-2} ; ...; f_n и f_{-n} , согласно выражению [11, 12, 13]:

$$K(t) = \frac{\sum \left(P(f_{-k}) - \overline{P(f_{-k})} \right) \cdot \left(P(f_k) - \overline{P(f_k)} \right)}{\sqrt{\sum \left(P(f_{-k}) - \overline{P(f_{-k})} \right)^2 \cdot \sum \left(P(f_k) - \overline{P(f_k)} \right)^2}}, \quad (9)$$

где $P(f_k)$ – мощность сигнала на частотной составляющей f_k ;

$\overline{P(f_k)}$ – среднее за период времени T значение мощности на частотной составляющей f_k .

Корреляционная функция навигационного радиосигнала имеет вид [11, 12, 13]:

$$K(\Delta F_0) = e^{-\left(\frac{\Delta F_0}{\Delta F_k}\right)^2}. \quad (10)$$

При выполнении условия возникновения ЧСЗ $\Delta F_0 / \Delta F_k = 1$ коэффициент корреляции становится равен $K(\Delta F_0) = e^{-1} \approx 0,37$. Если значение $K(\Delta F_0) > 0,37$ на всем интервале ΔF_0 , то условие возникновения ЧСЗ для такого НРС не выполняется (кривая «1» на рис. 2). Разнос частот, при котором достигается значение $K(\Delta F_0) = 0,37$, определяет ширину полосы когерентности канала связи F_k (кривая «2» на рис. 2). Полное значение ширины полосы когерентности будет равно $\Delta F_k = 2F_k$.

Выбор шага разложения спектра сигнала $\Delta\Omega$ проводится из соображений

точности, с которой необходимо измерить величину ΔF_k , и количества полосовых фильтров, необходимых для разложения исходного сигнала на спектральные составляющие (например, $\Delta\Omega_0 = 10 \text{ кГц}$ или 100 кГц).

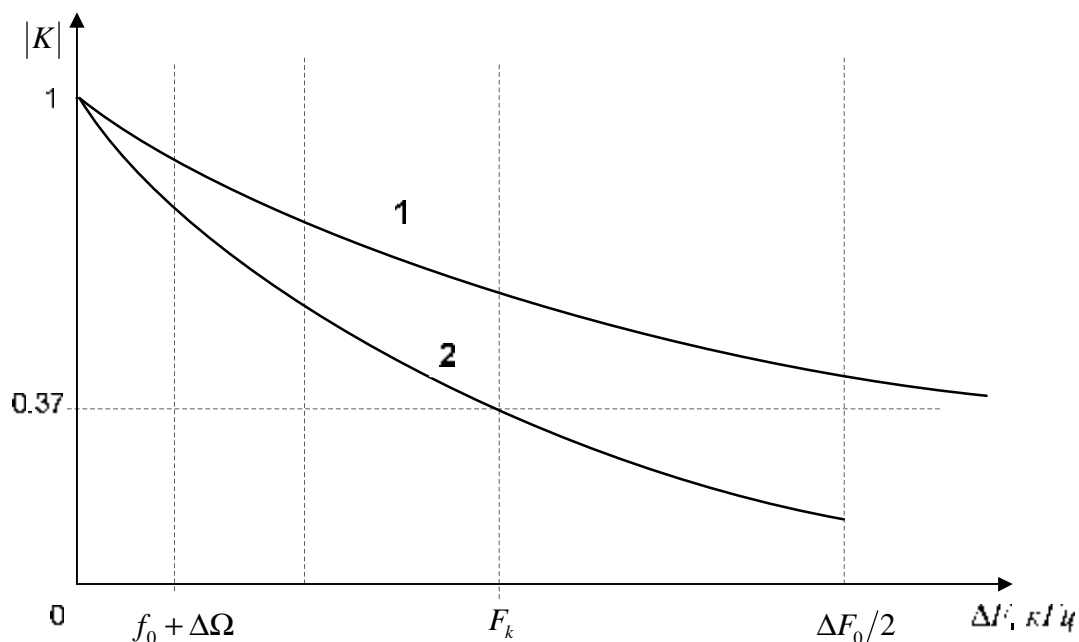


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента корреляции от разности частот НРС

Устройство, позволяющее определять значение ΔF_k и вектор пространственно-временных координат (ПВК) потребителя в условиях возникновения ЧСЗ, предлагается реализовать на базе навигационного приемника с двухэтапной обработкой данных [1, 2]. Данное устройство, представленное на рисунке 3, отличается от известного тем, что параллельно с аналого-цифровым процессором (АЦП) включен блок определения полосы когерентности (БОПК), состоящий из n полосовых частотных фильтров, $n/2$ умножителей, $n/2$ интеграторов, $n/2$ решающих устройств и блока принятия решения. На выходе БОПК вырабатывается сигнал, поступающий на вход навигационного процессора, на основании которого определяется ширина полосы когерентности трансферного канала связи, используемая для определения степени ЧСЗ принимаемого навигационного радиосигнала.

Принцип работы данного устройства заключается в следующем: антенный блок (АБ) в течение интервала времени T (1 сек) принимает электромагнитные колебания, излучаемые НКА. С выхода АБ напряжение $u_{\text{вх}}(t)$ поступает на вход радиочастотного блока (РЧБ), предназначенного для усиления и селекции принятых сигналов, а также понижения несущей частоты.

Синтезатор частот (СЧ) формирует набор гармонических колебаний, необходимых для работы РЧБ, АЦП и навигационного процессора (НП). АЦП производит поиск и слежение за параметрами сигнала (фазовым t_ϕ и кодовым t_k временем распространения сигнала), а также выделяет навигационное сообщение, передаваемое с частотой 20 Гц (то есть с периодом $T_{\text{и}} = 50 \text{ мсек}$). Фазовые (t_ϕ) и кодовые (t_k) оценки времени распространения сигнала с выхода АЦП поступают на вход НП в блок решения навигационной задачи (РНЗ).

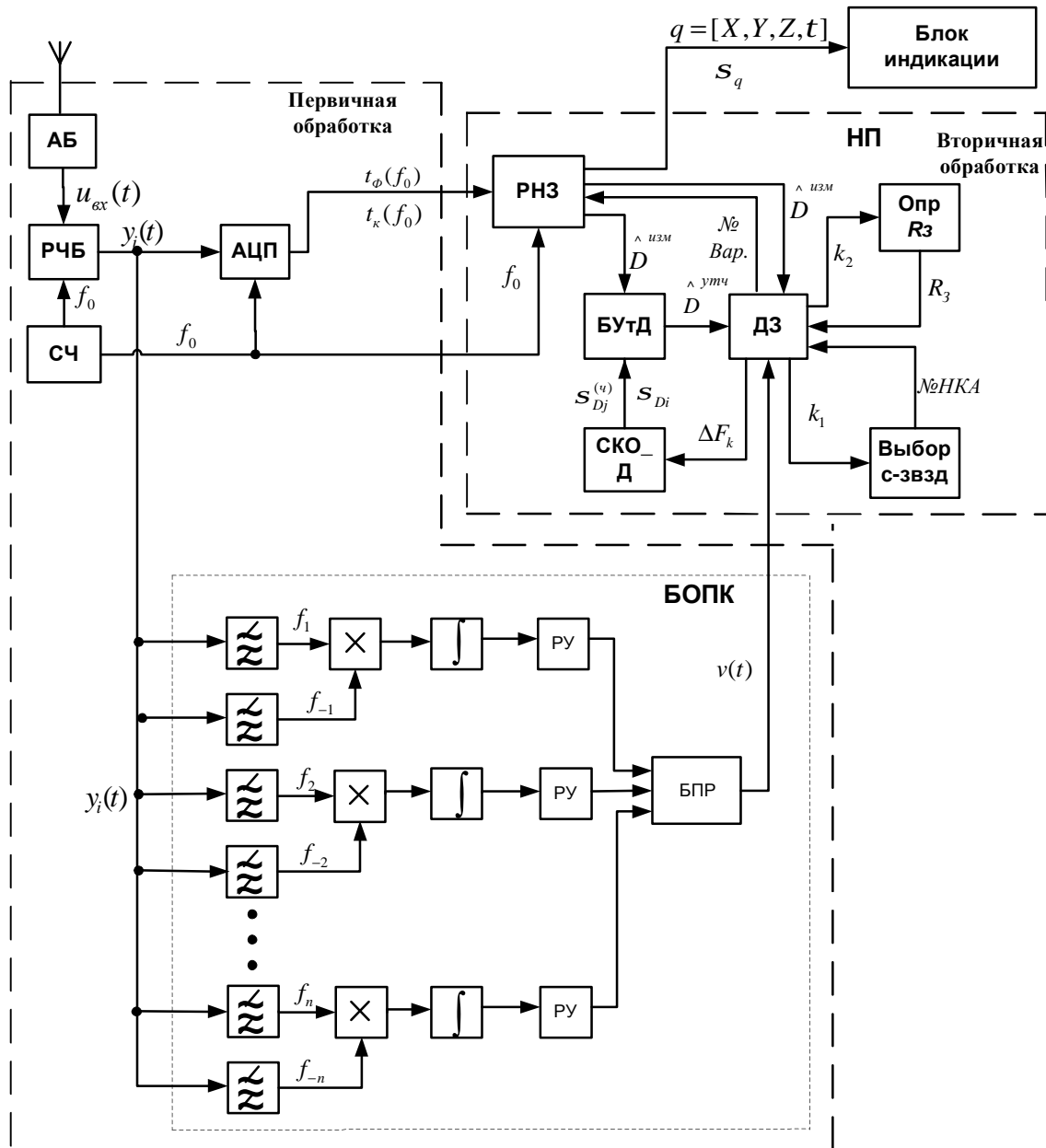


Рисунок 3 – Устройство определения вектора ПВК в условиях ИВИ

Параллельно с выхода РЧБ сигнал поступает на вход блока определения полосы когерентности (БОПК). В БОПК радиосигнал частотными полосовыми фильтрами делится на частотные составляющие. Симметричные относительно средней частоты спектра частотные составляющие поступают на вход умножителей. С выхода умножителей произведение частотных составляющих поступает на вход интеграторов, где рассчитывается скалярное произведение двух симметричных частотных составляющих f_k и f_{-k} ($k=1..n$), поступающее на вход решающих устройств (РУ). В решающих устройствах определяется коэффициент корреляции выделенных симметричных частотных составляющих НРС за период времени T (9) и вырабатывается соответствующий этому коэффициенту сигнал, поступающий на вход блока принятия решения (БПР). В БПР строится корреляционная функция (10) и вырабатывается сигнал $v(t)$, позволяющий определить значение полосы когерентности канала связи (ΔF_k) в диспетчере задач (ДЗ) навигационного

процессора. На вход ДЗ поступают данные со всех БОПК, число которых равно числу каналов в НАП. Для удобства на рисунке 3 изображен лишь один БОПК.

В зависимости от числа видимых НКА, ДЗ выдает команды либо на смену рабочего созвездия, либо на использование только 3-х НКА ($k_1; k_2$) в блоки выбора созвездия (выбор с-звзд) и определении геоцентрической высоты (Опр. R_3) [4, 14, 15].

Значение полосы когерентности поступает на вход блока расчета погрешности определения псевдодальности (СКО_Д). Рассчитанные значения s_{Di} поступают на вход блока уточнения дальности (БУТД), где, используя измерения псевдодальностей ($D^{\wedge}_{изм}$), решается задача уточнения псевдодальности фильтром Калмана [4].

Уточненные значения псевдодальностей ($D^{\wedge}_{утч}$) поступают в ДЗ, где определяется номер варианта решения навигационной задачи для блока РНЗ. Полученный в результате вектор ПВК потребителя $q = [X, Y, Z, t]^T$ и СКО позиционирования s_q выдаются на блок индикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования можно сделать ряд выводов.

1. Существующая на сегодняшний день НАП спутниковых радионавигационных систем не позволяет определять с высокой точностью вектор ПВК потребителя в случае возникновения ИВИ и вызываемых ими ЧСЗ принимаемых НРС. Это происходит вследствие невозможности точного определения параметров возмущенной ионосферы.

2. Предлагаемое устройство позволяет определять ширину полосы когерентности трансionoсферного канала непосредственно по радиосигналам НКА. Это потребует проведения измерений в течение 1 сек. с дискретностью 20 мсек.

3. Модернизация НАП затрагивает оба этапа обработки навигационных параметров. На этапе первичной обработки дополнительно решается задача определения величины полосы когерентности канала связи, на этапе вторичной обработки решается задача определения ПВК потребителя с учетом воздействия ИВИ. В случае отсутствия ЧСЗ НАП работает в обычном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харисов В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС, М.: ИПРЖР, 1998. – 400 с.
2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Гахов Р.П. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации: монография. – М.: Физматлит, 2006. – 184 с.
4. Катков К.А. Методика вторичной обработки навигационных параметров, снижающая погрешность позиционирования в спутниковых радионавигационных системах при возникновении искусственных возмущений ионосферы. // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – 2009. – № 6/56(569) – С. 49-57.
5. Пашинцев В.П., Солчатов М.А., Спириин А.М., Катков К.А. Оценка погрешности измерения псевдодальности в спутниковых радионавигационных системах при возмущениях ионосферы в слое F. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2007. – Том 10. – №6. – С. 8-13.

6. Катков К.А., Колезнев И.А., Маслюков В.В. Анализ погрешности позиционирования в спутниковых радионавигационных системах при многократном повышении погрешности измерения псевдодальности до одного из навигационных аппаратов // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2009. – Випуск 1(9). – С. 11-14.
7. Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. – 480 с.
8. Nisner P., Trethewy V., GPS Ionospheric Determinations Using LI Only// Proceeding of the 5th International conference on «Differential Satellite Navigation System»/ Additional Volume. St. Peterburg. Russia. May, 1996. – P. 127-142.
9. Klobuchar J. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users// IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System, 1986.– AES 23(3).– P. 325-331.
10. Слюсарев Г.В., Анашкин Р.В., Катков К.А., Пашинцев В.П. Устройство определения степени частотно-селективных замираний навигационных радиосигналов спутниковых радионавигационных систем / Патент на полезную модель РФ №93525 от 27.04.2010. Заявка № 2009144742 от 02.12.2009.
11. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В.; под ред. Кловского Д.Д. Теория электрической связи: учебник для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
12. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для ВУЗов. – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 558 с.
13. Шур А.А. Характеристики сигнала на тропосферных радиоперелиниях. – М.: Связь, 1972. – 105 с.
14. Катков К.А. Анализ погрешности позиционирования в спутниковых радионавигационных системах при вводе в решение навигационной задачи псевдоспутника, расположенного в центре Земли // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №10. – С. 5-15.
15. Катков К.А., Скорынина С.А., Окулова М.С. Использование псевдоспутника в центре Земли в спутниковых радионавигационных системах // Двойные технологии, 2009. – №4. – С.56-63.

Катков Константин Александрович

Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь

Кандидат технических наук, старший преподаватель

Тел.: 89188619802

E-mail: kkatkoff@mail.ru

K.A. KATKOV

**IMPROVEMENT OF THE NAVIGATIONAL EQUIPMENT OF THE CONSUMERS
SATELLITE RADIONAVIGACIONNYH SYSTEMS FOR USE IN CONDITION OF THE
ARTIFICIAL INDIGNATIONS OF THE IONOSPHERE**

In article is considered question to modernizations existing navigational equipment of the consumers satellite radio navigating systems, allowing in step of primary processing navigational parameter to define the value of the band coherence transeionospheric of the channel on navigational radio signals directly, in step of secondary processing to reduce inaccuracy of the positioning when arising the artificial indignations of the ionosphere on route of the spreading navigational radio signals.

Keywords: *satellite radio navigating systems; artificial indignations of an ionosphere.*

BIBLIOGRAPHY

1. Harisov V.N., Perova A.I., Boldina V.A. Global'naja sputnikovaya radionavigacionnaya sistema

- GLONASS, M.: IPRZHR, 1998. – 400 s.
2. Shebshaevich V.S., Dmitriev P.P., Ivancevich N.V. i dr. Setevye sputnikovye radionavigacionny'e sistemy'. – M.: Radio i svjaz', 1993. – 408 s.
 3. Pashincev V.P., Solchatov M.Je., Gahov R.P. Vliyanie ionosfery' na xarakteristiki kosmicheskix sistem peredachi informacii: monografiya. – M.: Fizmatlit, 2006. – 184 s.
 4. Katkov K.A. Metodika vtorichnoj obrabotki navigacionny'x parametrov, snizhayushhaya pogreshnost' pozicionirovaniya v sputnikovy'x radionavigacionny'x sistemax pri vozniknovenii iskusstvenny'x vozmushhenij ionosfery'. // Izvestiya OrelGTU. Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – 2009. – № 6/56(569)/ – S. 49-57.
 5. Pashincev V.P., Solchatov M.A., Spirin A.M., Katkov K.A. Ocenka pogreshnosti izmereniya psevdodal'nosti v sputnikovy'x radionavigacionny'x sistemax pri vozmushheniyax ionosfery' v sloe F. // Fizika volnovy'x processov i radiotexnicheskie sistemy', 2007. – Tom 10. – №6. – S. 8-13.
 6. Katkov K.A., Koleznev I.A., Maslyukov V.V. Analiz pogreshnosti pozicionirovaniya v sputnikovy'x radionavigacionny'x sistemax pri mnogokratnom povy'shenii pogreshnosti izmereniya psevdodal'nosti do odnogo iz navigacionny'x apparatov // Sistemy' upravlinnja, navigacii ta zv'jazku, 2009. – Vy'pusk 1(9). – S. 11-14.
 7. Afrajmovich E.L., Perevalova N.P. GPS-monitoring verxnej atmosfery' Zemli. – Irkutsk: GU NC RVH VSNC SO RAMN, 2006. – 480 s.
 8. Nisner P., Trethewy V., GPS Ionospheric Determinations Using LI Only// Proceeding of the 5th International conference on «Differential Satellite Navigation System»/ Additional Volume. St. Peterburg, Russia. – May, 1996. – P. 127-142.
 9. Klobuchar J. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users// IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System, 1986.– AES 23(3).– P. 325-331.
 10. Slyusarev G.V., Anashkin R.V., Katkov K.A., Pashincev V.P. Ustrojstvo opredeleniya stepeni chastotno-selektivny'x zamiraniy navigacionny'x radiosignalov sputnikovy'x radionavigacionny'x sistem / Patent na poleznuyu model' RF №93525 ot 27.04.2010. Zayavka № 2009144742 ot 02.12.2009.
 11. Zyuko A.G., Klovsij D.D., Korzhik V.I., Nazarov M.V.; Pod red. Klovsikogo D.D. Teoriya e`lektricheskoy svyazi: uchebnik dlya VUZov. – M.: Radio i svjaz', 1999. – 432 s.
 12. Petrov B.M. E`lektrodinamika i rasprostranenie radiovoln: uchebnik dlya VUZov. – 2-e izd., ispr. – M.: Goryachaya liniya. – Telekom, 2003. – 558 s.
 13. Shur A.A. Harakteristiki signala na troposfery'x radiolinyax. – M.: Svjaz', 1972. – 105 s.
 14. Katkov K.A. Analiz pogreshnosti pozicionirovaniya v sputnikovy'x radionavigacionny'x sistemax pri vvode v reshenie navigacionnoj zadachi psevdosputnika, raspolozhennogo v centre Zemli // Vestnik komp`yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2009. – №10. – S. 5-15.
 15. Katkov K.A., Skorynina S.A., Okulova M.S. Ispol`zovanie psevdosputnika v centre Zemli v sputnikovy'x radionavigacionny'x sistemax // Dvojny'e tehnologii, 2009. – №4. – S.56-63.

УДК 681.518.3

В.Н. ЧЕРНЫШОВ, В.В. МИШИН

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКА

В работе представлено описание программного обеспечения, предназначенного для регистрации и комплексной обработки диагностической информации при реализации электрического метода диагностирования подшипника и подшипникового узла.

Ключевые слова: автоматизация процесса измерения; USB2.0; микроконтактирование; НИВ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При практической реализации электрических методов диагностирования подшипников возникает задача высокочастотной регистрации и обработки в режиме реального времени электрических диагностических параметров, получаемых с объекта диагностирования. В процессе диагностирования необходимо анализировать такие сигналы, как высокочастотная временная функция электрического сопротивления подшипника, электрические импульсы проводимости подшипника в моменты микроконтактирования его деталей, импульсы термо- и трибо-ЭДС зон трения, пропорциональный функции вероятности микроконтактирования электрический сигнал – нормированное интегральное время микроконтактирования подшипника, вибросигнал, сигналы, несущие информацию о кинематике элементов подшипника. Для обеспечения диагностического алгоритма помимо аппаратных средств авторским коллективом разработано описанное в настоящей статье программное обеспечение (ПО), позволяющее обеспечить получение диагностической информации о работающем в реальном или модельном узле подшипнике по одиночным или комплексным диагностическим параметрам (среднее сопротивление подшипника, точечные оценки случайной функции сопротивления подшипника, интегральная оценка вероятности микроконтактирования подшипника (НИВ), кинематические параметры элементов подшипника).

ПО предназначено для обслуживания приборных средств диагностирования подшипников качения и скольжения, построенных на основе микроконтроллера (МК) PIC18F4550 с интерфейсом USB 2.0 и аналоговых первичных цепей получения электрических сигналов с подшипника. Структурная схема приборного модуля средства диагностирования изображена рисунке 1.

Средство диагностирования имеет три измерительных канала. Первый осуществляет измерение нормированного интегрального времени микроконтактирования (НИВ) [1]. На основе этого параметра известны методы, обеспечивающие решение ряда диагностических задач, включая усредненную комплексную оценку состояния подшипника с возможностью контроля отклонений формы его деталей и локальных дефектов. Суть измерения заключается в регистрации микроимпульсов проводимости подшипника при разрушении диэлектрической смазочной пленки при микроконтактировании при помощи аналогового модуля, преобразующего длительности импульсов в цифровой сигнал с последующей передачей в микроконтроллер. При этом подшипник б с помощью коммутаторов 2 и

11, управляемых микроконтроллером 5, подключается к аналоговой мостовой схеме 7. Питание моста 7 осуществляется источником стабильного тока 1. Мостовая схема преобразует электрическое сопротивление подшипника в дифференциальное напряжение, усиливается далее дифференциальным инструментальным услителем 8, выходной сигнал которого поступает на формирователь импульсов 9, который на основе результата сравнения с опорным напряжением 3 формирует на своем выходе импульс напряжения. Данный импульс образуется при достижении измеряемого сопротивления порогового значения (70 -75 Ом) и является управляющим для ключа 10, передающего счетные импульсы генератора 4 на вход счетчика МК. На основе принятого количества импульсов и заданного интервала усреднения программно определяется НИВ.

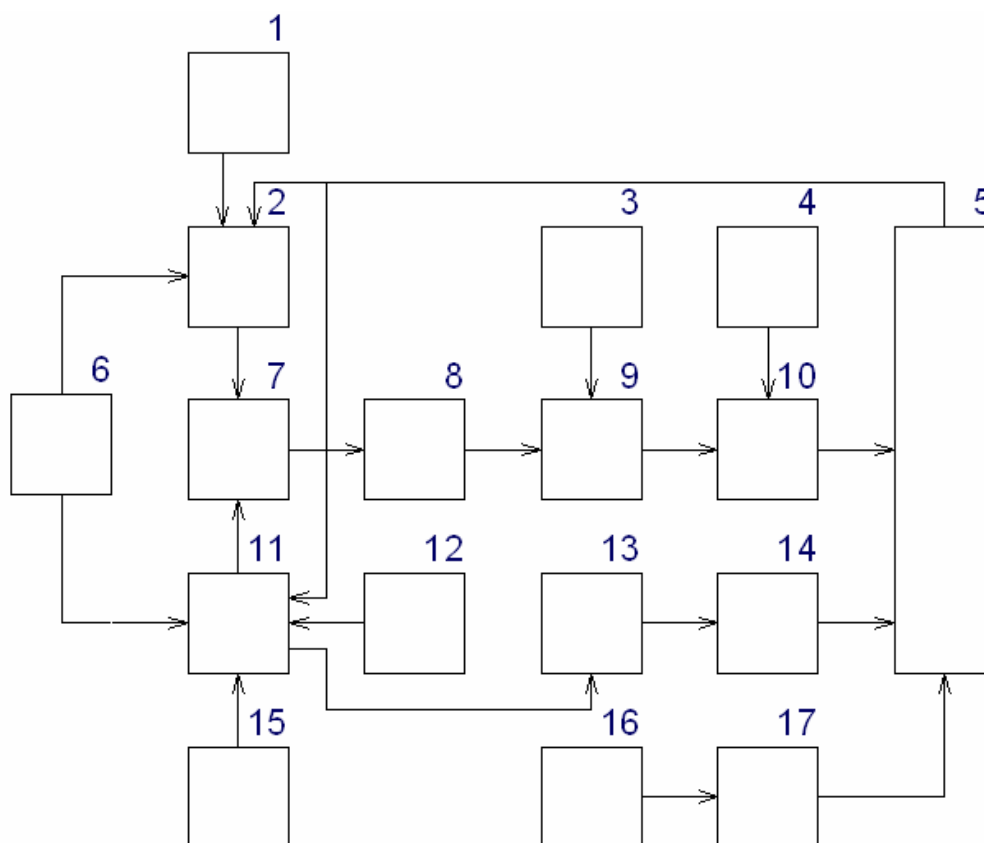


Рисунок 1 – Структурная схема средства диагностирования

1,12,15 – источник тока; 2, 11 – коммутатор; 3 – источник опорного напряжения; 4 – генератор прямоугольных импульсов; 5 – микроконтроллер; 6 – подшипник; 7 – мостовая схема; 8 – дифференциальный усилитель; 9 – компаратор напряжений; 10 – ключ; 13 – ограничитель; 14 – усилитель; 16 – оптопара; 17 – усилитель

Однако данный параметр имеет существенные ограничения области применения – он эффективен только при работе подшипника в условиях смешанной смазки (при граничной смазке НИВ принимает единичное значение, при жидкостной – нулевое), а при измерении НИВ за малые интервалы времени имеет место значительная погрешность. Электрическое сопротивление подшипника является более универсальным и пригодным к использованию при различных условиях смазки диагностическим параметром.

Канал измерения сопротивления представляет собой источник

стабилизированного тока с последующим измерением падения напряжения на объекте диагностирования. Источник тока спроектирован с учетом высокочастотных изменений проводимости (сопротивления) подшипника. При этом на подшипник 6 с помощью коммутаторов 2 и 11 подается ток от источника тока 12 или 15, выбор производится в зависимости от установленного диапазона измерения. Падение напряжения на подшипнике усиливается инструментальным дифференциальным усилителем 14 с высокочастотной полосой пропускания и подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера. Для защиты измерительной схемы от перенапряжения перед усилителем 14 стоит блок ограничения 13.

Канал для измерения кинематических параметров сепаратора состоит из оптопары 16, сигнал которой после предварительного усиления 17 приводится к цифровой форме АЦП МК. Период вращения сепаратора вычисляется программно как время между соседними максимумами сигнала.

Целью проектирования ПО является разработка программного продукта, с помощью которого возможно выполнить:

1. Управление измерительным прибором с использованием интерфейса USB 2.0; (выбор канала измерения, реализация функций по заданию интервала усреднения, диапазона измерения сопротивления, учет количества тел качения для расчета частоты вращения сепаратора, прием результатов измерения);
2. Интерактивную визуализацию измерительной информации в удобной форме на экране дисплея;
3. Сохранение результатов измерения в стандарте ASCII для дальнейшей математической обработки специализированными пакетами программ;
4. Предварительную статистическую обработку значений диагностических параметров.

ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ И ИНТЕРФЕЙСА ПРИЛОЖЕНИЯ

Программное обеспечение реализовано на языке программирования C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки Qt, что дает возможность компилировать программу под свободной лицензией для Linux [2,3]. На рисунке 2 приведена структура приложения.

Модуль ManagerApp является интегрирующей средой объектов приложения, он связывает управляющие виджеты графического интерфейса с соответствующими функциями для реализации задачи.

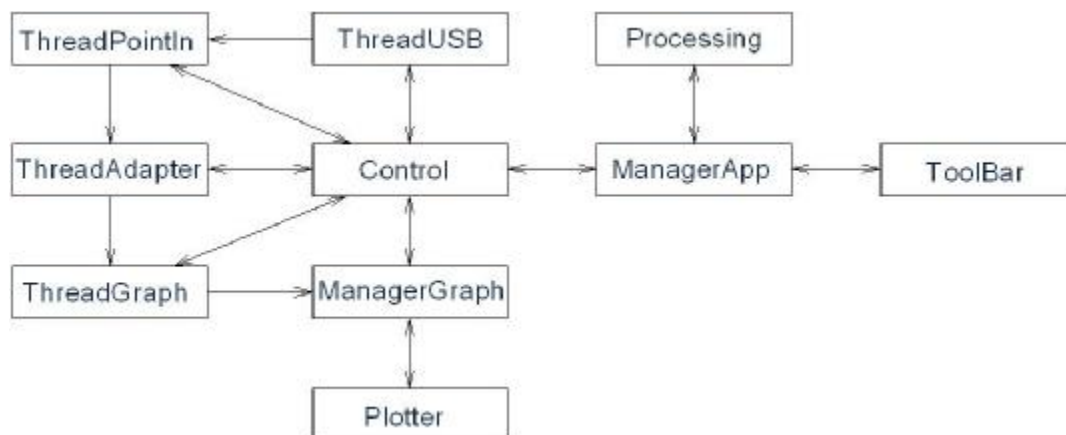


Рисунок 2 – Структура приложения

Модуль ToolBar является менеджером компоновки элементов управления и осуществляет координацию их взаимодействия.

Модуль Processing производит расчет оценок диагностических параметров по универсальным алгоритмам в соответствии с таблицей 1. Таким образом, в модуле Processing в ходе диагностирования выполняется развернутый статистический анализ диагностических параметров подшипника.

Таблица 1 – Основные параметры статистического анализа

Наименование параметра	Расчетная формула
Средние значения	$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i$
Средняя мощность	$P = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i^2$
Мощность переменной составляющей	$D = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - Q)^2$
Среднеквадратическое отклонение	$s = \sqrt{D}$
Эксцесс	$e = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - Q)^4}{D^2}$
Контрэксцесс	$k = \sqrt{\frac{1}{e}}$
Асимметрия	$As = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - Q)^3$
Относительная характеристика асимметрии	$s = \frac{As}{s^3}$
Степени заостренности	$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - Q)^4$
Средневыпрямленное значение	$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i $
Коэффициент формы	$\frac{\sqrt{P}}{Q}$
Коэффициент амплитуды	$\frac{y \max}{\sqrt{P}}$

Ядром интерфейса взаимодействия с прибором служит объект Control. Он является диспетчером, управляет запуском и завершением других потоков программы и координирует их взаимодействие в зависимости от значений переменных состояния. Для безопасной остановки потоков используется непосредственно прямое, в обход ядра, взаимодействие. Для связи вторичных потоков друг с другом и главным используется межпоточное соединение сигнал-слот.

Преобразование принятых пакетов в выходные данные осуществляется конвейерным способом. Каждый шаг обработки информации реализован отдельным потоком. Они совместно используют переменные типа очередь под управлением

мьютексов. Причем обработка очереди данных потоком ThreadPointIn осуществляется пакетно, а потоками ThreadAdapter и ThreadGraph поэлементно, что связано с приоритетом ThreadPointIn и используемым механизмом синхронизации.

Поток ThreadUSB реализует функции обмена пакетами с прибором по интерфейсу USB 2.0 с использованием библиотеки от MICROCHIP `mpusbapi.dll`. Каждый пакет данных имеет поле маркера, с помощью которого определяется тип данных, и поле, указывающее длину посылки. Максимальный размер пакета, принятый в системе, равен 64 байтам. В качестве типа передачи выбран `bulk`, при этом данные передаются потоком один пакет вслед за другим. `Bulk` обеспечивает передачу с подтверждением и повторной передачей в случае возникновения ошибок, а управление потоком осуществляется с использованием `handshake` пакетов, поэтому данный тип является достоверным. Поток ThreadPointIn, обеспечивающий единственную точку входа (общий интерфейс) для пакетов данных, реализует устойчивость системы к изменениям в реализации ThreadUSB, на него возложена обязанность классификации пакетов по маркеру и запись их в соответствующие очереди для обработки.

Учитывая различный формат представления диагностических параметров в цепь обработки добавлен поток, конвертирующий исходные данные к единому виду, удобному для хранения и отображения – ThreadAdapter. Поток ThreadGraph настраивает параметры Plotter (диапазон значений по осям и количество отметок на них) и формирует вектор данных для отображения.

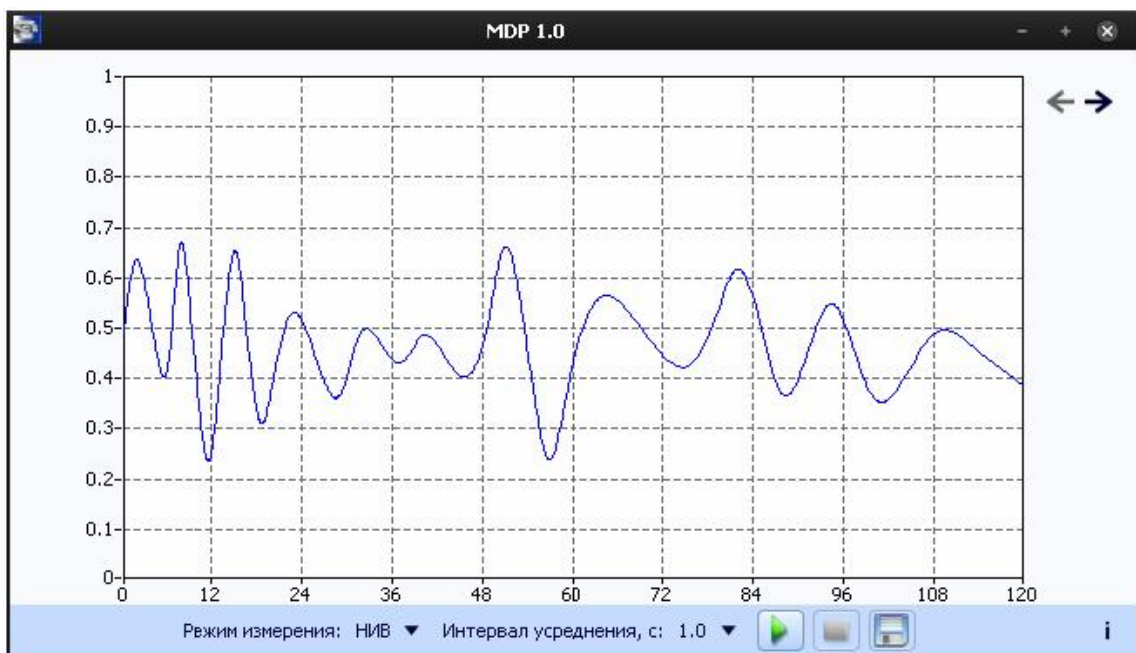
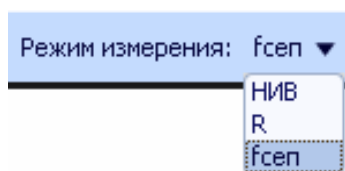
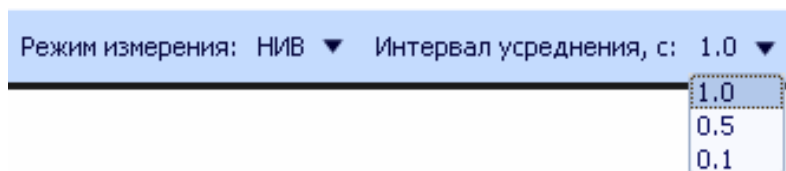


Рисунок 3 – Окно программы

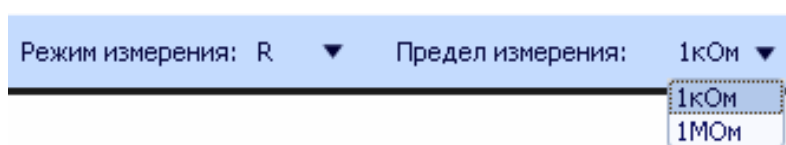
Класс `MainRegion` является интегрирующей средой объектов отображения информации, основой которых служат объекты класса `Plotter`. `Plotter` содержит функции построения графиков диагностических параметров, для осуществления которых применяются объекты классов `QPixmap` (контекстно зависимое представление, увеличивает скорость отображение), `QVector` (динамически изменяемый массив с экономным расходом памяти) и `QMap` (ассоциативный контейнер).



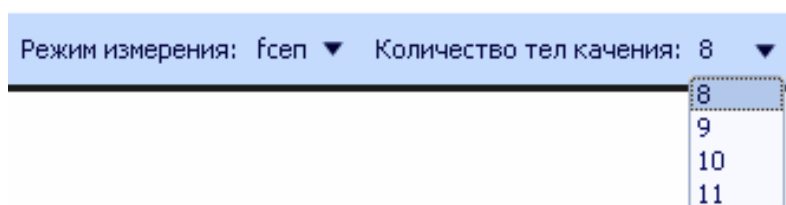
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Панель настроек

Окно программного продукта приведено на рисунке 3. Оно делится на две части: в нижней располагаются кнопки управления (начать измерение, остановить, сохранить результат). На рисунке 4 изображена панель настройки режима измерения и установки сопутствующих параметров. Списки для установки параметров формируются динамически, что позволяет компактно расположить объекты управления и не отвлекаться на неиспользуемые элементы, делая интерфейс удобнее.

В верхней части окна выводится график временной зависимости измеряемого параметра. Пользователь может изменить масштаб графика, начертив резиновую ленту, делая сначала щелчок в некоторой точке изображения, перетаскивая затем мышку с нажатой левой кнопкой в другую позицию и освобождая клавишу мыши. Пользователь может увеличивать изображение несколько раз, для перемещения по стеку масштабов в правом верхнем углу располагаются соответствующие кнопки. Они появляются при первом изменении масштаба и не заслоняют экран до этого. Для горизонтальной и вертикальной прокрутки используются клавиши управления курсором и колесико мыши.

Представленное ПО в совокупности с аппаратным обеспечением позволяет выполнять задачи экспресс диагностики и функционального диагностирования подшипников качения и подшипниковых узлов электрическими методами диагностирования.

ВЫВОД

В процессе проектирования была решена задача управления измерительными приборами, построенными на основе микроконтроллера PIC18F4550 с использованием интерфейса USB 2.0. Обеспечена визуализация измерительной информации в режиме реального времени с возможностью сохранения данных. В программе реализованы основные функции, необходимые для статистической обработки значений диагностических параметров. Архитектура приложения обеспечивает независимую модификацию объектов и потоков. Алгоритм обработки входных пакетов данных легко расширяется для дополнительных диагностических параметров. Распределение основных и вспомогательных требований между модулями программы осуществлено таким образом, чтобы обеспечить устойчивую работу системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подмастерьев К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
2. Страуструп Б. Язык программирования С++ СПб.: Бином, 2008. – 1104 с.
3. Шлем М. Qt4. Профессиональное программирование на С++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 880 с.

Чернышов Виктор Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант
Тел.: (4862) 41-98-76
E-mail: bukchep@gmail.com

Мишин Владислав Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел.: (4862) 41-98-76
E-mail: vlad89290@gmail.com, vm@rbcmail.ru

V.N. CHERNYSHEV, V.V. MISHIN

THE PROGRAM FOR REGISTRATION AND COMPLEX PROCESSING OF DIAGNOSTIC ELECTRIC PARAMETERS OF THE BEARING

In the paper description of the software intended for registration and complex processing of the diagnostic information at realization of an electric method of diagnosing of the bearing is presented.

Keywords: automation process of measurement; USB 2.0; mikrokontaktirovanie; NIT.

BIBLIOGRAPHY

1. Podmaster`ev K.V. E`lektroparametricheskie metody' kompleksnogo diagnostirovaniya opor kacheniya. – М.: Mashinostroenie-1. – 376 s.
2. Straustrup B. Yazyk programirovaniya S++SPb.: Binom, 2008. – 1104 s.
3. Shlem M. Qt4. Professional`noe programirovanie na S++. – SPb.: BXV-Peterburg, 2007. – 880 s.

УДК 658.512+658.012

А.П. ГРИГОРЬЕВ, В.П. БИРЮКОВ, П.И. КОМАРОВ,
Д.А. СИБАРОВ, В.В. СОТНИКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ

Целью статьи является создание математической модели процесса изомеризации. Математическая модель представляется в виде совокупности уравнений материального, теплового и кинетического балансов.

Ключевые слова: математическая модель; процесс изомеризации.

Процесс изомеризации представляет собой превращение низкооктановых легких прямогонных компонентов в высокооктановые изомеры, которые добавляются к бензину риформинга для повышения его октанового числа (ОЧ) до требуемого значения.

Наибольшее распространение получил процесс среднетемпературной изомеризации, который иногда осуществляется в трех последовательно расположенных реакторах, заполненных катализатором. Исходная смесь, состоящая из низкооктановых парафиновых углеводородов и водородосодержащего газа, предварительно подогретая до заданной температуры, подается на вход первого реактора и далее, проходя первый, второй и третий реакторы, подвергается процессу изомеризации.

Сложность управления процессом изомеризации определяется невозможностью оценки октанового числа изомеризата в реальном масштабе времени. Решение этой задачи может быть достигнуто при наличии математической модели, разработке которой посвящается нижеприведенный материал статьи.

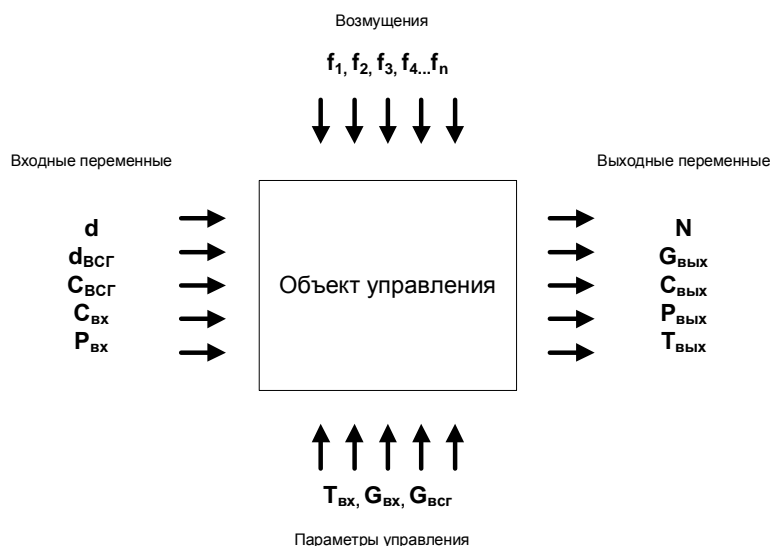


Рисунок 1 – Процесс изомеризации как объект управления

$C_{вх}$ – состав сырья, $C_{всг}$ – концентрация водородсодержащего газа (ВСГ), $P_{вх}$ – давление на входе, d_c – плотность сырья, $d_{всг}$ – плотность ВСГ, $T_{вх}$ – температура на входе, $G_{вх}$ – расход сырья, $G_{всг}$ – расход ВСГ, возмущения – снижение активности катализатора и случайные отклонения параметров, N – октановое число, $G_{вых}$ – выход целевого продукта, $C_{вых}$ – состав целевого продукта, $T_{вых}$ – температура на выходе из реактора, $P_{вых}$ – давление на выходе из реактора

При разработке математической модели были приняты следующие допущения:

1. Не учитывается влияние водорода на скорость протекания процесса из-за постоянства состава водородсодержащего газа.
2. Сырье не содержит других углеводородов, кроме тех, которые участвуют в процессе.
3. Реактор рассматривается как аппарат идеального вытеснения.

Для построения математической модели процесса необходимо рассмотреть его как объект автоматизации с выявлением входных, выходных, управляющих и возмущающих воздействий, что показано на рисунке 1.

Исходя из физико-химической сущности процесса, его математическую модель можно представить в виде совокупности уравнений материального, теплового и кинетического балансов, представленных ниже для каждого из реакторов.

Уравнения материальных балансов по компонентам:

$$\left. \begin{array}{l} 0 < l \leq L, \\ 0 < t \leq \Theta \end{array} \right\} \begin{cases} \frac{\partial C_A^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_A^i}{\partial l} - r_1 + r_2, \\ \frac{\partial C_B^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_B^i}{\partial l} + r_1 - r_2, \\ \frac{\partial C_C^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_C^i}{\partial l} - r_3 + r_4 - r_5 + r_6, \\ \frac{\partial C_D^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_D^i}{\partial l} + r_3 - r_4 - r_7 + r_8 - r_9 + r_{10}, \\ \frac{\partial C_E^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_E^i}{\partial l} + r_5 - r_6 - r_{11} + r_{12} - r_{13} + r_{14}, \\ \frac{\partial C_F^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_F^i}{\partial l} + r_7 - r_8 + r_{11} - r_{12} + r_{16} - r_{15}, \\ \frac{\partial C_G^i}{\partial t} = -v \frac{\partial C_G^i}{\partial l} + r_9 - r_{10} + r_{13} - r_{14} + r_{15} - r_{16}, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = \frac{G}{rS}$; $S = \frac{\rho D^2}{4}$ – площадь поперечного сечения реактора [м^2];

ρ – плотность сырья [$\text{кг}/\text{м}^3$];

r_1, r_2, \dots, r_{16} – скорость реакции [$\text{моль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$];

$C_A, C_B, C_C, C_D, C_E, C_F, C_G$ – концентрации веществ [$\text{моль}/\text{м}^3$];

i – номер реактора ($i = 1, 2, 3$);

l – длина реактора [м];

v – линейная скорость основного потока в реакторе [$\text{м}/\text{с}$];

G – расход сырья [$\text{кг}/\text{с}$];

D – диаметр реактора [м].

Уравнение теплового баланса:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r \cdot c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial l^2} - \frac{G}{S \cdot r \cdot c_p} \frac{\partial (c_p T)}{\partial l} - \frac{\sum_i^n (\Delta H_i^0 r_i)}{r \cdot c_p} - \frac{k_T f_S}{V \cdot r \cdot c_p} (T - T_H), \quad (2)$$

где T – температура [K];

c_p – удельная теплоемкость вещества в потоке [$\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$];

k_T – коэффициент теплопередачи [$\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{K})$];

ΔH_i^0 – теплота реакции [$\text{Дж}/\text{моль}$], (i – номер реакции; $i = \overline{1, 8}$).

Уравнения баланса кинетической энергии:

$$\frac{dP}{dl} = -f \frac{rv^2}{2gD} = -f'v^2, \quad (3)$$

где P – давление [атм];

$$f' = f \frac{r}{2gD},$$

f, f' – коэффициенты пристенного трения;

g – ускорение свободного падения [9,807 м/с²].

Так как при моделировании процесса изомеризации давление принимается неизменным, то в последующих расчетах уравнение (3) не включается в расчетную схему.

Предлагаемая модель позволяет количественно определить углеводородный состав продуктов изомеризации на выходе всех трех реакторов при различных температурных режимах их работы в реальном масштабе времени.

Так как система (1) представляет собой модель в частных производных, то для ее решения выбран метод конечных разностей. В соответствии с методом в рассматриваемой области пространства $G(l, t)$ вместо непрерывной среды вводится ее разностный аналог (l – длина реактора, t – время). Эта дискретная модель описывается сеточными функциями, которые определены в некотором конечном множестве точек (l_i, t^j) . Это множество называется сеткой, а конкретные (l_i, t^j) – узлами сетки. Здесь индекс i обозначает пространственные узлы сетки, а индекс j – временные узлы сетки. Переход от непрерывной функции к сеточной осуществляется по правилу: значение сеточной функции в узле (l_i, t^j) равно величине соответствующей непрерывной функции в этой же точке, то есть $C_{Ai}^j = C_A(l_i, t^j)$, $C_{Bi}^j = C_B(l_i, t^j)$. Указанный прием называется проектированием функции на сетку.

Для построения разностной схемы используется непосредственная формальная аппроксимация производных на двухслойном сеточном шаблоне (схема «прямоугольник»).

Схема «прямоугольник» обладает безусловной динамической и статической устойчивостью, что подтверждено исследованием с помощью метода Фурье-Неймана. Другие известные разностные схемы либо неустойчивы, либо условно устойчивы.

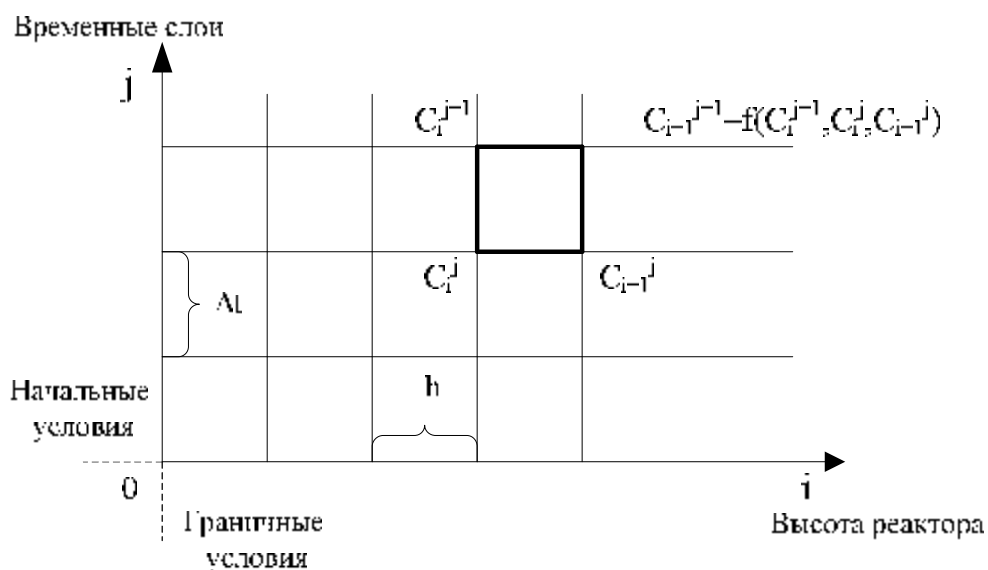


Рисунок 2 – Прямоугольная равномерная сетка

Формула определения концентрации вещества в точке $(i+1, j+1)$ в общем виде выглядит следующим образом:

$$C_{i+1}^{j+1} = \frac{1}{h + v \cdot \Delta t} \cdot [(v \cdot \Delta t - h) \cdot C_i^{j+1} + (v \cdot \Delta t + h) \cdot C_i^j + (-v \cdot \Delta t + h) \cdot C_{i+1}^j - 2h\Delta t \cdot r] \quad (4)$$

причем по начальному условию имеем $C_i^j|_{j=0} = [C(h_i)]^0 \equiv C_i^0$ для всех $i \in \{0, 1, \dots, M\}$ (5)

по граничному условию имеем $C_i^j|_{i=0} = [C(t_j)]_0 \equiv C_0^j$ для всех $j \in \{0, 1, \dots, N\}$. (6)

Поэтому в точке 0 прямоугольной области интегрирования значение концентрации компонентов определено двояко:

это и $C_i^0|_{i=0} \equiv C_0^0$, определяемое начальным условием при $i=0$,

и $C_0^j|_{j=0} \equiv C_0^0$, определяемое граничным условием при $j=0$.

Чтобы «примирить» эти две оценки, в точке $O(0,0)$ принимают

$$C_0^0 = \frac{C_0^0 + C_0^0}{2}, \text{ т.е. их среднюю величину.} \quad (7)$$

Находить значения концентраций компонентов реакционной массы в конкретной точке области интегрирования удобнее всего послойно, заполняя сначала весь горизонтальный слой при $j=1$, затем следующий горизонтальный слой (при $j=2$) и так далее до слоя $j=N$, ограничивающего сверху область интегрирования.

Заполнение первого горизонтального слоя (при $j=1$) осуществляется следующим образом: значения концентраций в точках $(0, 1)$ и $(1, 0)$ определяются из граничных и начальных условий соответственно. Затем определяется значение концентрации в точке $(0,0)$. Далее по формуле для нахождения концентрации вещества в точке $(i+1, j+1)$ находим значение концентрации в точке $(1, 1)$

$$C_1^1 = \frac{1}{h + v\Delta t} \cdot [(v\Delta t - h)C_0^1 + (v\Delta t + h) \cdot C_0^0 + (-v\Delta t + h) \cdot C_1^0 - 2h\Delta t \cdot r], \quad (8)$$

подставляя в формулу найденные ранее значения концентраций в точках $(0, 1)$, $(1, 0)$ и $(0, 0)$.

И, наконец, для $i=M$ (последний узел на слое $j=1$) находим, что

$$C_M^1 = \frac{1}{h + v\Delta t} \cdot [(v\Delta t - h)C_{M-1}^1 + (v\Delta t + h) \cdot C_{M-1}^0 + (-v\Delta t + h) \cdot C_M^0 - 2h\Delta t \cdot r]. \quad (9)$$

Схематично заполнение первого горизонтального слоя координатной сетки показано на рисунке 3.

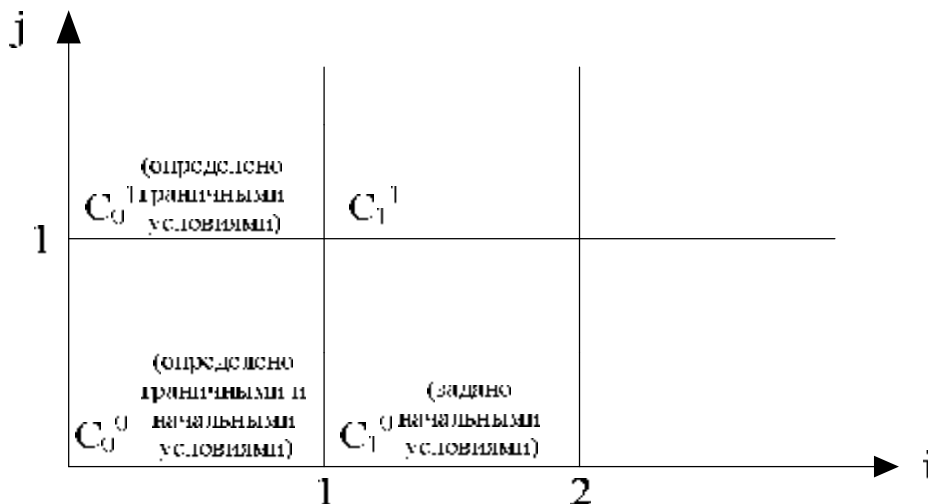


Рисунок 3 – Заполнение первого горизонтального слоя

Таким образом, во всех узловых точках координатной сетки значения C_i^1 ($i=0,1,\dots,M$) определены, аналогично рассмотренной схеме заполняется 2-й слой области интегрирования, 3-й, 4-й и так далее до последнего с номером N .

Математическая модель материального баланса процесса изомеризации определяется явными соотношениями, поэтому она всегда (при любых Δt и Δh) должна иметь некоторое решение (разумное, то есть с положительными значениями рассчитываемых концентраций).

Данная математическая модель является динамической. Она позволяет осуществлять расчет концентрации основных компонентов сырья при его движении по реакторам и определять октановое число в ходе технологического процесса, что в существующих системах в настоящее время отсутствует. А также она позволяет рассчитать температуру на входе в первый реактор для получения продукта необходимого качества.

Для изображения алгоритма решения математической модели введем следующие обозначения:

L – длина реактора,

t – время,

h – шаг сетки по пространственной переменной,

τ – шаг сетки по временной переменной,

M – размерность сетки по длине,

N – размерность сетки по времени,

r_z – скорость реакции,

k_z – константа скорости реакции

T_{ex} – входная температура реактора,

G_{ex} – расход сырья на входе в первый реактор,

C_{ABX} – концентрация н-пентана на входе в реактор,

C_{BBX} – концентрация изо-пентана на входе в реактор,

C_{CBX} – концентрация н-гексана на входе в реактор,

C_{DBX} – концентрация 2-метилпентана на входе в реактор,

C_{EBX} – концентрация 3-метилпентана на входе в реактор,

C_{FBX} – концентрация 2,3-диметилпентана на входе в реактор,

C_{GBX} – концентрация 2,2-диметилбутана на входе в реактор,

v – линейная скорость,

S – площадь поперечного сечения реактора,

z – количество реакций,

i – вспомогательная величина для определения пространственных узлов сетки,

j – вспомогательная величина для определения временных узлов сетки,

C_{ABYX} , C_{BBYX} , C_{CBYX} , C_{DBYX} , C_{EBYX} , C_{FBYX} , C_{GBYX} – концентрации веществ на выходе из реакторов,

G_{BYX} – выход целевого продукта,

T_{BYX} – температура на выходе из реактора.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 4.

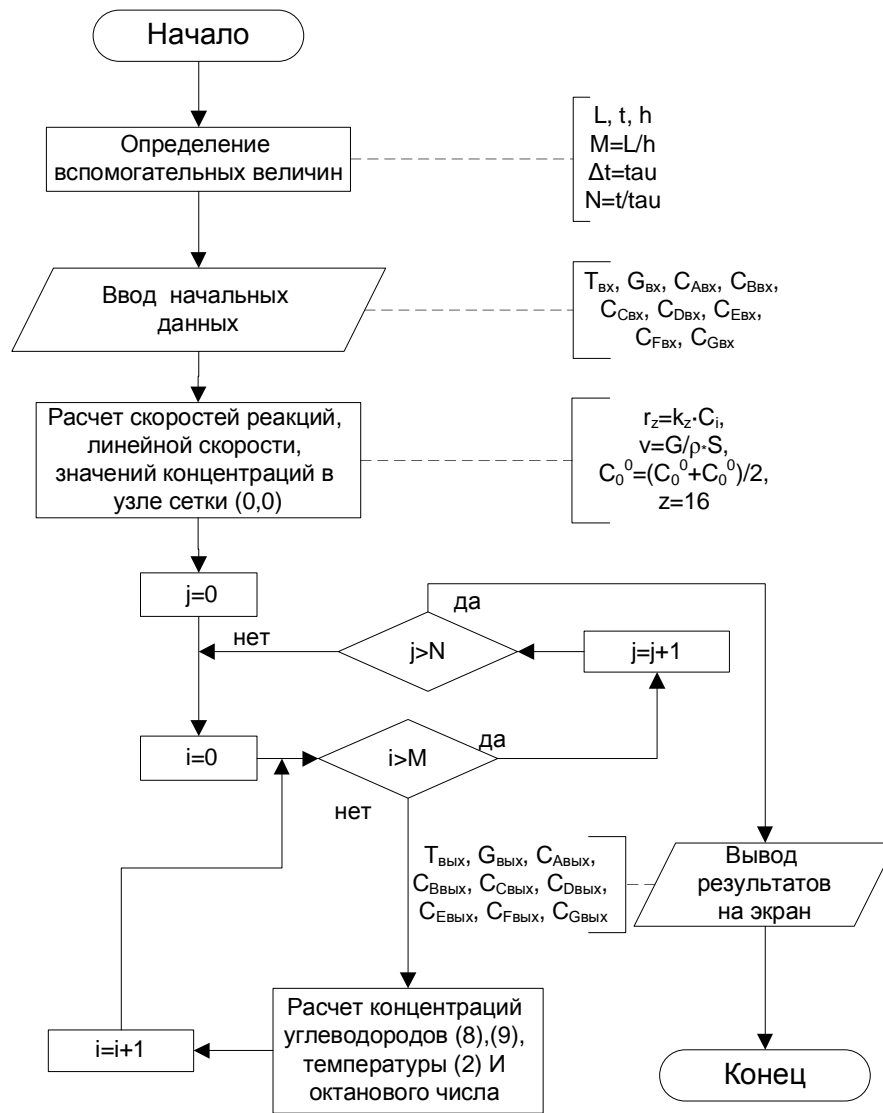


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма решения математической модели

Использование предложенной математической модели в системе управления процессом изомеризации иллюстрируется на примере определения углеводородного состава и октанового числа на основе производственных экспериментальных данных.

Таблица 1 – Результаты вычисления математической модели

Исходные данные		Расчетные значения ОЧ		
ОЧ входной смеси	71	I реактор	II реактор	III реактор
		78	81	83
Состав сырья	Н-пентан 59,37% Изо-пентан 17,39% Н-гексан 5,41% 2-метилпентан 10,80% 3-метилпентан 4,52% 2,3-диметилпентан 1,06% 2,2-диметилбутан 0,92%	Температура на выходе реакторов		
		I реактор	II реактор	III реактор

Объемная скорость	2ч ⁻¹	131,1°С	134,2	158,1
Начальная температура	120°С			
Расходы сырья и ВСГ	Сырья 35т/ч ВСГ 135,7м ³ /ч	Концентрации веществ на выходе из III реактора Н-пентан 20,87% Изо-пентан 55,89% Н-гексан 2,49% 2-метилпентан 7,23% 3-метилпентан 5,36% 2,3-диметилпентан 0,86% 2,2-диметилбутан 6,772%		
Давление на входе	25атм			
Содержание бензола	0,53%	Константы скоростей		
Теплоемкость	190,931Дж/(кг·К)	Прямые	Обратные	
Плотность	0,651кг/м ³	k1=0,039	k2=0,01	
Температура на входе реакторов	I реактор 120°С II реактор 130°С III реактор 135°С	k3=0,009	k4=0,005	
		k5=0,031	k6=0,001	
		k7=0,012	k8=0,015	
		k9=0,017	k10=0,035	
		k11=0,001	k12=0,06	
		k13=0,06	k14=0,031	
		k15=0,035	k16=0,0001	

Из приведенной таблицы видно, что расчетные значения октанового числа и температур на выходе из реакторов отличаются от регламентных не более, чем на 5%, что свидетельствует о возможности включения математической модели в структуру системы управления процессом изомеризации для стабилизации качества изомеризата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А.П., Сотников В.В., Сибаров Д.А., Лисицын Н.В. Алгоритм системы управления процессом изомеризации // Информационные технологии в науке, образовании и производстве. – Том 3: – Орел: ОрелГТУ, 2010. – С. 74-80.
2. Сотников В.В., Сибаров Д.А., Григорьев А.П., Комаров П.И., Демидов А.П. Система управления процессом изомеризации // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: Орел: ОрелГТУ, 2010. – №4 – С. 112-118.
3. Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии: – М.: Химия, 1978. – 376 с.
4. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии: 4-е изд., перераб., доп.: учебн. для ВУЗов. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
5. Бурсиан Н.Р. и др. Изомеризация парафиновых углеводородов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979. – 71 с.
6. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. – М., 1972. – 235 с.

Григорьев Александр Павлович

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

Бирюков Владимир Петрович

Балаковский государственный технический университет
Заведующий кафедрой автоматике и кибернетики
Тел.: +7(927)227-94-07
E-mail: bvp-bittu@mail.ru

Комаров Петр Иванович

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

Сибаров Дмитрий Андреевич

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

Сотников Владимир Васильевич

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

A.P. GRIGOR`EV, V.P. BIRYUKOV, P.I. KOMAROV, D.A. SIBAROV, V.V. SOTNIKOV

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF ISOMERIZATION

Aim is to create a mathematical model of process of isomerization. A mathematical model is represented as a set of equations of the material, thermal and kinetic balance.

Keywords: *the mathematical model; the process of isomerization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Grigor`ev A.P., Sotnikov V.V., Sibarov D.A., Lisicyn N.V. Algoritm sistemy' upravleniya processom izomerizacii // Informacionny'e tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve. – Tom 3: – Orel: OrelGTU, 2010. – S. 74-80.
2. Sotnikov V.V., Sibarov D.A., Grigor`ev A.P., Komarov P.I., Demidov A.P. Sistema upravleniya processom izomerizacii: //Informacionny'e tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve: – Orel: OrelGTU, 2010. – № 4. – S. 112-118.
3. Zhorov Yu.M. Modelirovanie fiziko-ximicheskix processov neftepererabotki i nefteximii: – M.: Ximiya, 1978. – 376 s.
4. Kafarov V.V. Metody' kibernetiki v ximii i ximicheskoy tekhnologii: 4-e izd., pererab., dop. – M.: Ximiya, 1985 (uchebn. dlya VUZov). – 448 s.
5. Bursian N.R. i dr. Izomerizaciya parafinovyx uglevodorodov. – M.: CNIITE`neftexim, 1979. – 71 s.
6. Del`mon B. Kinetika geterogennyx reakcij. – M., 1972. – 235 s.

УДК 004.942

И.А. ДАНИЛОВ, М.С. ГОРБУНОВ, Г.И. ЗЕБРЕВ, П.Н. ОСИПЕНКО, А.А. ИВЛЕВ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМС С ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИМ ФАКТОРАМ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрены основные проблемы разработки программных средств моделирования характеристик интегральных микросхем (ИМС), предназначенных для функционирования в условиях воздействия ионизирующего излучения (ИИ) космического пространства. Представлены методы схемотехнического моделирования дозовых эффектов и эффектов от тяжелых заряженных частиц космического пространства, основанные на использовании языка описания аппаратуры Verilog-A.

***Ключевые слова:** программные средства; моделирование; радиационная стойкость; ИМС для космических применений; Verilog-A; КМОП; одиночные сбои; тяжелые заряженные частицы; эффекты полной дозы.*

ВВЕДЕНИЕ

К микроэлектронным изделиям с длительным сроком функционирования в условиях действия ионизирующего излучения (ИИ) предъявляется ряд специфических требований, к числу наиболее значимых из которых можно отнести быстроедействие, малое энергопотребление, малые габаритные размеры, широкий диапазон рабочих температур, высокую радиационную стойкость и сбоеустойчивость. Выполнение указанных требований накладывает жесткие ограничения на схемотехнические, конструкционные и технологические решения таких изделий.

Существуют технологические и конструктивно-топологические методы повышения стойкости ИМС к радиационным эффектам. Технологические методы предполагают внесение изменений в техпроцесс, а конструктивно-топологические методы позволяют повысить радиационную стойкость в рамках существующей коммерческой технологии. Неотъемлемой частью процесса создания таких методов является моделирование, которое в силу сложности объекта имеет многоуровневый характер и базируется на физическом и схемотехническом уровнях описания. Физический уровень моделирования описывает процессы деградации в материалах, структурах и приборах, поставляя выходные данные, которые могут использоваться как входные параметры для схемотехнического моделирования с использованием стандартных систем автоматического проектирования (САПР).

Кроме того, при проектировании радиационно-стойких ИМС разработчику требуется удобный инструмент, встроенный в стандартный маршрут проектирования и совместимый со стандартными коммерческими средствами САПР.

ОСНОВНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Можно выделить несколько основных дозовых эффектов, характерных для современных КМОП технологий [1,2]: радиационно-индуцированные токи утечки, сдвиг порогового напряжения, деградация крутизны (подвижности) и подпорогового

размаха передаточной характеристики. Эти явления известны как эффекты полной дозы (Total Ionizing Dose (TID) Effects) и связаны с накоплением заряда в изолирующих оксидах и поверхностных состояниях на границе раздела Si-SiO₂ [1-3]. В современных транзисторах с толщиной подзатворного оксида в несколько нанометров накопление зарядов и поверхностных состояний даже при облучении с дозами ~1 Мрад (SiO₂) незначительно. Надпороговая вольтамперная характеристика (ВАХ) таких транзисторов практически не изменяется при таких дозах, а основной эффект дозовой деградации выражается в увеличении на несколько порядков подпороговых токов утечки. Радиационно-индуцированные токи утечки вызываются зарядом, захваченным в толстых слоях изоляции современных транзисторов КМОП технологии. Для смешанных (аналого-цифровых) интегральных микросхем (ИМС) растёт роль разброса параметров элементов, усиленного воздействием ионизирующего излучения [4].

Одним из основных эффектов, приводящих к сбоям в запоминающих и логических элементах ИМС, является попадание тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) в чувствительную область транзистора. Основным механизмом воздействия ТЗЧ на элементы ИМС заключается в образовании электронно-дырочных пар, обусловленных ионизацией. В результате попадания ТЗЧ в сток МОП транзистора на его выходе появляется импульс тока, способный привести к сбоям в функционировании прибора.

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Каждый уровень проектирования СБИС характеризуется своим математическим обеспечением, используемым для моделирования и анализа схем. Выделяют следующие уровни: системный, регистровый (RTL – Register Transfer Level), называемый также уровнем регистровых передач, логический, схемотехнический, приборно-технологический (компонентный, физический). Общее название для регистрового и логического уровней – уровень функционально-логический [5].

Для схемотехнического моделирования используются симуляторы типа SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). В полупроводниковой индустрии используется несколько десятков программ схемотехнического моделирования, базирующихся на решении систем дифференциальных уравнений и не использующих допущений, снижающих достоверность получаемого результата.

На приборно-технологическом (физическом) уровне моделируются характеристики отдельных приборов и структур: профили легирования, электрические характеристики и их зависимость от вариаций технологического процесса. Эти задачи обычно решаются с помощью двух- и трёхмерного моделирования, осуществляемого программами типа TCAD [6, 7]. Такой подход даёт точный результат, однако является требовательным к временным затратам и вычислительным ресурсам, а также требует специальных навыков от оператора. Исследовать влияние радиационных эффектов на характеристики прибора можно с помощью трёхмерного моделирования, однако проблема передачи полученных данных на схемотехнический уровень остаётся нерешённой. В то же время ни одна из существующих моделей схемотехнического уровня, поддерживаемых коммерческими симуляторами, не имеет встроенных средств моделирования радиационных эффектов. Таким образом, разработчику необходимы методы и инструменты для адекватного

прогнозирования деградации характеристик, вызванной воздействием ионизирующего излучения, позволяющей сохранять приемлемую точность расчётов на схемотехническом уровне и не требующей от разработчика специальных навыков в области радиационной стойкости ИМС.

Стандартные SPICE модели (BSIM, BSIMSOI, EKV и др.) не учитывают радиационные эффекты и интеграция физических моделей в процесс схемотехнического моделирования всё ещё остаётся нерешённой проблемой. Разработчикам специализированных ИМС часто требуется эффективный инструмент, встроенный в стандартный маршрут проектирования.

В течение прошедших нескольких лет было предложено несколько концепций моделирования радиационных эффектов [8-10]. В большинстве случаев такие концепции базируются на VHDL-AMS или другом HDL моделировании радиационно-индуцированной деградации характеристик путём включения в модель дозовых зависимостей основных параметров подсистем. Дозовые зависимости обычно получаются из данных по радиационным испытаниям чипа в целом. Главным недостатком этих инструментов является практическая невозможность учёта зависимости радиационной деградации от электрического режима при облучении, т.к. используемые полуэмпирические зависимости не обладают должной гибкостью: тестовые структуры не могут быть испытаны во всех возможных электрических режимах.

Другой важной проблемой разработки радиационно-стойкой аппаратуры является увеличение рассогласования параметров, обусловленное различием электрических режимов при воздействии ИИ. Явления рассогласования и технологического разброса параметров хорошо изучено, однако в настоящее время опубликовано мало работ по проблеме радиационно-индуцированного рассогласования.

Большинство современных САПР не имеют также и встроенных инструментов для моделирования эффектов от воздействия тяжелых заряженных частиц на элементы ИМС. Поэтому в настоящее время моделирование этих эффектов в симуляторах SPICE-класса осуществляется следующим образом. Параллельно рп-переходу сток-подложка МОП-транзистора подключается источник тока специальной формы [11], который имитирует реальный импульс тока, возникающий на стоке транзистора в случае попадания ТЗЧ в чувствительную область.

Главным недостатком данного метода является его высокие трудоемкость и временные затраты. Оператор должен последовательно вручную подключать источник тока к каждому транзистору схемы. Таким образом, время, затрачиваемое на анализ схемы, определяется временем, затрачиваемым оператором на ручные операции, а не временем моделирования.

МЕТОД СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОЗОВЫХ ЭФФЕКТОВ

Получение дозовых зависимостей многих параметров ИМС практически невозможно из-за сложности необходимого оборудования. Эти зависимости могут быть получены с помощью разработанного программного средства, представляющего собой Verilog-A описание физической модели дозовых эффектов, встроенной в описание компактной модели транзистора BSIM3v3 [12].

Предложенный метод моделирования дозовых эффектов на схемотехническом

уровне состоит в следующем. В файле с моделями транзисторов описываются подсистемы (subcircuits) для каждой модели. Подсистема представляет собой описание схмотехнических параметров транзистора и объявление основного элемента, тип которого соответствует названию модуля, описанного на Verilog-A (см. листинг).

```

Листинг – подсистема, описывающая транзистор nmos_tn как Verilog-A модуль
bsim3mos_rad
inline subckt nmos_tn ( d g s b )
parameters w=1E-7 l=1E-7 as=0 ad=0 ps=0 pd=0 nrd=0 nrs=0
...
nmos_tn (d g s b) bsim3mos_rad W=w L=l AD=ad AS=as PD=pd PS=ps NRD=nrd
NRS=nrs DOSE=dose RADMODE=radmode VGIRR=vgirr
+ TYPE=1
+ LMIN=1.8E-007          LMAX=3.5E-007          WMIN=2.2E-007
+ WMAX=6E-007           VERSION=3.3             MOBMOD=1
...
ends nmos_tn

```

К схмотехническим параметрам транзистора (длине и ширине канала, площадям и периметрам стоков и истоков и т.п.) добавляются параметры моделирования дозовых эффектов: режим моделирования («radmode»), напряжение на затворе при облучении («vgirr») (для режима 1) и значение накопленной дозы («dose»).

Предусмотрено 2 режима моделирования:

1. Полагается, что все транзисторы в схеме облучаются в одном режиме, устанавливаемом параметром «vgirr».

2. Для каждого транзистора электрический режим при облучении устанавливается первой точкой анализа: начальным значением напряжения при анализе по постоянному току (DC-анализе), значением напряжения при $t=0$ при анализе во временной области (transient) или значением рабочей точки в малосигнальном анализе (AC-анализе).

Первый режим используется при калибровке параметров физической модели по экспериментальным дозовым зависимостям и ВАХ. Рекомендуется для проведения DC-анализа.

Второй режим является основным и используется для оценки радиационной стойкости ИМС различной сложности. В разделе 4.4 рассмотрены основные виды анализа и приведены результаты моделирования для нескольких типов аналоговых и цифровых ИМС.

Важным преимуществом данного метода является то, что в схеме не производится никаких изменений: задаётся только режим моделирования, параметры при облучении (в режиме 1) и значение накопленной дозы. Таким образом, инструмент встроен в стандартный маршрут проектирования и к навыкам проектировщика не предъявляется никаких специальных требований.

Метод может быть использован как при проектировании новых ИМС, так и для оценки радиационной стойкости уже разработанных блоков. Учёт электрического режима для каждого составляющего ИМС элемента позволяет выявить входные вектора «наихудшего случая» для библиотеки элементов и проводить моделирование

усиления разброса параметров элементов, вызванного радиационным воздействием.

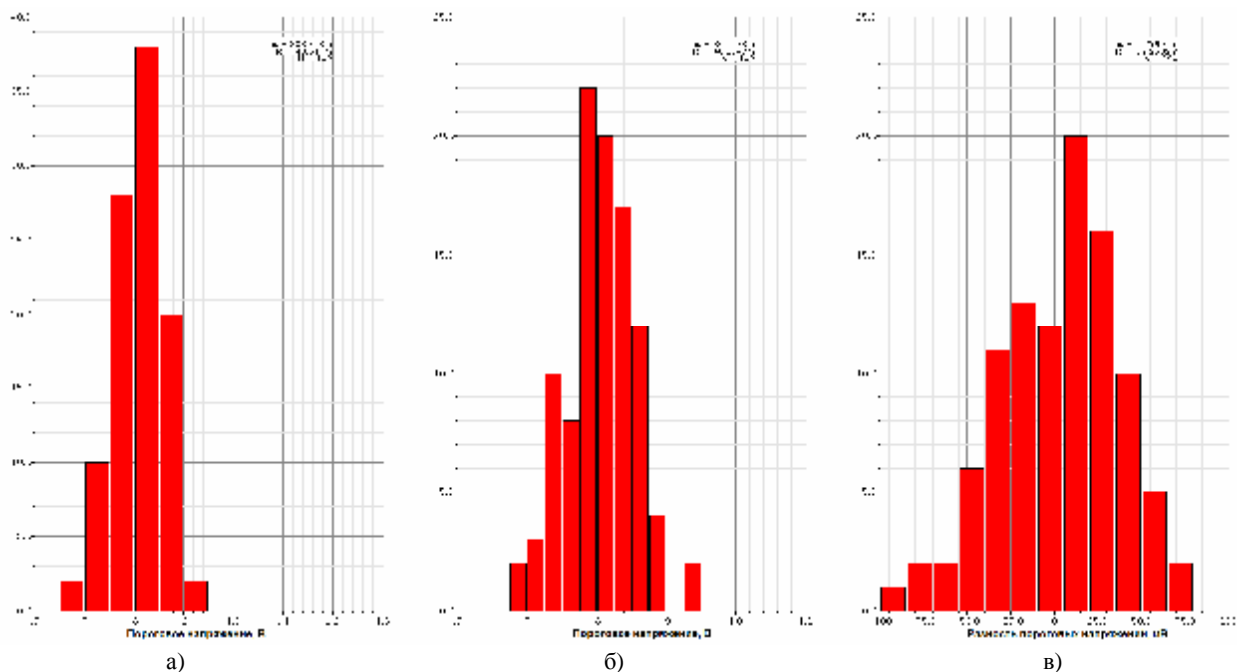


Рисунок 1 – Распределения пороговых напряжений двух согласованных транзисторов с толстым оксидом до облучения: а) транзистор 1; б) транзистор 2; в) разность величин порогового напряжения

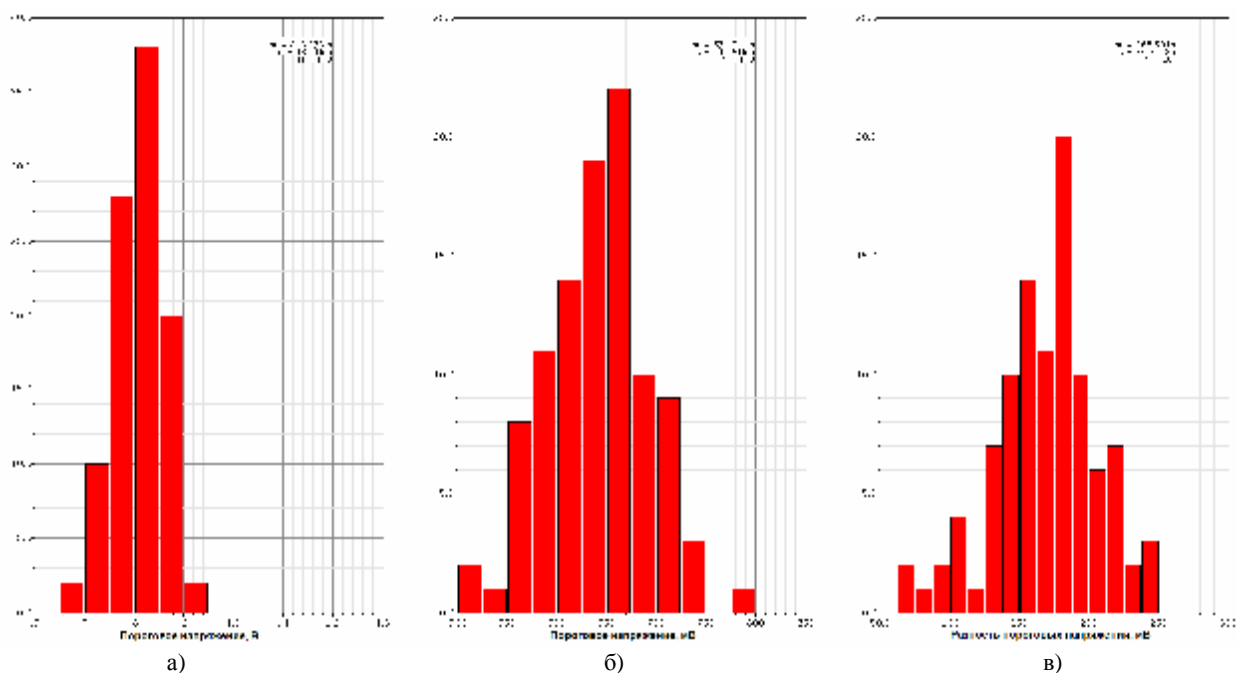


Рисунок 2 – Распределения пороговых напряжений двух согласованных транзисторов с толстым оксидом после облучения до величины накопленной дозы 2,5 Mrad (Si): а) транзистор 1; б) транзистор 2; в) разность величин порогового напряжения

В качестве иллюстрации возможностей метода рассмотрим эффект рассогласования пороговых напряжений двух МОП-транзисторов, облучавшихся в различных электрических режимах.

Для моделирования были использованы экспериментальные данные по стойкости элементов 0,18 мкм КМОП технологии UMC к дозовым эффектам. Максимальный сдвиг порогового напряжения при 2,2 Mrad (Si) составил около 90

мВ. Деградации подвижности в данном эксперименте не наблюдалось [13], поэтому при моделировании не учитывалось формирование поверхностных состояний.

Полученные параметры физической модели были применены к модели 0,18 мкм КМОП технологии Chartered Semiconductor, позволяющей создавать стандартные (с тонким оксидом, «TN») и 3,3-вольтовые (с толстым оксидом, «TK») транзисторы. Необходимо отметить, что толщина подзатворного диэлектрика t_{OX} 3,3-вольтовых транзисторов примерно равна t_{OX} транзисторов, созданных по технологии с проектными нормами 0,35 мкм.

Моделирование проводилось с помощью программы-симулятора Cadence Spectre. Все транзисторы имели кольцевую топологию, следовательно, радиационно-индуцированных токов утечки не возникало.

Сдвиг порогового напряжения при 2,5 Мрад (Si) составил около 150 мВ (при высоком потенциале затвора). Радиационно-индуцированная вариация порогового напряжения в случае транзисторов с толстым оксидом значительно выше, чем в случае транзисторов с тонким оксидом.

На рисунке 1 показаны распределения пороговых напряжений и разности величин порогового напряжения двух топологически согласованных транзисторов с толстым оксидом до облучения (учитывался как технологический разброс параметров, так и случайное рассогласование). Из представленных данных видно, что разностью пороговых напряжений транзисторов до облучения можно пренебречь.

На рисунке 2 показаны распределения пороговых напряжений и разности величин порогового напряжения двух несогласованных транзисторов с толстым оксидом после облучения до уровня накопленной дозы 2,5 Мрад (Si).

Из представленных данных видно, что значение медианы распределения порогового напряжения транзистора, «облучавшегося» при напряжении на затворе, равном 3,3 В, примерно на 170 мВ меньше значения медианы распределения для транзистора, облучавшегося при нулевом потенциале затвора.

Стандартные отклонения распределений пороговых напряжений, соответствующих дозе 2,5 Мрад (Si), практически не отличаются от стандартных отклонений, соответствующих ситуации «до облучения».

МЕТОД СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ОТ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Предлагаемый метод заключается в усовершенствовании применяющегося способа моделирования эффектов от ТЗЧ, описанного выше. Источник тока специальной формы, моделирующий импульс тока, возникающий при попадании в чувствительную область транзистора ТЗЧ, подключенный параллельно рп-переходу сток-подложка, встраивается непосредственно в модель транзистора. Для этого исходная SPICE-модель заменяется подсхемой, в которой параллельно включены транзистор и источник тока. Транзистор описывается исходной SPICE-моделью, а источник тока является Verilog-A модулем. Такая реализация позволяет осуществлять передачу в источник тока схемотехнических параметров самого транзистора, а также параметров, определяющих форму токового импульса.

К преимуществам предлагаемого метода относится то, что нет необходимости изменять исходную схему, подключая источники тока: достаточно с помощью параметров указать, в каких транзисторах они должны сработать. Так как электронно-дырочные пары разделяются электрическим полем, подавать импульс тока следует только на закрытый транзистор с большим напряжением между стоком и подложкой,

то от оператора при применении стандартного способа требуется определять состояние транзисторов. В предлагаемом методе такой необходимости нет, так как Verilog-A модуль может учитывать электрический режим транзистора, в который он встроен.

Главным преимуществом предлагаемого метода является возможность перебора всех транзисторов (источников тока) за один проход моделирования. Это достигается благодаря параметрам, указывающим, в каких транзисторах сработают встроенные в них источники. Следовательно, можно проводить параметрический анализ по этим указателям. В параметрическом анализе также можно указать параметры, задающие форму импульса тока. Таким образом, за один проход моделирования можно перебрать все возможные случаи попадания тяжелых заряженных частиц с разными энергиями в анализируемую схему.

Предлагаемый метод позволяет существенно сократить временные затраты на анализ реакции схемы на попадание ТЗЧ за счет значительного сокращения ручной работы, а также полностью исключить вмешательство во внутреннюю структуру схемы. Следовательно, он позволяет анализировать схемы существенно большего объема (по количеству транзисторов) по сравнению со стандартным методом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены основные проблемы проектирования и моделирования ИМС, предназначенные для функционирования в условиях космического пространства.

Verilog-A описания являются связующим звеном между моделями и симуляторами, а также между различными уровнями моделирования.

Рассмотрены методики моделирования на схемотехническом уровне дозовых эффектов и эффектов от ТЗЧ космического пространства.

Особенностью предложенных методик является интеграция моделей воздействия в модели прибора.

Для моделирования рассмотренных эффектов не требуется модификация схемы.

Предложенные методики реализованы в программных средствах, полностью совместимых с коммерческими САПР и встроенных в стандартный маршрут проектирования.

Программные средства позволяют выявить наиболее критичные узлы схемы, входные вектора «наихудшего случая» и проводить сравнение схемотехнических методов повышения сбоеустойчивости и радиационной стойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поверхностные радиационные эффекты в интегральных схемах. // Зебрев Г.И., Никифоров А.Ю., Першенков В.С., Согоян А.В., Чумаков А.И. Модель космоса: Научно-информационное издание: В 2 т. / Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова, 2007.
2. Радиационные эффекты в КМОП ИС. // Никифоров А.Ю., Телец В.А., Чумаков А.И. – М.: Радио и связь, 1994. – С. 36-45.
3. Radiation Effects and Soft Errors in Integrated Circuits and Electronic Devices. // Schrimpf R. D., Fleetwood D. M. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2004.
4. Горбунов М.С., Кашуба М.Ю., Зебрев Г.И. Разброс параметров транзисторов в современных КМОП СБИС. // Научная сессия МИФИ-2006, сборник научных трудов конференции «Молодёжь и наука». – Том 16. – Москва, 2006. – С. 76-77.
5. Информационные технологии проектирования РЭС. Ч. 1: Основные понятия, архитектура, принципы: учебное пособие // Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Муромцев Д.Ю., Тютюнник В.М. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004.

6. Niclaw C. J. Multi-Level Modeling of Total Ionizing Dose in a SiO₂: First Principles to Circuits, Ph.D. Thesis. Vanderbilt University, 2003.
7. Petrosjanc K.O., Kharitonov I.A., Orekhov E.V. «TCAD technique to simulate total dose effects in SOI MOSFETs», ICMNE-2009 Proceedings.
8. Mikkolax., Vermeire B., Chiu T., Barnaby H., Parks H.G. «Total Dose Radiation Effect Simulations on a High-Precision Data Acquisition System», RADECS-2007 Proceedings, pp. 1-6.
9. Mikkola E. O., Vermeire B., et al. «VHDL-AMS Modeling of Total Ionizing Dose Radiation Effects on CMOS Mixed Signal Circuits», IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 54, no. 4, August 2007.
10. De Cock W., Versmissen H., Leroux P., Van Uffele M., «Modelling of γ -Radiation Effects in Bipolar Transistors with VHDL-AMS», RADECS-2009 Proceedings.
11. Messenger G. C., «Collection of Charge on Junction Nodes from Ion Tracks», IEEE Tran. Nuclear Science, vol. NS-29, No. 6, pp. 2024-2031, December 1982.
12. «Virtuoso® Spectre® Circuit Simulator Components and Device Models Manual», Cadence Design Systems, 2007.
13. Löchner S., Deppe H. «Radiation Studies on the UMC 180 nm CMOS Process at GSI». RADECS-2009 Proceedings.

Данилов Игорь Александрович

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (НИИСИ РАН), г. Москва
Младший научный сотрудник отдела разработки вычислительной техники (ОРВТ)
Тел. 8(499) 111-11-11
E-mail: danilov@niisi.msk.ru

Горбунов Максим Сергеевич

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (НИИСИ РАН), г. Москва
Младший научный сотрудник отдела разработки вычислительной техники (ОРВТ)
E-mail: gorbunov@niisi.msk.ru

Зебрев Геннадий Иванович

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ «МИФИ»), г. Москва
Доктор технических наук, доцент кафедры «Микро- и наноэлектроника»
E-mail: gizebrev@mephi.ru

Осипенко Павел Николаевич

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (НИИСИ РАН), г. Москва
Кандидат технических наук, заведующий отделом разработки вычислительной техники (ОРВТ)

Ивлев Андрей Анатольевич

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (НИИСИ РАН), г. Москва
Заведующий сектором топологии отдела разработки вычислительной техники (ОРВТ)
E-mail: ivlev@niisi.msk.ru

I.A. DANILOV, M.S. GORBUNOV, G.I. ZEBREV, P.N. OSIPENKO, A.A. IVLEV

**DESIGN OF PROGRAMMING TOOLS FOR SIMULATION
OF RADIATION TOLERANT ICS FOR SPACE APPLICATIONS**

Main problems of modeling tools design for characteristics modeling of VLSI for space applications are discussed. The methods for total ionizing dose (TID) and single event effects (SEE) schematic level modeling based on using of hardware description language (HDL) Verilog-A are presented.

Keywords: *programming tools; simulation; radiation tolerance; ICs for space applications;*

BIBLIOGRAPHY

1. Poverxnostny'e radiacionny'e efekty' v integral'ny'x sxemax. // Zebrev G.I., Nikiforov A.Yu., Pershenkov V.S., Sogoyan A.V., Chumakov A.I. Model' kosmosa: Nauchno-informacionnoe izdanie: V 2 t. / pod red. M.I. Panasyuka, L.S. Novikova, 2007.
2. Radiacionny'e efekty' v KMOP IS. // Nikiforov A.Yu., Telec V.A., Chumakov A.I. – M.: Radio i svyaz', 1994. – S. 36-45.
3. Radiation Effects and Soft Errors in Integrated Circuits and Electronic Devices. // Schrimpf R. D., Fleetwood D. M. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2004.
4. Gorbunov M.S., Kashuba M.Yu., Zebrev G. I. Razbros parametrov tranzistorov v sovremenny'x KMOP SBIS. // Nauchnaya sessiya MIFI-2006, sbornik nauchny'x trudov konferencii «Molodyozh' i nauka». – Tom 16. – Moskva, 2006. – S. 76-77.
5. Informacionny'e tekhnologii proe'ktirovaniya RES. Ch. 1: Osnovny'e ponyatiya, arxitektura, principy': uchebnoe posobie. // Muromcev Yu.L., Orlova L.P., Muromcev D.Yu., Tyutyunnik V.M. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. texn. un-ta, 2004.
6. Niclaw C. J. Multi-Level Modeling of Total Ionizing Dose in a SiO₂: First Principles to Circuits, Ph.D. Thesis. Vanderbilt University, 2003.
7. Petrosjanc K.O., Kharitonov I.A., Orekhov E.V. «TCAD technique to simulate total dose effects in SOI MOSFETs», ICMNE-2009 Proceedings.
8. Mikkola E., Vermeire B., Chiu T., Barnaby H., Parks H.G. «Total Dose Radiation Effect Simulations on a High-Precision Data Acquisition System», RADECS-2007 Proceedings, pp. 1-6.
9. Mikkola E. O., Vermeire B., et al. «VHDL-AMS Modeling of Total Ionizing Dose Radiation Effects on CMOS Mixed Signal Circuits», IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 54, no. 4, August 2007.
10. De Cock W., Versmissen H., Leroux P., Van Uffelen M., «Modelling of γ -Radiation Effects in Bipolar Transistors with VHDL-AMS», RADECS-2009 Proceedings.
11. Messenger G. C., «Collection of Charge on Junction Nodes from Ion Tracks», IEEE Tran. Nuclear Science, vol. NS-29, No. 6, pp. 2024-2031, December 1982.
12. «Virtuoso® Spectre® Circuit Simulator Components and Device Models Manual», Cadence Design Systems, 2007.
13. Löchner S., Deppe H. «Radiation Studies on the UMC 180 nm CMOS Process at GSI». RADECS-2009 Proceedings.

УДК 004.021

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, С.П. БЕЛОВ, Е.М. МАМАТОВ,
Д.И. УШАКОВ, И.А. СТАРОВОЙТ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫДЕЛЕННОГО ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В СИСТЕМАХ С OFDM¹

В статье предлагается метод повышения эффективности использования выделенного частотного ресурса в системах с OFDM. Предлагаемый метод позволяет формировать каналные сигналы с максимальной концентрацией энергии в заданной частотной полосе. Таким образом, появляется возможность задействовать для передачи полезной информации вводимые в настоящее время защитные частотные интервалы в спектре OFDM сигнала. Компьютерное моделирование показывает, что применение предлагаемого метода позволяет снизить межканальную интерференцию и таким образом повысить эффективность использования выделенного частотного ресурса.

Ключевые слова: OFDM; сигнальный базис; субполосная матрица; частотный ресурс; каналные сигналы; концентрация энергии; поднесущие частоты; эффективность использования частотного ресурса.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

Потребность абонентов пользоваться услугами, предоставляемыми мультисервисными системами, независимо от места своего нахождения обуславливает интенсивное развитие беспроводных широкополосных систем связи. Сегодня бесспорным лидером в предоставлении мультисервисных услуг с высоким качеством посредством использования беспроводного широкополосного доступа является технология WiMAX [1]. Вместе с тем, необходимо отметить, что используемые в настоящее время в технологии WiMAX для передачи информации сигнальные конструкции в виде ортогональных базисов с прямоугольной формой прямоугольного импульса не позволяют минимизировать частотно-временную локализацию и обеспечить минимальную чувствительность к межканальной и межсимвольной интерференции [2-4].

Для компенсации этого недостатка, в существующих системах связи в выделенном частотном ресурсе вводятся защитные интервалы, представляющие из себя несколько поднесущих, на которых информация не передается (рис.1).

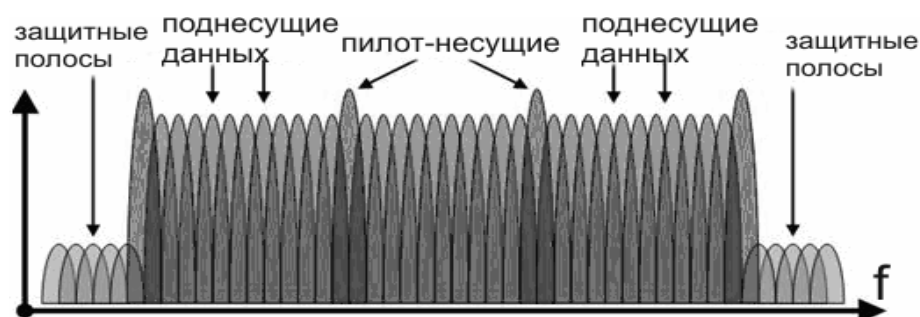


Рисунок 1 – Структура частотного спектра OFDM сигнала

Введение защитных интервалов позволяет снизить уровень внеполосных

¹ Исследования выполнены при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Государственный контракт № П964 от 27 мая 2010 г.

излучений и, как следствие, минимизировать влияние на смежные каналы интерференционных помех, но данный подход существенно снижает эффективность использования выделенного частотного ресурса. Как показал анализ литературы [1-4], величина заградительных полос в этом случае составляет около 20% от всего выделенного частотного интервала.

Цель статьи – предложить метод повышения эффективности использования выделенного частотного ресурса в системах связи с OFDM.

ОСОБЕННОСТИ OFDM МОДУЛЯЦИИ

Данный вид модуляции уже используется и хорошо зарекомендовал себя в беспроводных компьютерных сетях, в мобильной связи, а также в цифровом аудио- и видеовещании. Концепция данного метода модуляции в основном базируется на известном с середины 1950-х годов методе модуляции со многими поднесущими. Однако стоит учитывать новейшие достижения последних десятилетий в области цифровых методов передачи информации и высокоэффективных способов модуляции [5-7]. Все это позволяет обеспечивать высокие качественные характеристики систем связи при наличии помех, доплеровских смещений частот, замираний сигналов и т.д.

В OFDM используется разбиение последовательности символов данных на параллельный поток с увеличением длительности каждого символа. Передаваемая последовательность символов данных $x_{m,k}$, которые берутся из алфавитов так называемых m -ичных систем модуляции (m -позиционных) PSK, BPSK, QPSK, QAM и т.п., разбивается на блоки из N символов. Каждый блок из N последовательных символов преобразуется в блок из N параллельных символов длительностью $T=NT_s$, каждый. Эти символы передаются поднесущими, отстающими друг от друга на интервал $\Delta f = 1/T$ Гц, что обеспечивает их ортогональность при прямоугольной форме модулирующих видеоимпульсов, несмотря на случайные фазы, обусловленные модуляцией данными, и уменьшает влияние межсимвольной интерференции [8-10].

Полученные символы модулируют N соответствующих поднесущих частот (рис. 2).

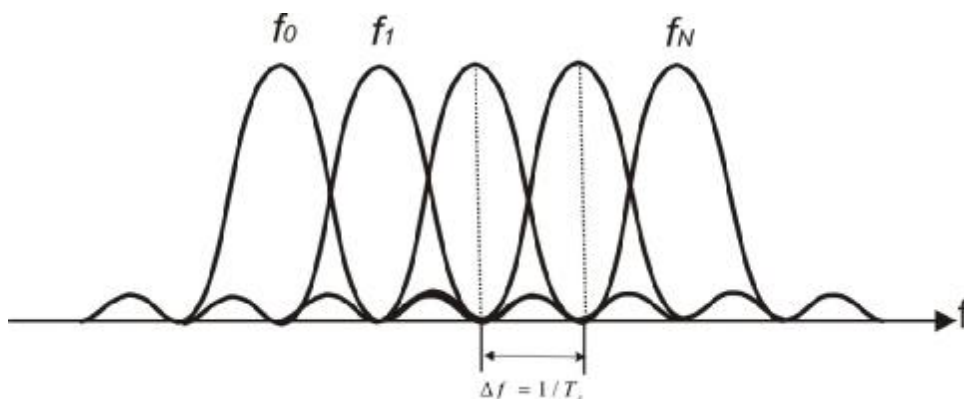


Рисунок 2 – Взаимное расположение ортогональных частот

При этом комплексную огибающую сигнала OFDM на интервале T можно представить в форме:

$$s_m(t) = M \cdot \sum_{k=0}^{N-1} x_{m,k} \cdot \exp \left\{ j \frac{2\pi}{T} \left(k - \frac{N-1}{2} \right) \cdot t \right\}, \quad (1)$$

где m – номер блока данных;

M – амплитуда;

$f_k = f_0 + \frac{k}{T}$ – поднесущая частота;

$\exp\left\{-j\frac{p(N-1)}{T} \cdot t\right\}$ – множитель, обеспечивающий центрирование полосового

сигнала относительно поднесущей частоты f_k .

Если длина блока выбрана так, что $T=NT_s \gg LT_s$, где LT_s – длительность импульсной характеристики канала поднесущей частоты, то межсимвольная интерференция значительно снижается [1].

Следует обратить внимание на то, что в суммарном сигнале частотные спектры частично перекрываются. Причем перекрытие спектра производится таким образом, что максимум спектральной плотности для любой поднесущей всегда соответствует минимальному значению первого лепестка соседних поднесущих. В этом случае скалярное произведение соседних частотных спектров не равно нулю только на частотах максимальных значений поднесущих. В этом смысл ортогональности.

Главным достоинством метода OFDM, обусловившим его широкое применение, является то обстоятельство, что модуляция и демодуляция сигналов могут быть выполнены в дискретной форме с использованием дискретного преобразования Фурье.

Однако известно [11-13], что частотная характеристика прямоугольного импульса имеет вид, описываемый выражением $(\text{Sin}(x))/x$, что не позволяет говорить об оптимальности этого типа сигнальной конструкции при решении задач минимизации влияния смежных символов и каналов друг на друга.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДЛАГАЕМОГО РЕШЕНИЯ

В предлагаемом методе используется новый принцип формирования дискретных оптимальных канальных сигналов, основанный на решении вариационной задачи, приведенной в [14], по минимизации просачивания энергии сигнала за выделенный частотный интервал. Математически это выражается следующим соотношением:

$$\|\mathbf{x}\|^2 - P_r = \mathbf{x}'(\mathbf{I} - \mathbf{A}_r) \cdot \mathbf{x} = \min, \quad (2)$$

где P_r – энергия в заданном частотном интервале, длительность которого равна $(n_{r+1} - n_r)$;

$\mathbf{I} = \text{diag}(1, \dots, 1)$ – единичная матрица;

$\mathbf{A}_r = \{a_{ik}\}$ – субполосная матрица, соответствующая r -ому частотному интервалу с элементами вида:

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[v_r(i-k)] - \sin[v_{r-1}(i-k)]}{p(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{v_r - v_{r-1}}{p}, & i = k \end{cases} \quad (4)$$

Здесь предполагается выполнение неравенства $0 \leq n_r < n_{r+1} \leq p$.

Для формирования канальных сигналов необходимо вычислить собственные вектора и собственные числа матрицы \mathbf{A}_r .

$\mathbf{Q} = (\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_J)$ \mathbf{q}_J – собственные вектора субполосных матриц.

λ_i – собственные числа векторов \mathbf{q}_i , $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_j \approx 1$,

где $i, k = 1, \dots, N$.

Таким образом, формирование канальных сигналов происходит следующим образом:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{e}; \quad (5)$$

где \mathbf{x} – сформированный канальный сигнал;

$\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_J)$ – информационный вектор;

e_j – любое число.

Необходимо отметить, что энергия сигнала за пределами заданного частотного интервала вычисляется согласно выражению вида:

$$E_{\text{ПР}} = \sum_{i=1}^J e_i^2 (1 - I_i). \quad (6)$$

Для демультимплексирования канального сигнала из группового в режиме частотного уплотнения необходимо воспользоваться следующим соотношением:

$$\mathbf{r}' = \mathbf{Q}^T \cdot \mathbf{r}. \quad (7)$$

Предлагаемый метод позволяет определить канальный сигнал \mathbf{x} , оптимальный в смысле минимума просачивания энергии за пределы выделенного частотного интервала, при сохранении точных значений информационного вектора.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для формирования канальных сигналов использовался классический метод формирования – ОБПФ (обратное быстрое преобразование Фурье) – и предлагаемый метод с использованием собственных векторов. Как показало компьютерное моделирование, сигнал, сформированный предлагаемым способом, обладает большей концентрацией энергии в заданном частотном интервале по сравнению с существующим способом формирования OFDM сигналов (рис.3).

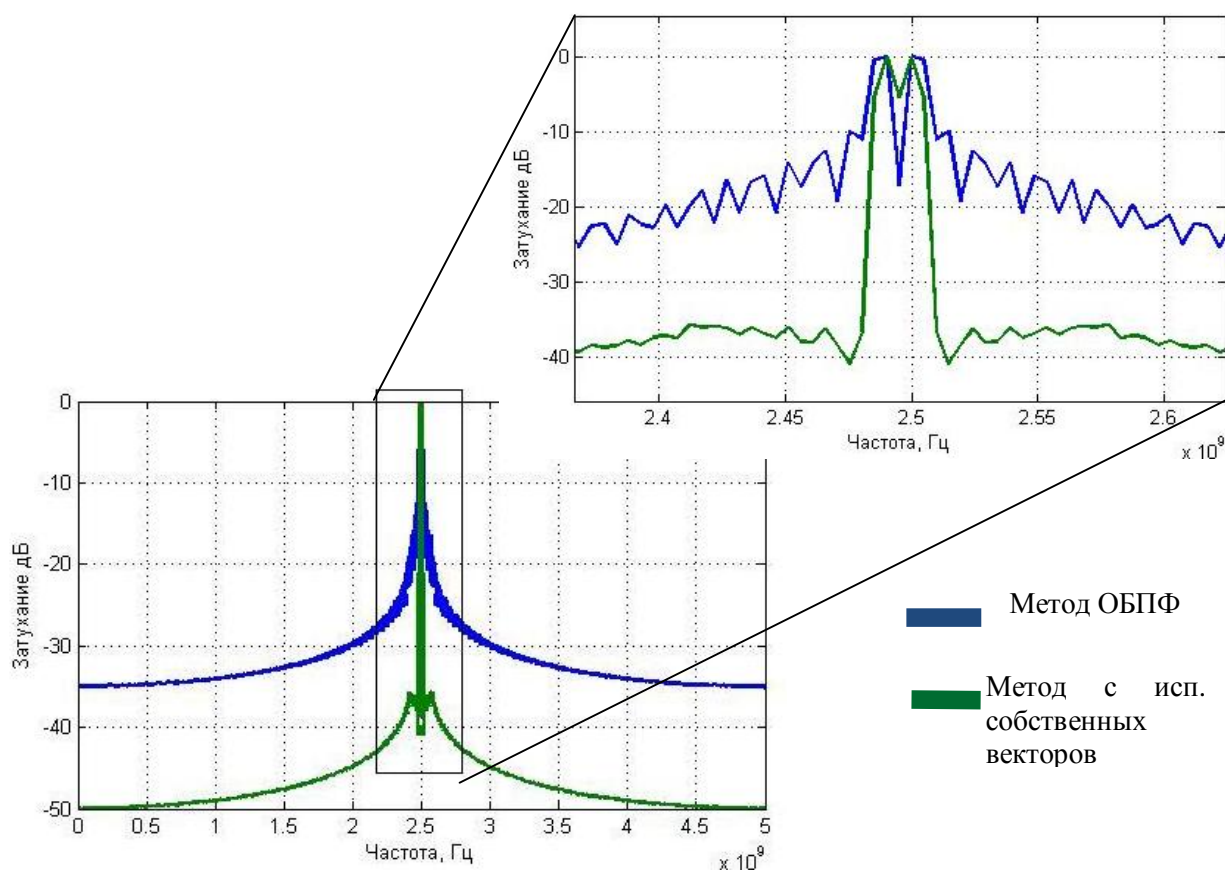


Рисунок 3 – Частотные спектры сформированных канальных сигналов

Детальный анализ сформированных сигналов показывает, что доля энергии,

просачивающаяся за выделенный частотный интервал, существенно меньше, чем в сигналах, сформированных классическим методом (рис. 4).

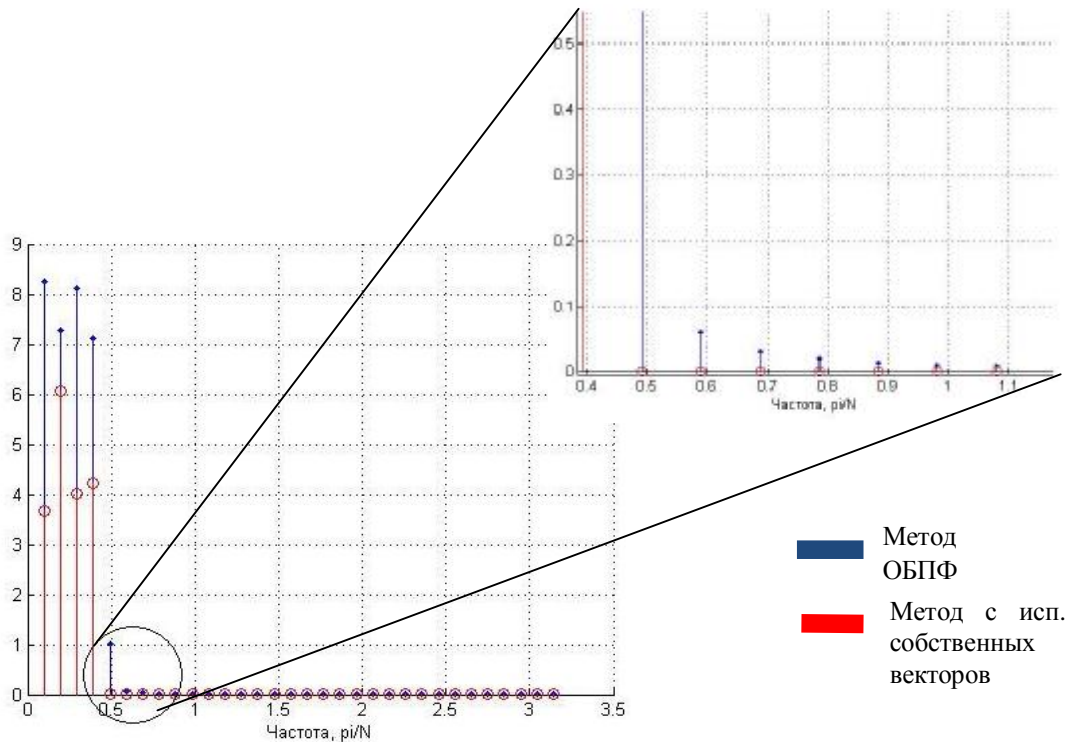


Рисунок 4 – Частотные спектры сформированных сигналов

ВЫВОДЫ

Результаты компьютерного моделирования позволяют сделать вывод, что предлагаемый способ формирования канальных сигналов может эффективно применяться в системах с OFDM. При этом сформированный канальный сигнал обладает максимальной концентрацией энергии в заданной частотной области, что позволяет задействовать для приёма и передачи информации весь доступный частотный диапазон. Таким образом, достигается эффективное использование выделенного частотного ресурса и существенно снижается межканальная и межсимвольная интерференция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин А.Н. Цифровые системы связи / М.: Эко-Трендз, 2007. – С. 294.
2. Еременко А.И., Пименов В.А. Этапы развития и преимущества применения технологии ортогонального частотного мультиплексирования / Телекоммуникации. – №12, 2007.– С.18-21.
3. Уиппл Д. Концепции ортогонального частотного разделения каналов OFDM. «Электронные компоненты».– № 9, 2008.– С. 33-38.
4. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи – М.: Техносфера, 2004.
5. Филин С.А. Уменьшение помех в сети mobile WiMAX с многопользовательским разнесением / С.А. Филин, С.Н. Моисеев, М.С. Кондаков. – «Электросвязь».– №3, 2008.
6. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000.
7. Хилько В.О. Некоторые аспекты применения технологии OFDM в системах мобильной связи. – «Мобильные системы».– №7, 2007.– С.6-9.
8. Волчков В.П., Петров Д.А. Оптимизация базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи / Научные Ведомости БелГУ.–

- №1 (56).– Выпуск 9/1, 2009. – С. 102-112.
9. Сюваткин В.С. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / В.С. Сюваткин, В.И. Есипенко и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.– С. 99-105.
 10. Ahmad R.S. Bahai., Burton R. Salzberg. Multi-Carrier Digital Communication. Theory and Application of OFDM. Kluwer Academic/Plenum Publishers. – New York, 2007.
 11. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006.
 12. Голд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1973. – 376 с.
 13. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. ВУЗов. – СПб.: Питер, 2002. – 603 с.: ил.
 14. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным: монография. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007.

Жилияков Евгений Георгиевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии»
Тел.: (4722) 30-13-92
E-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru

Белов Сергей Павлович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Кандидат технических наук, профессор, декан факультета «Компьютерные науки и телекоммуникации»
Тел.: (4722) 30-13-50
E-mail: Belov@bsu.edu.ru

Маматов Евгений Михайлович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент, зам. декана по учебной работе факультета «Компьютерные науки и телекоммуникации»
Тел.: (4722) 30-13-52
E-mail: Mamatov@bsu.edu.ru

Ушаков Дмитрий Игоревич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Ассистент кафедры «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии»
Тел.: (4722) 30-13-00
E-mail: Ushakov_d@bsu.edu.ru

Старовойт Иван Александрович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Ассистент кафедры «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии»
Тел.: (4722) 30-13-00
E-mail: Starovoit@bsu.edu.ru

E.G. ZHILYAKOV, S.P. BELOV, E.M. MAMATOV, D.I. USHAKOV, I.A. STAROVOJT

**ABOUT POSSIBILITY OF INCREASING THE EFFICIENCY USING
DEDIKATED FREQUENCY RESOURCE IN SYSTEMS WITH OFDM**

In the article the method of increase of efficiency of the use of the dedicated frequency resource is offered in the systems with OFDM. The offered method allows to form channel signals with the maximal concentration of energy in the set frequency bar. Thus, possibility to involve for passing to useful information appears, entered presently, protective frequency intervals in the spectrum of OFDM of signal. A computer design shows that application of the offered method allows to reduce interchannel interference and thus to promote efficiency of the use of the dedicated frequency resource.

Keywords: OFDM; signal basis; subband matrix; frequency resource; channel signals; concentration of energy; subcarrier frequencies; efficiency of the use of frequency resource.

BIBLIOGRAPHY

1. Berlin A.N. Cifrovye sistemy' svyazi / M.: Eko-Trendz, 2007. – S. 294
2. Eremenko A.I., Pimenov V.A. Etapy' razvitiya i preimushhestva primeneniya tekhnologii orthogonal'nogo chastotnogo mul'tipleksirovaniya / Telekommunikacii. – №12, 2007.– S.18-21.
3. Uippl D. Konceptii orthogonal'nogo chastotnogo razdeleniya kanalov OFDM. «Elektronny'e komponenty'».– № 9, 2008.– S. 33-38.
4. Shaxnovich I.V. Sovremennyye tekhnologii besprovodnoj svyazi. – M.: Texnosfera, 2004.
5. Filin S.A., Umenshenie pomex v seti mobile WiMAX s mnogopol'zovatel'skim razneseniem / S.A. Filin, S.N. Moiseev, M.S. Kondakov «Elektrosvyaz'».– №3, 2008.
6. Prokis Dzh. Cifrovaya svyaz': per. s angl. / pod red. D.D. Klovsogo. – M.: Radio i svyaz', 2000.
7. Xiľ'ko V.O. Nekotory'e aspekty' primeneniya tekhnologii OFDM v sistemax mobil'noy svyazi. «Mobil'ny'e sistemy'».– №7, 2007.– S.6-9.
8. Volchkov V.P., Petrov D.A. Optimizaciya bazisa Vejlya-Geyzenberga dlya cifrovyyx sistem svyazi, ispol'zuyushhix princip OFDM/OQAM peredachi / Nauchny'e Vedomosti BelGU.– №1 (56).– vy'pusk 9/1, 2009.– S. 102-112.
9. Syuvatkin V.S. WiMAX – tekhnologiya besprovodnoj svyazi: osnovy' teorii, standarty', primeneniye / V.S. Syuvatkin, V.I. Esipenko i dr. SPb.: BKhV-Peterburg, 2005.– S. 99-105.
10. Ahmad R.S. Bahai., Burton R. Salzberg. Multi-Carrier Digital Communication. Theory and Application of OFDM. Kluwer Academic/Plenum Publishers. – New York, 2007.
11. Oppengeym A., Shafer R. Cifrovaya obrabotka signalov M.: Texnosfera, 2006.
12. Gold B., Reyder Ch. Cifrovaya obrabotka signalov: per. s angl. / M.: Sov. radio, 1973. – 376 s.
13. Sergienko A.B. Cifrovaya obrabotka signalov: ucheb. posobie dlya stud. VUZov / SPb.: Piter, 2002. – 603 s.: il.
14. Zhilyakov E.G. Variacionny'e metody' analiza i postroeniya funkciy po empiricheskim dannym: monogr. – Belgorod: Izd-vo BelGU, 2007.

С.И. МАТЮХИН, А.А. ПИСАРЕВ, А.В. СТАВЦЕВ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С ВЛИЯНИЕМ МИКРОТРЕЩИН НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Методами компьютерного моделирования в пакете программ Sentaurus TCAD фирмы Synopsys исследовано влияние микротрещин на вольтамперные характеристики (ВАХ) кремниевых полупроводниковых диодов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; микротрещины; вольтамперная характеристика; кремниевые полупроводниковые диоды.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве полупроводниковых приборов в результате проведения ряда технологических операций в полупроводниковой пластине приборов могут возникать различные микродефекты [1,2], способные оказывать заметное влияние на характеристики готовой продукции. Поэтому к важным задачам современной физики полупроводниковых приборов следует отнести задачу о качественном и количественном влиянии микродефектов на характеристики приборов и разработку методов прогнозирования надежности этих приборов с целью выявления потенциально ненадежных изделий на ранней стадии изготовления.

В настоящее время эти задачи всё еще не решены, так как попытки их экспериментального решения связаны с серьёзными затратами времени и средств, а теоретические исследования неизбежно упираются в необходимость использования упрощенных математических моделей в силу большого числа параметров задачи и многообразия взаимосвязанных явлений и процессов. В силу этого на передний план выдвигаются компьютерные методы исследования, основанные на имитационном моделировании полупроводниковых приборов с использованием современных специализированных программных пакетов приборно-технологического моделирования (TCAD).

Одним из таких пакетов является пакет программ Sentaurus TCAD компании Synopsys. Он позволяет моделировать все основные процессы твердотельной электроники, объединять их в технологические маршруты, получать в результате произвольные приборные структуры и анализировать их электрофизические и схемотехнические характеристики и параметры. Фактически этот пакет на практике реализует концепцию виртуального производства и позволяет существенно сократить расходы на проектирование и разработку технологических маршрутов изготовления полупроводниковых приборов. Кроме того, программы этого пакета позволяют исследовать физические явления и процессы, протекающие в объеме этих приборов, а также анализировать влияние этих процессов на характеристики приборов.

В настоящей работе методами компьютерного моделирования в пакете программ Sentaurus TCAD компании Synopsys (лицензия) исследовано влияние микротрещин на вольтамперные характеристики (ВАХ) кремниевых диодов. Показано, что этот пакет может быть эффективным инструментом решения задачи о качественном и количественном влиянии микродефектов на характеристики полупроводниковых приборов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В качестве прототипа для моделирования и прибора, предназначенного для калибровки компьютерной модели, был выбран сварочный диод Д053-7100, выпускаемый ЗАО «Протон-Электротекс» (г. Орёл, Россия). Моделирование структуры этого диода осуществлялось при помощи программы Mdraw, а его электрофизических характеристик – при помощи программы Dessis пакета программ приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD компании Synopsys. При этом время жизни носителей заряда в кремнии считалось подгоночным параметром модели и выбиралось из условия наилучшего совпадения результатов моделирования ВАХ серийных приборов с экспериментальными данными (рис. 1).



Рисунок 1 – Прямые ветви ВАХ сварочного диода Д053-7100, изготовленного по стандартной технологии

Сплошные кривые – моделирование, маркеры – результаты испытаний:
1 – при $T=300\text{ K}$; 2 – при $T=440\text{ K}$

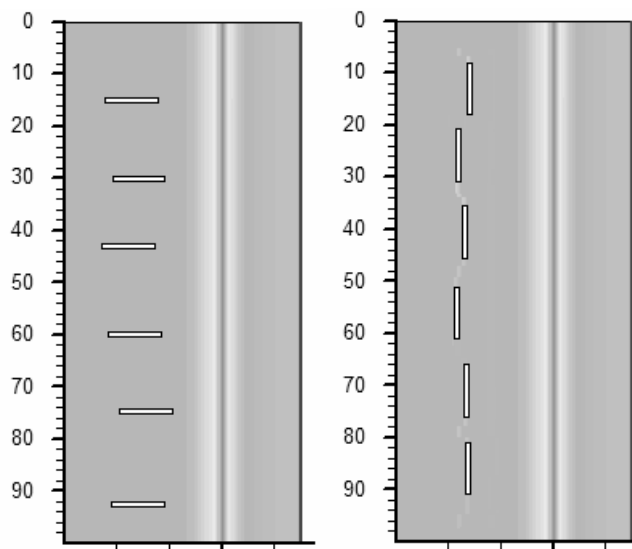


Рисунок 2 – Перпендикулярные (а) и параллельные (б) p-n-переходу микротрещины, расположенные в полупроводниковой структуре диода вблизи плоскости перехода
Плоскость перехода отмечена жирной риской

В пакете программ Sentaurus TCAD изначально заложен микроскопический подход к моделированию характеристик полупроводниковых приборов [3]. Этот подход основан на численном решении фундаментальных уравнений (Пуассона, непрерывности, теплопроводности и т.д.), описывающих протекающие процессы и

поведение носителей заряда в различных (локальных) областях прибора. Суммирование токов, связанных с движением этих зарядов, и дает в результате ВАХ прибора. Моделирование влияния микротрещин на прямую и обратную ветви ВАХ диода Д053-7100 проводилось для двух типов трещин – перпендикулярных и параллельных p - n -переходу (рис. 2), при двух значениях температуры полупроводниковой структуры – $T = 300$ К и $T = 400$ К.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

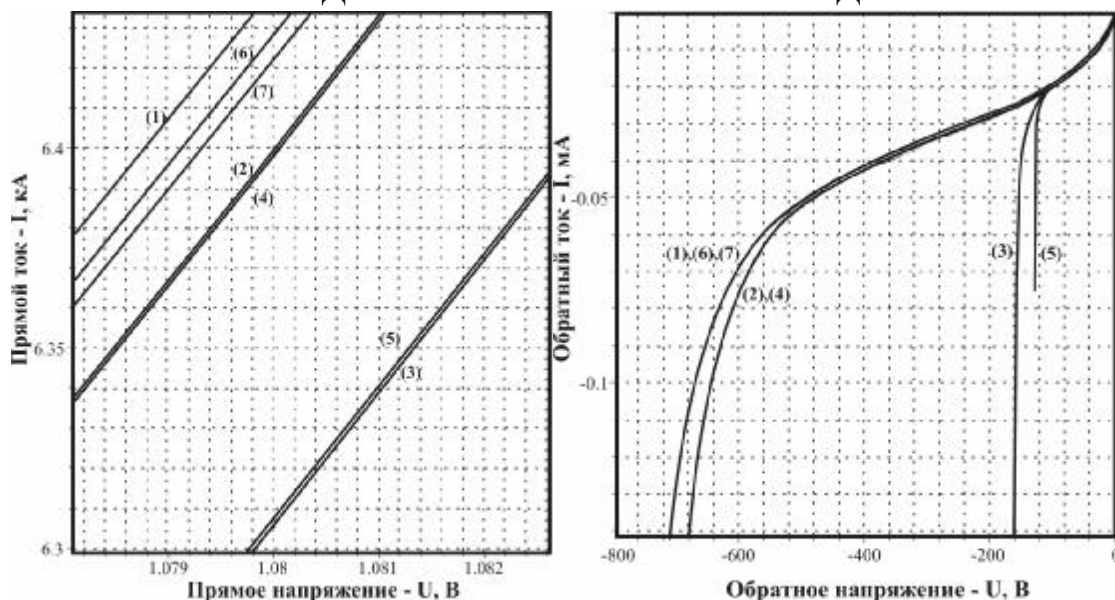


Рисунок 3 – Прямые (а) и обратные (б) ветви ВАХ диода Д053-7100 при $T=300$ К

1 – в отсутствие микротрещин; 2 – при наличии перпендикулярных трещин, пересекающих p - n -переход; 3 – при наличии параллельных трещин, пересекающих p - n -переход; 4 – при наличии перпендикулярных трещин, примыкающих к p - n -переходу; 5 – при наличии параллельных трещин, примыкающих к p - n -переходу; 6 – при наличии перпендикулярных трещин вдали от p - n -перехода; 7 – при наличии параллельных трещин вдали от p - n -перехода

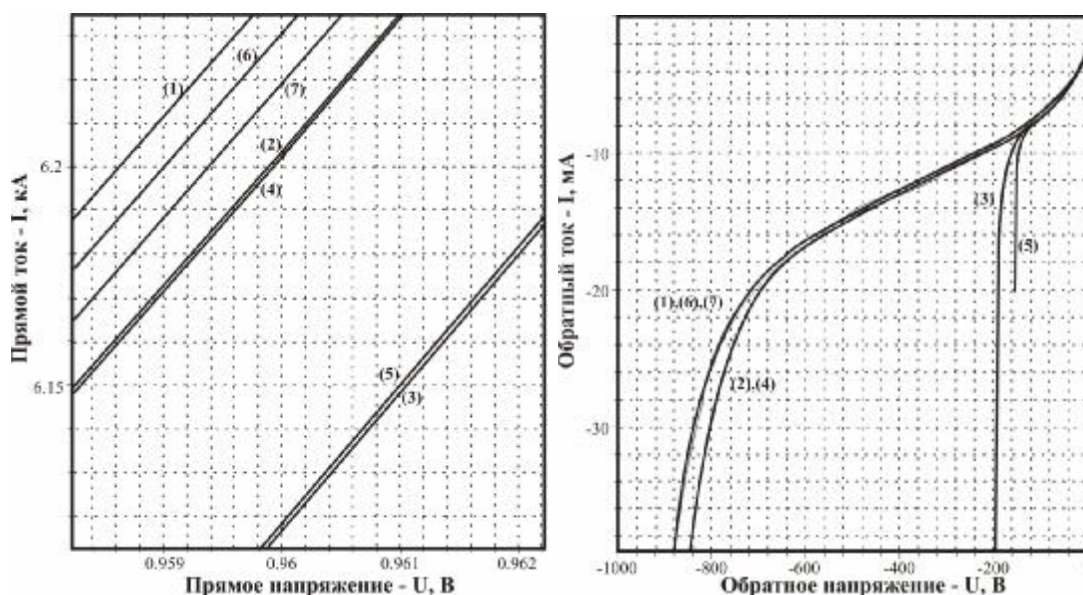


Рисунок 4 – Прямые (а) и обратные (б) ветви ВАХ диода Д053-7100 при $T=400$ К

1 – в отсутствие микротрещин; 2 – при наличии перпендикулярных трещин, пересекающих p - n -переход; 3 – при наличии параллельных трещин, пересекающих p - n -переход; 4 – при наличии перпендикулярных трещин, примыкающих к p - n -переходу; 5 – при наличии параллельных трещин, примыкающих к p - n -переходу; 6 – при наличии перпендикулярных трещин вдали от p - n -перехода; 7 – при наличии параллельных трещин вдали от p - n -перехода

Результаты моделирования влияния микротрещин на прямую и обратную ветви ВАХ диода Д053-7100 представлены на рисунках 3 и 4. Как показывают эти рисунки, микротрещины могут оказывать существенное влияние как на прямые, так и на обратные ветви ВАХ кремниевых диодов. Причем степень этого влияния слабо зависит от температуры и сильно от координат микротрещин в кремниевой пластине: микротрещины, которые пересекают $p-n$ -переход, прилегают к нему и находятся в глубине пластины вдали от перехода, оказывают разное воздействие на ВАХ диодов.

Перпендикулярные $p-n$ -переходу микротрещины сильнее всего влияют на прямую ВАХ диодов, если они прилегают к $p-n$ -переходу, а параллельные – если пересекают $p-n$ -переход (рис. 3, 4, а). При этом параллельные $p-n$ -переходу трещины приводят к большему изменению ВАХ диодов, чем перпендикулярные трещины того же размера, которые расположены в той же области полупроводниковой пластины, что и параллельные.

Это связано с тем, что перпендикулярные $p-n$ -переходу трещины рассекают полупроводниковую пластину прибора таким образом, что этот прибор можно представить как совокупность параллельно включенных диодов, практически эквивалентную исходному диоду без трещин. Небольшие изменения ВАХ такой совокупности будут связаны, главным образом, с изменением напряженности электрического поля \vec{E} и, как следствие, скорости движения носителей заряда \vec{u} в пространстве между трещинами (1):

$$\vec{u} = \mu \vec{E}, \quad (1)$$

где μ – подвижность носителей заряда;

\vec{E} – напряженность электрического поля.

Благодаря концентрации силовых линий поля на краях трещин напряженность электрического поля в пространстве между трещинами несколько уменьшается. Вследствие этого при заданных значениях рабочего напряжения составляющая прямого тока, обусловленная дрейфом носителей заряда (1), тоже уменьшается.

Воздействие на прямую ВАХ трещин, параллельных $p-n$ -переходу, оказывается более сложным. Помимо существенного перераспределения электрического поля в полупроводниковой структуре прибора они приводят еще и к «затенению» некоторых областей структуры, препятствуя прохождению тока через эти области. Это приводит к большему снижению прямого тока при заданных напряжениях на приборе, чем в случае перпендикулярных трещин.

Связанное с трещинами изменение прямой ветви ВАХ диодов выражается, главным образом, в увеличении напряжения отсечки U_0 диодов и приводит к росту рассеиваемой при работе приборов мощности P (2):

$$P = U_0 I_{av} + kr I_{av}^2, \quad (2)$$

где U_0 – напряжение отсечки диода;

I_{av} – среднее значение прямого тока;

r – дифференциальное сопротивление диода;

k – коэффициент, зависящий от формы протекающего тока [4].

Как показывают результаты моделирования, эта мощность будет увеличиваться с ростом концентрации микротрещин в полупроводниковой пластине приборов.

Вследствие увеличения рассеиваемой мощности происходит увеличение энергии потерь, которая выделяется в диодах в виде тепла и приводит к разогреву

полупроводниковой структуры приборов. Однако температура таких структур всегда имеет некоторое ограничение, превышение предельно допустимой температуры может вывести прибор из строя [4, 5]. Поэтому наличие в полупроводниковой пластине микротрещин приводит к снижению нагрузочной способности приборов.

Воздействие микротрещин на обратную ВАХ кремниевых диодов проявляется, в основном, в снижении значений напряжения пробоя диодов. При этом микротрещины, параллельные p - n -переходу, снова оказывают большее влияние на обратную ВАХ диодов, чем перпендикулярные (рис. 3, 4, б).

Возможным механизмом понижения пробойных напряжений в структурах с трещинами является дополнительная генерация носителей заряда через глубокие уровни.

Как известно [6], обратный ток кремниевых диодов имеет генерационную природу и связан с генерацией носителей заряда через глубокие энергетические уровни, расположенные в середине запрещенной зоны кремния. Как правило, такие уровни создаются атомами некоторых металлов (золото, кобальт, медь, железо, платина и т.д.), а также различного рода дефектами полупроводника [7], включая микротрещины.

Согласно теории Саа-Нойса-Шокли [8], плотность генерационного тока j_g пропорциональна скорости генерации электронов и дырок и толщине слоя объемного заряда W :

$$j_g \approx \frac{en_i W}{2\sqrt{\tau_p \tau_n}}, \quad (3)$$

где e – заряд электрона;

n_i – концентрация собственных носителей заряда полупроводника;

W – толщина слоя объемного заряда;

τ_p – время жизни дырок;

τ_n – время жизни электронов.

Таким образом, на величину генерационного тока наибольшее воздействие будут оказывать микротрещины, расположенные в области пространственного заряда W (вблизи p - n -перехода), причем, так как время жизни носителей заряда обратно пропорционально концентрации источников глубоких уровней, генерационный ток должен расти с увеличением концентрации трещин.

Увеличение генерационного тока и будет приводить к развитию лавинного пробоя при меньших значениях обратного напряжения на диоде (рис. 3, 4, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают результаты моделирования, появление микротрещин в полупроводниковой структуре диодов приводит к увеличению напряжения отсечки приборов в прямом направлении и к снижению значений напряжения пробоя при обратном смещении диодов. Вследствие этого снижается нагрузочная способность диодов и ухудшаются их запирающие характеристики. При этом наибольшее воздействие на ВАХ диодов оказывают параллельные p - n -переходу микротрещины, расположенные в непосредственной близости от перехода.

Очевидно, что микротрещины будут оказывать влияние не только на статические, но и на динамические характеристики полупроводниковых приборов.

Поэтому дальнейшее развитие проведенных исследований может быть связано с изучением воздействия микротрещин на коммутационные характеристики кремниевых диодов. Однако исследование динамических процессов практически всегда оказывается более сложным, чем стационарных, вследствие чего использование в этом случае экспериментальных и теоретических методов является, по-видимому, еще более затруднительным.

Решением этой проблемы, как показывают полученные нами результаты, может стать имитационное моделирование динамических характеристик приборов в пакете программ приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD компании Synopsys.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК № П2514).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курносое А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов. – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
2. Вавилов В.С., Киселев В.Ф., Мукашев Б.Н. Дефекты в кремнии и на его поверхности. – М.: Наука, 1990. – 216 с.
3. Sentaurus TCAD User Guide. – Synopsys, 2005. Электронный ресурс. – URL: <http://www.synopsys.com/Tools/TCAD/Pages/default.aspx>.
4. Рабинерсон А.А., Ашкинази Г.А. Режимы нагрузки силовых полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
5. Евсеев Ю.А., Дерменжи П.Г. Силовые полупроводниковые приборы. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
6. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Физматлит, 2008. – 488 с.
7. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. – М.: Высшая школа, 1984. – 352 с.
8. Sah C.T., Noyce R.N., Shockley W. Carrier generation and recombination in *p-n*-junctions and *p-n*-junction characteristics // Proc. IRE. 1957. V.45. P.1228-1243.

Матюхин Сергей Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики
Тел.: (4862) 41-98-81
E-mail: sim1@mail.ru

Писарев Александр Андреевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студент учебно-научно-исследовательского института информационных технологий
Тел.: (4862) 41-98-81
E-mail: pisarevnew@yandex.ru

Ставец Александр Валерьевич

ЗАО «Протон-Электротекс», г. Орел
Технический директор
Тел.: (4862) 44-04-15
E-mail: techinfo@eletex.ru

S.I. MATUHIN, A.A. PISAREV, A.V. STAVTSEV

COMPUTER SIMULATION OF PROCESSES RELATED TO INFLUENCE OF MICROCRACKS ON THE I-V-CURVES OF SEMICONDUCTOR DIODES

Influence of microcracks on the I-V-curves of silicon semiconductor diodes is investigated by the methods of computer simulation with Synopsys software Sentaurus TCAD.

Keywords: *computer simulation; microcracks; I-V-curves; silicon semiconductor diodes.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kurnosov A.I., Yudin V.V. *Texnologiya proizvodstva poluprovodnikovyx priborov.* – M.: Vysshaya shkola, 1974. – 400 s.
2. Vavilov V.S., Kiselev V.F., Mukashev B.N. *Defekty' v kremnii i na ego poverxnosti.* – M.: Nauka, 1990. – 216 s.
3. Sentaurus TCAD User Guide. – Synopsys, 2005. URL: <http://www.synopsys.com/Tools/TCAD/Pages/default.aspx>.
4. Rabinerson A.A., Ashkinazi G.A. *Rezhimy' nagruzki silovyx poluprovodnikovyx priborov.* – M.: Energiya, 1976. – 296 s.
5. Evseev Yu.A., Dermenzhi P.G. *Silovy'e poluprovodnikovye pribory'.* – M.: Energoizdat, 1981. – 472 s.
6. Lebedev A.I. *Fizika poluprovodnikovyx priborov.* – M.: Fizmatlit, 2008. – 488 s.
7. Fistul V.I. *Vvedenie v fiziku poluprovodnikov.* – M.: Vysshaya shkola, 1984. – 352 s.
8. Sah C.T., Noyce R.N., Shockley W. Carrier generation and recombination in p-n-junctions and p-n-junction characteristics // Proc. IRE. 1957. V.45. P.1228-1243.

УДК 519.876.5:551.345

Ю.М. ПОЛИЩУК, В.Ю. ПОЛИЩУК

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования полей термокарстовых озёр для задач исследования термокарстовых процессов на территории многолетней мерзлоты в условиях глобального потепления. Предложенная геоимитационная модель основана на экспериментально установленных свойствах реальных полей термокарстовых озёр в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири.

Ключевые слова: имитационное моделирование; многолетняя мерзлота; термокарстовые озёра; ГИС-технологии; космические снимки.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1] большинство газовых месторождений России и значительная часть месторождений нефти в Западной Сибири располагается в зоне вечной мерзлоты. Потепление климата, вызывающее ускорение термокарстовых процессов, приводит к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса [2-4] из-за снижения прочности многолетнемёрзлых пород, что сопровождается ростом экономических и экологических ущербов на предприятиях отечественной нефтегазовой отрасли. Разработка мероприятий по снижению ущербов нефтегазодобывающих предприятий требует проведения исследований динамики термокарстовых процессов [4].

Вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории Западной Сибири изучение изменений термокарстовых процессов в зоне многолетней мерзлоты проводится как в нашей стране, так и за рубежом с применением данных дистанционного зондирования поверхности Земли. При этом в качестве наиболее пригодных геоморфологических индикаторов изменений термокарстовых процессов используются хорошо дешифрируемые на космических снимках термокарстовые озёра [5,6]. Однако из-за преобладания на северных территориях облачной погоды не удается сформировать коллекцию космических снимков, достаточную для проведения дистанционного мониторинга динамики термокарстовых озёр. В связи с этим экспериментальные исследования динамики термокарста на территории многолетней мерзлоты с использованием дистанционных методов оказываются информационно-дефицитными и поэтому недостаточно эффективными. Повышение эффективности и оперативности исследований может быть достигнуто на основе сочетания методов экспериментальных исследований и математического моделирования. При этом математическое моделирование позволяет изучать динамику термокарстовых озёр на основе исследования изменений их свойств путем проведения компьютерных экспериментов [7] с их моделью, параметры которой определяются на основе экспериментальных данных. Вопросы разработки модели и проведения имитационного моделирования являются целью настоящей работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИМИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Система имитационного моделирования полей термокарстовых озёр состоит

из следующих составных частей:

- пользовательский интерфейс;
- подсистема имитационного моделирования;
- подсистема обработки экспериментальных данных и результатов моделирования;
- подсистема графического отображения результатов моделирования;
- подсистема обработки изображений.

Пользовательский интерфейс организует взаимодействие пользователя с подсистемой моделирования, базой данных и прикладными модулями.

Одной из наиболее важных составляющих имитационной системы является **подсистема имитационного моделирования**, включающая средства моделирования полей термокарстовых озер. Сложность полей термокарстовых озер как объектов моделирования вызывает необходимость использовать имитационное моделирование как универсальный метод исследования сложных природных объектов. Как известно [7], имитационное моделирование — это метод исследования, основанный на замене изучаемого объекта его моделью, которая с достаточной точностью описывает реальный объект и с которой проводятся компьютерные эксперименты с целью получения информации об изменении свойств этого объекта в условиях изменения воздействий потепления климата.

Вследствие пространственного характера объекта моделирования далее будут рассматриваться вопросы разработки его геоимитационной модели. Под геоимитационной моделью, согласно [7], понимается математическая модель, воспроизводящая пространственную структуру полей термокарстовых озер путем имитации формы, размеров и взаиморасположения озер на изучаемой территории с учетом экспериментально установленных статистических закономерностей их случайного расположения и распределения озер по их размерам.

Подсистема обработки экспериментальных данных и результатов моделирования предназначена для статистической обработки и анализа экспериментальных данных о пространственных свойствах озер с целью определения их законов распределения и статистических характеристик. Эта же подсистема используется для статистического анализа свойств модели поля термокарстовых озер, получаемой с помощью подсистемы моделирования. Источниками экспериментальной информации об объекте моделирования являются космические снимки территории многолетней мерзлоты, на которых выделяются тестовые участки, расположенные на различных широтах в зонах сплошного и прерывистого распространения мерзлоты. В пределах каждого тестового участка выделяются термокарстовые озера, характеристики местоположения и площади которых являются экспериментальными данными о свойствах объекта моделирования.

Подсистема графического отображения результатов моделирования предназначена для визуального представления совокупности окружностей, сгенерированных в подсистеме имитационного моделирования. В этой системе используются средства ГИС-технологий.

Подсистема обработки изображений предназначена для обработки и анализа космических снимков и позволяет создавать картографические данные для последующего использования в геоинформационной системе. В частности, эта подсистема осуществляет преобразование графического отображения результатов моделирования в шейп-файл, воспринимаемый средствами геоинформационной системы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЛЕЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР

Рассмотрим методические вопросы экспериментальных исследований объекта моделирования. Как отмечено выше, вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории многолетней мерзлоты Западной Сибири, исследование термокарстовых процессов практически невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли [6]. Экспериментальные исследования проводились на совокупности тестовых участков в разных зонах многолетней мерзлоты на территории Западной Сибири, карта-схема расположения которых приведена на рисунке 1. На каждом тестовом участке (ТУ) с помощью космических снимков земной поверхности определялись от нескольких сотен до нескольких тысяч термокарстовых озер. Для иллюстрации на рисунке 2 приведен фрагмент космического снимка Landsat – 7 (2001г.) с изображением поля (совокупности) термокарстовых озер различных размеров. На рисунке 3 приведен фрагмент дешифрированного и векторизованного космического снимка Landsat-1 (1973 г.) территории ТУ-10.

Измерение характеристик местоположения и площадей озер проводилось на дешифрированных и векторизованных космических снимках средствами геоинформационных систем ENVI 4.4 и ArcGis 9.2.

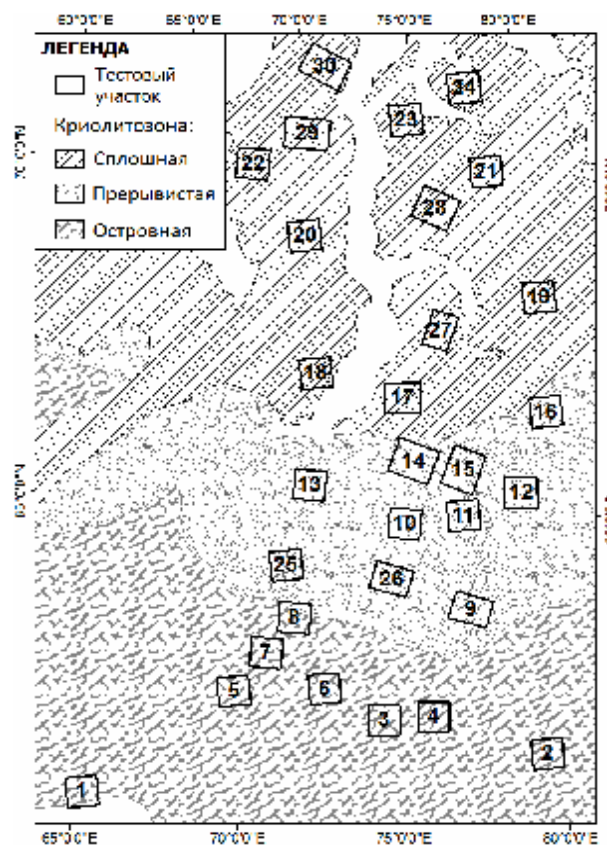


Рисунок 1 – Карта-схема расположения тестовых участков в разных зонах мерзлоты на территории Западной Сибири

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЁР

На рисунках 4 и 5 приведены гистограммы распределения значений географических широты и долготы местоположения озер на плоскости (координат центров озер), полученные по дешифрированному снимку (рис. 3). На рисунке 4 K_i –

относительное число озёр, попадающих в каждый интервал гистограммы, определяемое по формуле:

$$K_i = \frac{n_i}{N},$$

где n_i – число озёр в каждом интервале гистограммы;

i – номер интервала;

N – суммарное количество озёр, относящееся к данному году измерения.

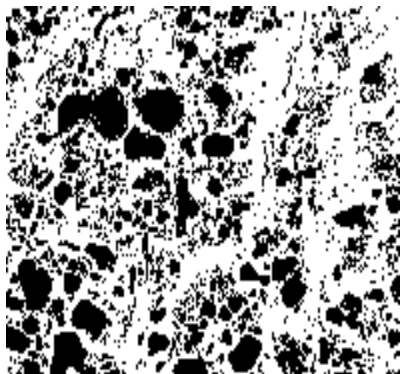


Рисунок 2 – Фрагмент космического снимка Landsat-7 с изображением термокарстовых озёр

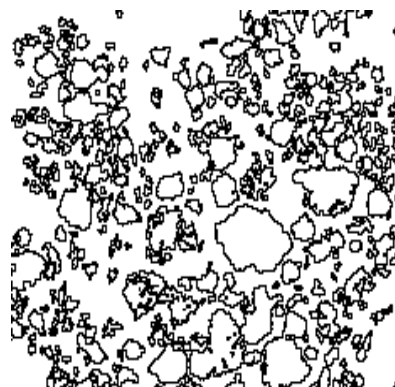


Рисунок 3 – Фрагмент дешифрованного космического снимка Landsat-1 (24.08.1973 г.) территории ТУ-10

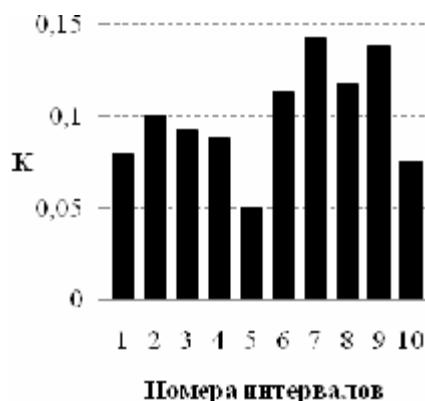


Рисунок 4 – Гистограмма распределения значений географической широты местоположения озёр на плоскости

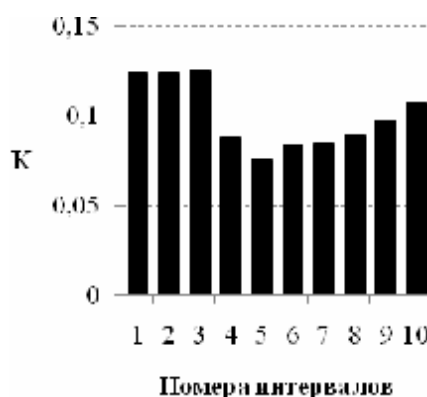


Рисунок 5 – Гистограмма распределения значений географической долготы местоположения озёр на плоскости

Анализ гистограмм (рис. 4, 5) показал, что экспериментальные законы распределения координат центров озёр на плоскости соответствуют закону равномерной плотности согласно критерию χ^2 с вероятностью 95%. Проведен расчет коэффициента корреляции между значениями географических широты и долготы местоположения озёр, представленных на рисунке 3. Полученная величина коэффициента корреляции (0,03) показывает отсутствие корреляции между рассматриваемыми величинами, что позволяет сделать вывод о статистической независимости координат местоположения озёр на плоскости. Аналогичные выводы могут быть сделаны относительно результатов статистического анализа эмпирических распределений значений координат центров расположения озёр и

корреляции между ними для остальных тестовых участков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ПО ИХ ПЛОЩАДЯМ

Проведено исследование статистического распределения термокарстовых озёр по их площадям на основе полученных данных. На рисунке 6 для иллюстрации приведена гистограмма распределения озёр по их площадям, полученная на основе обработки космического снимка Landsat-7 (04.06.2000 г.) территории ТУ-13, а на рисунке 7 приведён пример аппроксимации этой гистограммы экспоненциальной кривой. На последнем рисунке сплошная линия отображает аппроксимирующую кривую, определяемую экспоненциальным уравнением:

$$y = a * e^{-bx}, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты уравнения экспоненциальной аппроксимации.

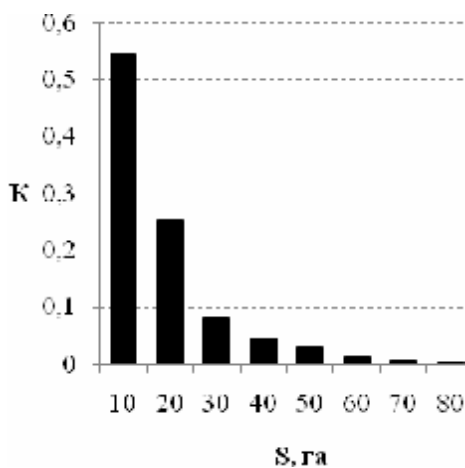


Рисунок 6 – Гистограмма распределения озёр по площадям

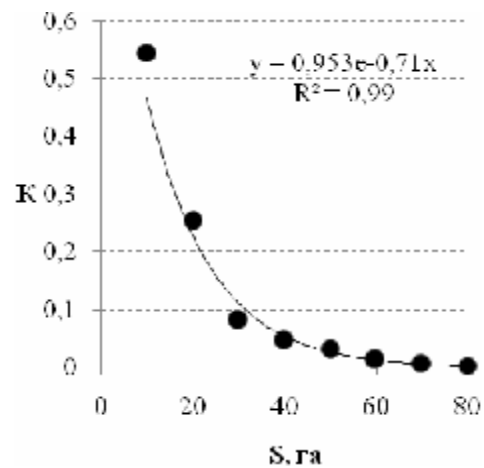


Рисунок 7 – Аппроксимация эмпирического закона распределения озёр по площадям

Аналогичная обработка гистограмм распределения озёр по площадям, проведенная для других тестовых участков (рис.1), показала, что коэффициенты a и b для разных ТУ принимают в среднем близкие значения в интервалах 0,52 – 1,11 и 0,50 – 0,87.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ГЕОИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

На основе приведенных выше результатов экспериментальных исследований полей термокарстовых озёр можно описать облик геоимитационной модели этих полей. Как видно из рисунков 2 и 3, термокарстовые озера, образующиеся в результате проседания земной поверхности из-за вытаявания подземных льдов различного генезиса [2], имеют, как правило, характерную округлую форму. Поэтому в разрабатываемой модели полей термокарстовых озёр округлость может быть принята в качестве описания формы отдельных озёр. В соответствии с вышеизложенным, модель представляет собой совокупность окружностей, каждая из которых имитирует отдельное термокарстовое озеро. В качестве основных элементов описания модели должны быть определены характеристики, учитывающие форму

озер, параметры их случайного расположения на плоскости и случайных размеров озер.

Показанное в разделе 3.2 отсутствие корреляции между изменениями значений географических широты и долготы местоположений озер позволяет сделать вывод о статистической независимости координат местоположения озер на плоскости, что является основанием при моделировании расположения озер на территории определять случайные координаты центра каждого озера последовательно и независимо друг от друга.

Сформулируем основные положения, определяющие существенные свойства разрабатываемой модели:

- 1) формы озер моделируются уравнением окружности с координатами центров x_i , y_i и площадью s_i (i – номер озера);
- 2) случайное распределение каждой из координат центров окружностей моделируется законом равномерной плотности;
- 3) случайное распределение окружностей по их площадям определяется показательным законом распределения.

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР

Генерирование последовательности случайных чисел, определяющих характеристики местоположения центров окружностей, проводится с использованием датчика псевдослучайных чисел, распределенных по закону равномерной плотности. Необходимо отметить, что для моделирования случайных размеров озёр, площади которых распределены по закону, соответствующему уравнению (1), удобно использовать генерирование последовательности случайных чисел, распределенных по показательному закону, с использованием формулы [8]:

$$s_i = -\frac{1}{I} \ln z_i, \quad (2)$$

где z_i – числа с равномерным распределением в интервале (0,1);

I – параметр уравнения (1), в котором принято допущение $a = b = I$, основанное на вышеуказанной (п.5) экспериментально установленной в среднем близости значений показателей a и b . Значения показателя I в (3) определяются в интервале ($0 < I \leq 1$).

В соответствии с вышеизложенным, алгоритм моделирования полей термокарстовых озер может быть определен в следующем виде:

шаг 1 - указывается количество формируемых окружностей в модели поля озер;

шаг 2 - генерируется псевдослучайное число, распределенное по равномерному закону;

шаг 3 - с использованием числа, полученного на шаге 2, рассчитывается по формуле (3) псевдослучайная величина площади окружности;

шаг 4 - генерируется два псевдослучайных числа, распределенных по равномерному закону и определяющих местоположение центра окружности на экране;

шаг 5 - с использованием полученного на шаге 3 числа, определяющего площадь окружности, отображается окружность на экране;

шаг 6 - если количество полученных окружностей меньше их количества, заданного на шаге 1, то повторяется алгоритм с шага 2, иначе алгоритм завершён.

Отметим, что программная реализация алгоритма осуществлялась в среде Delphi7. При этом был использован генератор случайных чисел, распределенных по равномерному закону распределения, встроенный в среду разработки Delphi7.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

На рисунке 8 приведен в качестве примера результат моделирования в виде изображения поля термокарстовых озер. Для моделирования в качестве экспериментального образца был выбран тестовый участок ТУ-13, для которого аппроксимация эмпирического распределения озер по площадям кривой экспоненциального вида (1), показанная на рисунке 7, дает значение коэффициента $b = 0,71$. Поэтому для моделирования значение параметра l в уравнении (3) модели было принято равным значению коэффициента b , т.е. $l = 0,71$.

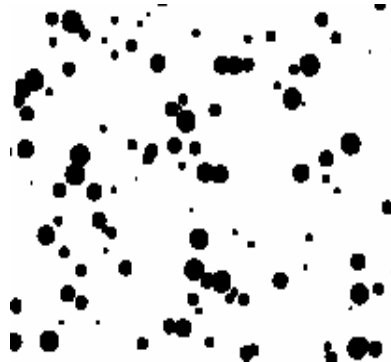


Рисунок 8 – Результат моделирования поля термокарстовых озёр

Проверка адекватности модели проводилась путем сравнения законов распределения термокарстовых озер по эмпирическим и модельным данным с использованием критерия χ^2 . В качестве эмпирических использовались данные, полученные для реального поля термокарстовых озер на территории ТУ-13 (рис. 6 и 7). Гистограмма распределения площадей окружностей модельных данных приведена на рис. 9, а на рис. 10 показана её аппроксимация кривой экспоненциального вида (с высоким уровнем коэффициента детерминации).

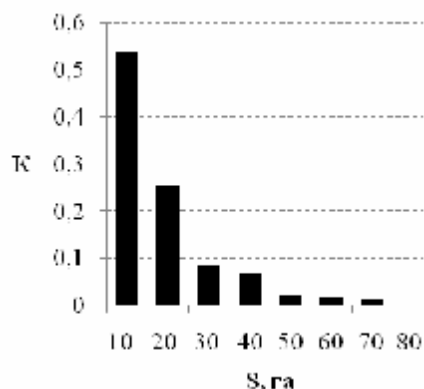


Рисунок 9 – Гистограмма распределения озер по площадям по модельным данным

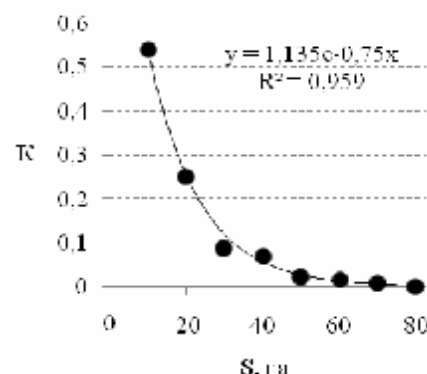


Рисунок 10 – Аппроксимация закона распределения озер по результатам моделирования

В результате проверки по критерию Пирсона соответствие модельного и экспериментального законов распределения выполняется с вероятностью не менее

70%, что подтверждает адекватность разработанной модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с дефицитом количественной информации о динамике объекта исследований в статье обоснована необходимость применения методов математического моделирования для задач мониторинга термокарстовых процессов на территории многолетней мерзлоты в условиях потепления климата. На основе учета экспериментально установленных закономерных свойств реальных полей термокарстовых озер разработана их геоимитационная модель, представляющая собой совокупность окружностей, координаты центров которых являются случайными величинами с равномерным законом распределения, а случайные значения их площадей распределены по показательному закону. Проведенное сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными путем сопоставления законов распределения по критерию χ^2 подтвердило адекватность модели с высокой степенью достоверности. Разработанная модель поля термокарстовых озер может быть использована для решения задач исследования динамики термокарстовых процессов с целью снижения ущербов нефтегазовых предприятий на территории многолетней мерзлоты в условиях глобального потепления климата.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект 08-05-92496-НЦНИЛ_а «Динамика термокарстовых озер криолитозоны Западной Сибири как индикатор климатических изменений по данным космического и наземного мониторинга»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Сравнительный анализ химического состава нефтей России на территории вечной мерзлоты и вне ее // Криосфера Земли, 2007. – Т. 11. – № 1. – С. 45 - 51.
2. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под. ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. – М.: ГЕОС, 2002. – 402 с.
3. Анисимов О., Лавров С. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК, 2004. – № 3. – С. 78 – 83.
4. Samsonov R., Lesnykh V., Polishchuk Yu., Bryksina N. The climate change impact on thermokarst in West-Siberian territory and geological risks in gas industry / Proc. of 14th annual conference of TIEMS (June 5-8, 2007, Split, Croatia). – Split: TIEMS, 2007. – pp. 212 – 216.
5. Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Крицук Л.Н. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. – М.: Недра, 1974. – 132 с.
6. Днепровская В., Полищук Ю. Исследование геокриологических изменений термокарста в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири// Oil&Gas Journal Russia, 2008. – № 1-2. – С. 94 - 98.
7. Полищук Ю.М. Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1992. – 292 с.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем // М.: Изд-во «Наука», 1968. – 356 с.

Полищук Юрий Михайлович

Югорский государственный университет, Институт химии нефти СО РАН, г. Томск

Доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией

Тел.:(3822)492227

E-mail: yuri@ipc.tsc.ru

Полищук Владимир Юрьевич

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Институт химии нефти СО РАН, г. Томск

Аспирант

Тел.: 8(962)7827271

E-mail: liquid_metal@mail.ru

Yu.M. POLISCHUK, V.Yu. POLISCHUK

SIMULATION MODELING FIELDS OF THE THERMOKARST LAKES ON THE AREA OF THE PERMAFROST

Problems of simulation modeling thermokarst lakes fields for thermokarst processes research in permafrost territory under global warming are considered. Proposed geosimulation model is based on experimentally obtained regularities of changes of real thermokarst lakes fields properties in zone of permafrost territory of Western Siberia.

Keywords: *simulation modeling; permafrost; thermokarst lakes; GIS technologies; space images.*

BIBLIOGRAPHY

1. Polishhuk Yu.M., Yashhenko I.G. Sravnitel'ny'j analiz ximicheskogo sostava neftej Rossii na territorii vечноj merzloty' i vne eyo // Kriosfera Zemli, 2007. – Т. 11. – № 1. – С. 45 - 51.
2. Vечnaya merzlota I osvoenie neftegazonosny'x rajonov / Pod red. E.S. Mel'nikova i S.E. Grechishheva. – М.: GEOS, 2002. – 402 s.
3. Anisimov O., Lavrov S. Global'noe poteplenie i tayanie vечноj merzloty': ocenka riskov dlya proizvodstvenny'x ob`ektov TE`K RF // Texnologii TE`K, 2004. – № 3. – С. 78 – 83.
4. Samsonov R., Lesnykh V., Polishchuk Yu., Bryksina N. The climate change impact on thermokarst in West-Siberian territory and geological risks in gas industry / Proc. of 14th annual conference of TIEMS (June 5-8, 2007, Split, Croatia). – Split: TIEMS, 2007. – pp. 212 – 216.
5. Mel'nikov E.S., Vejsman L.I., Kricuk L.N. Landshaftny'e indikatory' inzhenerno-geokriologicheskix uslovij severa Zapadnoj Sibiri I ix deshifrovochny'e priznaki. – М.: Nedra, 1974. – 132 s.
6. Dneprovskaya V., Polishhuk Yu. Issledovanie geokriologicheskix izmenenij termokarsta v zone mnogoletnej merzloty' Zapadnoj Sibiri // Oil&Gas Journal Russia, 2008. – № 1-2. – С. 94 – 98.
7. Polishhuk Yu.M. Imitacionno-lingvisticheskoe modelirovanie sistem s prirodny'mi komponentami. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-e, 1992. – 292 s.
8. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhny'x sistem // М.: Izd-vo «Nauka», 1968. – 356 s.

УДК 004.652

А.В. КОСЬКИН, Г.Г. РОЖКОВ

**ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ
ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

В данной статье рассмотрены вопросы разработки алгоритмов, обеспечивающих функционирование подсистемы автоматического управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия. Обоснована актуальность данной разработки. Приведены схемы алгоритмов и описан процесс их функционирования.

***Ключевые слова:** алгоритм; автоматизированная система управления; обучение; интерактивное взаимодействие; дистанционное обучение.*

Актуальность развития различных технологий дистанционного обучения на сегодняшний день подтверждена на законодательном уровне в Федеральном законе «Об образовании». С 2003 года (10.01.2003 г. № 11-ФЗ) закреплено нормативное определение дистанционных образовательных технологий (ДОТ). «Под дистанционными образовательными технологиями понимаются образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационных и телекоммуникационных технологий, при опосредованном (на расстоянии) или не полностью опосредованном взаимодействии обучающегося и педагогического работника», образовательным учреждениям дано право «использовать дистанционные образовательные технологии при всех формах получения образования» [1].

Что касается технологий и методик дистанционного обучения, то уже в 2002 году была утверждена Методика применения дистанционных образовательных технологий [3], в 2005 году замененная Приказом о порядке использования ДОТ. В нем сформулирована цель использования ДОТ и оговорены условия организационного и методического характера, выполнение которых приводит учреждение к реализации этой цели. [4].

Кроме того, до августа 2005 года действовали Временные требования, предъявляемые к образовательным учреждениям, реализующим образовательные программы с использованием ДОТ [2]. В них давалась характеристика основных видов ДОТ: кейсовая технология, интернет-технология, телекоммуникационная технология. Обращает на себя внимание, что в требованиях к профессорско-преподавательскому составу и к составу соответствующего учебно-методического комплекса подчеркивалось, что ДОТ требуют специального методического подхода.

Отметим, что на смену Временным требованиям пока что не пришли нормативные документы, четко освещающие методические особенности дистанционных образовательных технологий.

В результате во многих ВУЗах ДОТ зачастую представляют собой выложенные на сайте стандартные учебники в оцифрованном виде. Такая форма, бесспорно,

обеспечивает массовый доступ к учебным материалам, простоту передачи от учебного заведения к студенту, возможность трансляции больших объемов информации.

Однако, как говорят работы многих специалистов в этой сфере, на «содержательном» этапе информация, выводимая на экран, должна быть визуализирована, а процесс обучения должен проходить в интерактивном режиме [5].

Именно по этой причине требуются специальные алгоритмы функционирования автоматизированной системы управления процессом обучения, позволяющие реализовать интерактивное взаимодействие преподавателей и обучаемых. Для реализации этой задачи были разработаны нетиповые алгоритмы, обеспечивающие работу автоматизированной системы управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия:

- алгоритм управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия;
- алгоритм мониторинга значений параметров интерактивного взаимодействия;
- алгоритм формирования управленческих решений.

Рассмотрим данные алгоритмы более подробно.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Так как основной целью автоматизированной системы является управление процессом обучения, то данный алгоритм является основополагающим.

Алгоритм управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия представлен на рисунке 1.

Данный алгоритм состоит из нескольких взаимосвязанных частей:

- мониторинг значений параметров интерактивного взаимодействия;
- обработка и анализ полученных значений с целью принятия необходимых управленческих решений;
- реализация сформированных управленческих решений.

Стоит отметить, что мониторинг значений параметров интерактивного взаимодействия выполняется как в разрезе данного алгоритма, так и в автономном автоматическом режиме с заданными временными промежутками.

Процесс обработки полученных значений параметров осуществляется в циклическом режиме и зависит от изменения значения параметра во времени. В случае ухудшения динамики наблюдения за конкретным параметром возникает необходимость в формировании конкретных управленческих решений, направленных на стабилизацию и улучшение значения параметра. Кроме того, необходимо производить корректировку состояния автоматизированной системы, которая подразумевает внесение изменений в статистические отчеты, рейтинги и т.п.

Процесс управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия выполняется автоматически через заданные промежутки времени.

Также интересными для рассмотрения из представленного алгоритма являются процедуры мониторинга значений параметров интерактивного взаимодействия и формирования управленческих решений.

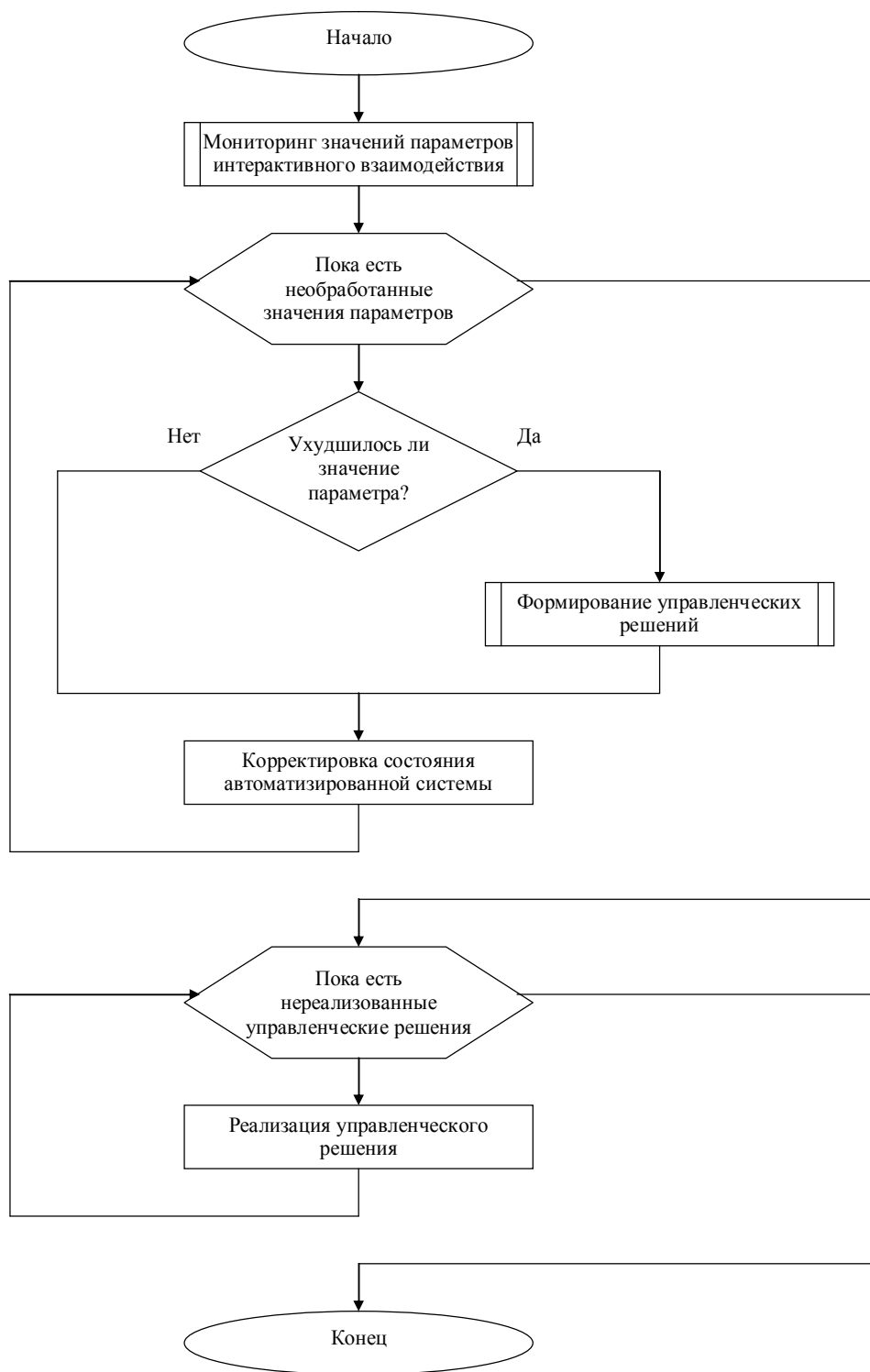


Рисунок 1 – Алгоритм управления процессом обучения на основе параметров интерактивного взаимодействия

АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Алгоритм мониторинга значений параметров интерактивного взаимодействия представлен на рисунке 2.

Как уже отмечалось, мониторинг значений параметров интерактивного взаимодействия выполняется как в разрезе общей процедуры управления процессом обучения, так и в автономном автоматическом режиме с заданными временными

промежутками. Стоит отметить, что для каждого параметра интерактивного взаимодействия в отдельности четко фиксируются интервалы времени, через которые возможно фиксировать их значения.

Под временными промежутками запуска системы мониторинга здесь могут пониматься либо временные интервалы, присвоенные параметрам интерактивного взаимодействия (запуск по параметрам), либо заданные интервалы времени непосредственно для мониторинга (запуск по расписанию).



Рисунок 2 – Алгоритм мониторинга значений параметров интерактивного взаимодействия

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Алгоритм формирования управленческих решений представлен на рисунке 3.

Как уже отмечалось выше, данная процедура запускается в случае ухудшения значения какого-либо параметра интерактивного взаимодействия во времени. Начинается процесс формирования управленческого решения с анализа данного ухудшения и его критичности. В связи с этим выделено два отличных друг от друга подхода к формированию управленческого решения.

Первый (в случае допустимости ухудшения) заключается в простом усилении наблюдения за данным параметром, выраженном в уменьшении интервалов времени мониторинга и фиксации новых данных.

Второй подход подразумевает принятие конкретных мер по стабилизации значения параметра. При этом указанные меры могут варьироваться в зависимости от существующих правил для стабилизируемого параметра.

В завершение подчеркнем, что мы считаем, что описанные технологии не могут целиком заменить словесное изложение учебного материала, однако организация учебного процесса с использованием интерактивных параметров взаимодействия обучаемых и обучающихся должна улучшить взаимодействие всех участников процесса обучения, что повысит качество обучения. В настоящее время проводится экспериментальная проверка вышеизложенного подхода.

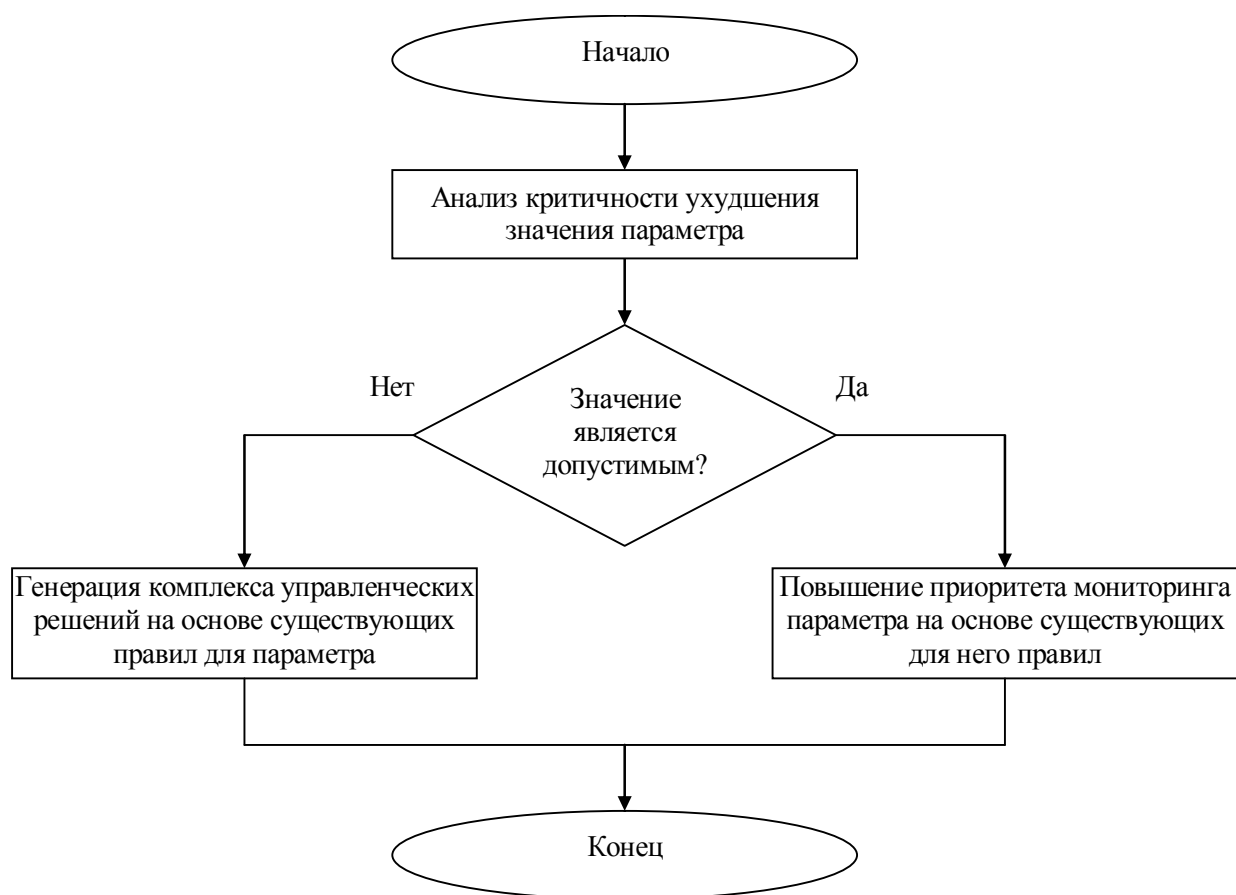


Рисунок 3 – Алгоритм формирования управленческих решений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 10.07.92 г. № 3266-1 (ред. от 07.07.2003 г.) «Об образовании».
2. Временные требования, предъявляемые к образовательным учреждениям среднего, высшего и дополнительного профессионального образования при проведении лицензионной экспертизы и проверки их готовности к реализации образовательных программ с использованием в полном объеме дистанционных образовательных технологий. Утверждены зам. министра образования РФ А. В. Пыжиковым 04.12.2003 г. (отменены Приказом Минобрнауки от 02.08.2005 г.)
3. Приказ «Об утверждении методики применения дистанционных образовательных технологий (дистанционного обучения) в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования РФ». Утвержден Минобрнауки России 18.12.2002 г.
4. Приказ «Об использовании дистанционных образовательных технологий». Утверждено Министерством образования и науки РФ 06.05.2005 г.
5. Башмаков М.И., Поздняков С.Н., Резник Н.А. Информационная среда обучения. – СПб.: Свет, 1997.

Коськин Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, проректор по ИиДО
Тел.: + 7 (4862) 41-98-15
E-mail: koskin@ostu.ru

Рожков Геннадий Геннадьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: + 7 (4862) 41-67-33

E-mail: 1986rgg@inbox.ru

A.V. KOSKIN, G.G. ROZHKOV

APPROACHES TO WORKING OUT OF ALGORITHMS OF FUNCTIONING OF THE SUBSYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL BY PROCESS OF TRAINING ON THE BASIS OF PARAMETERS OF INTERACTIVE INTERACTION

In given article questions of working out of the algorithms providing functioning of a subsystem of automatic control by process of training on the basis of parameters of interactive interaction are considered. The urgency of the given working out is proved. Schemes of algorithms are resulted and process of their functioning is described.

Keywords: *the algorithm; the automated management system; training; interactive interaction; remote learning.*

BIBLIOGRAPHY

1. Federalny'j zakon ot 10.07.92 g. № 3266-1 (red. ot 07.07.2003 g.) «Ob obrazovanii».
2. Vremenny'e trebovaniya, pred`yavlyaemy'e k obrazovatel'ny'm uchrezhdeniyam srednego, vy'sshego i dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya pri provedenii licenzionnoj ekspertizy i proverki ix gotovnosti k realizacii obrazovatel'ny'x programm s ispol'zovaniem v polnom ob`eme distancionny'x obrazovatel'ny'x texnologij. Utverzhdeny' zam. Ministra obrazovaniya RF A.V. Py'zhikovy'm 04.12.2003 g. (otmeneny' Prikazom Minobrnauki ot 02.08.2005 g.)
3. Prikaz «Ob utverzhdenii metodiki primeneniya distancionny'x obrazovatel'ny'x texnologij (distancionnogo obucheniya) v obrazovatel'ny'x uchrezhdeniyax vy'sshego, srednego i dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya RF». Utverzhden Minobrazovaniya Rossii 18.12.2002 g.
4. Prikaz «Ob ispolzovanii distancionny'x obrazovatel'ny'x texnologij». Utverzhdeno Ministerstvom obrazovaniya i nauki RF 06.05.2005 g.
5. Bashmakov M.I., Pozdnyakov S.N., Reznik N.A. Informacionnaya sreda obucheniya. – SPb.: Svet, 1997.

А.В. КУЗНЕЦОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДОКУМЕНТОВ

В статье рассмотрен жизненный цикл документов на примере отправки сотрудника учреждения (предприятия) в командировку, а также представлен алгоритм автоматизации заполнения формализованных бланков документов.

Ключевые слова: документооборот; электронный архив; достоверность информации.

Одной из ключевых составляющих функционирования любого учреждения является организация работы с документами. Следовательно, эффективность функционирования предприятия в немалой степени зависит от эффективности управления движением документов, т.е. от их пути или жизненного цикла (ЖЦ). Под ЖЦ понимается последовательность определенных состояний, которые проходит конкретный документ, сформированный в учреждении (организации), и может состоять из нескольких фаз (рис.1).

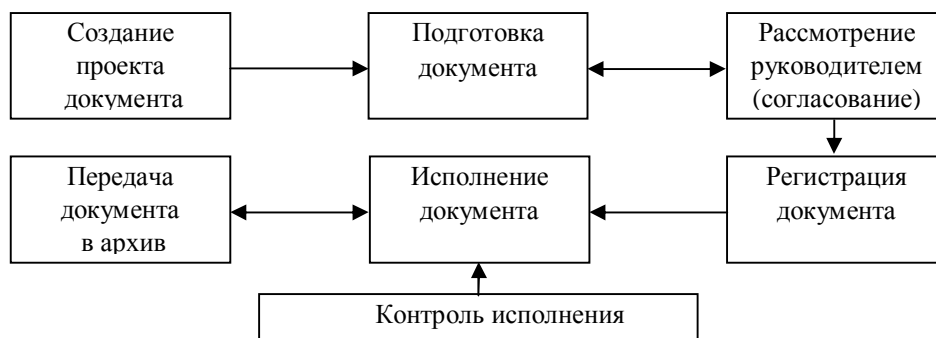


Рисунок 1 – Жизненный цикл документа

Таким образом, все документы становятся объектами рассмотрения после создания, которое происходит поэтапно: возникновение мысли, изложение ее на черновике, корректировка и, наконец, появление самого документа. Как правило, создание документа регламентируется определенными правилами и для всех документов определены конкретные шаблоны. После процедуры создания идет процедура работы с документом, т.е. он начинает рассматриваться разными людьми, где любой сотрудник учреждения при ознакомлении с документом выступает по отношению к нему в определенной роли, которую можно разбить на этапы: рассмотрен, подписан, утвержден и т.д. [1]

Правильно организованное движение документов – одна из важных задач делопроизводственного процесса, следовательно, своевременность поступления информации и ее качество (актуальность, достоверность, полнота) непосредственно влияют на эффективность управленческого воздействия. Принятые руководителем решения включаются в управленческие информационные потоки и таким образом передаются в структурные подразделения и отдельным должностным лицам [2]. Для облегчения работы сотрудников и более качественного контроля за исполнительской дисциплиной внедряются различные автоматизированные комплексы (программы), которые также позволяют организовать более эффективное управление предприятием (учреждением).

Так для примера можно рассмотреть процесс оформления документов для

отправки сотрудника в командировку. Для этого сейчас на предприятиях только на одного сотрудника задействовано довольно много людей, которые подготавливают и подписывают необходимые документы (формы): служебное задание, приказ о направлении работника в командировку, командировочное удостоверение, авансовый отчет.

Все эти формы включены в альбом унифицированных форм первичной учетной документации, который разработан НИИ статинформ Госкомстата России на основании постановления Правительства РФ от 08.07.97 № 835 «О первичных учетных документах». Формы по учету труда и его оплаты, включенные в Альбом, утверждены постановлением Госкомстата России от 05.01.04 № 1 «Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету труда и его оплаты» [3]. Таким образом, в большинстве предприятий данный процесс происходит в следующей последовательности: вначале руководителем структурного подразделения заполняется служебное задание (форма Т-10а), который после подписания передается в кадровую службу, где он регистрируется, затем на основании данного служебного задания издается приказ (распоряжение) о направлении сотрудника в командировку (форма Т-9) и (форма Т-9а) при отправке нескольких человек.

Данные формы заполняются уже работником кадровой службы и отдаются на подпись руководителю или уполномоченному им на это лицу, а также копия приказа передается в бухгалтерию, подлинник (оригинал) подшивается в дело, где хранятся все приказы о командировании. На основании всех этих документов для сотрудника (сотрудников) выписывается и выдается командировочное удостоверение (форма Т-10), с которым он следует к месту назначения, и там ставит в нем отметки о прибытии и убытии. После прибытия из командировки работнику необходимо получить в кадровой службе служебное задание и заполнить его вторую часть, написать краткий отчет о выполненной работе за период командировки. Эта часть документа должна быть согласована с руководителем структурного подразделения и представлена в бухгалтерию вместе с командировочным удостоверением, авансовым отчетом (форма АО-1) с приложением документов, подтверждающих произведенные расходы.

Как правило, большие предприятия и учреждения имеют большие территории и много зданий, что, в свою очередь, затрудняет процесс быстрого оформления и согласования документов из-за необходимости ходить в разные здания или по разным этажам. Следовательно, актуальной становится задача сокращения времени и упрощения процедуры написания и составления документов. Проведя анализ существующих программных продуктов в этой области, можно прийти к выводу, что в настоящее время до конца не реализован качественный подход к автоматизации документооборота по заполнению различных бланков, проверки подлинности документов и т.д.

Таким образом, предлагается разработать централизованную систему документооборота, которая располагалась бы на сервере предприятия и представляла бы разграниченные возможности сотрудникам для работы с документами, не имела бы установочных файлов, а доступ к ней осуществлялся бы из браузера (Internet Explorer, Opera и др.), что позволит облегчить труд различным службам и отделам учреждения и ускорит процесс заполнения необходимых документов, а также будет осуществлять контроль за исполнительской дисциплиной сотрудников.

Алгоритм работы такой системы можно рассмотреть на примере отправки сотрудника в командировку (рис.2.), принцип его работы заключается в следующем:

1. Руководитель структурного подразделения предприятия, в котором работает командированный, для направления работника в командировку должен выйти на

специализированный сайт своего предприятия и заполнить бланк служебного задания (по форме Т-10а). Программа автоматически присвоит ему нужный реквизит – «номер документа», необходимый для регистрации в кадровой службе.

2. Также программа автоматически подготовит приказ о командировании, т.е. заполнит форму Т-9 и подготовит командировочное удостоверение (форма Т-10), аналогично с первым пунктом присвоит им нужные реквизиты «номера документов», необходимые для регистрации в кадровой службе, и поставит их в определенный статус работы.



Рисунок 2 – Алгоритм автоматизации заполнения формализованных бланков документов при отправке сотрудника в командировку

3. После этого документы будут распечатаны и подписаны ответственными лицами.

4. После выполнения вышеперечисленных мероприятий подписанное руководителем (начальником) командировочное удостоверение, сканируется и в графическом виде заносится в базу предприятия, затем ему присваивается в статус «в исполнении».

5. После возвращения сотрудника из командировки он прибывает в кадровую службу и возвращает командировочное удостоверение, которое сверяется путем сканирования в специализированной программе, расположенной на том же сайте организации с имеющимся в базе на схожесть (достоверность); в случае положительного результата программа переведет сотрудника в базе из состояния «в исполнении» в состояние «отчет о командировке».

6. После этого сотруднику останется заполнить только пункт 12 (отчет о командировке) в форме Т10а; в случае утверждения руководителем его результаты данные о сотруднике из рабочей базы по командировкам перейдут в состояние «выполнено» и переместятся в базу «история», после чего командируемому сотруднику останется сдать необходимые документы в бухгалтерию, где уже будут иметься необходимые данные о его командировке.

Таким образом, для достижения желаемого результата при работе с документами, а именно, их своевременного исполнения, информирования руководства о состоянии документооборота, можно только при четком разделении функциональных обязанностей между сотрудниками подразделений, ответственных

за тот или иной этап документооборота и внедрением четко отлаженной автоматизированной системы. Следовательно, внедрение представленного алгоритма работы по заполнению документов на примере отправки сотрудника в командировку, позволит автоматизировать процесс заполнения ряда документов, сократить время на их оформление за счет меньшего движения по различным кабинетам позволит вести более качественный контроль над исполнительской дисциплиной сотрудников на всем этапе прохождения документами их жизненного цикла. Также данная система позволит более качественно вести учет и контроль за документами с автоматическим проставлением им необходимых атрибутов, группировать все документы по направлениям и производить проверку на сходство бумажных носителей информации с документами, находящимися в электронных базах организации, т.е. даст возможность мониторинга всех типов документов на всем их жизненном цикле. В силу того, что большинство документов будет храниться в электронном виде в архиве предприятия (учреждения), то в случае необходимости воспользоваться каким либо документом или узнать всю историю прохождения документом его жизненного цикла, можно будет войти в электронный архив организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Документооборот. Автоматизация делопроизводства. – Электронный ресурс. – URL: www.mdi.ru, 2002.
2. Кузнецов И.Н. Делопроизводство: учебно-справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2006. – 520 с.
3. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
4. Автоматизированная система контроля исполнения документов. – Электронный ресурс. – URL: <http://www.eludia.ru/>
5. Автоматизация управления документами предприятий. – Электронный ресурс. – URL: <http://www.docsvision.com>
6. Кузнецов А.В. Проблемы достоверности документов. «Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии». – №1/51(562), 2009.

Кузнецов Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Соискатель кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8910-300-0366

E-mail: kvaa77@rambler.ru

A.V. KUZNETSOV

THE ORGANIZATION OF DOCUMENTS CIRCULATION SUPPORT

The documents' circulation by an example of sending an employee on a business trip is illustrated in the article. The automated algorithm of filling in the establishment documents' forms is presented.

Keywords: *document; electronic archive; reliability of the information.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dokumentooborot. Avtomatizaciya deloproizvodstva. URL: www.mdi.ru, 2002.
2. Kuznecov I.N. Deloproizvodstvo: uchebno-spravocnoe posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Izdatel'sko-torgovaya korporaciya «Dashkov i K», 2006. – 520 s.
3. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 27 iyulya 2006 g. N 149-FZ Ob informacii, informacionny'x tehnologiyax i o zashhite informacii.
4. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya ispolneniya dokumentov. URL: <http://www.eludia.ru/>
5. Avtomatizaciya upravleniya dokumentami predpriyatij. URL: <http://www.docsvision.com>
6. Kuznecov A.V. Problemy' dostovernosti dokumentov. «Izvestiya OrelGTU. Informacionny'e sistemy' i tehnologii». – №1/51(562), 2009.

Д.Ю. НЕЧАЕВ

МНОГОМЕРНОЕ КОММУНИКАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Решается задача оптимизации сетевой структуры информационного взаимодействия в социально-экономических и человеко-машинных системах, включающих человека-оператора, который мыслится как материальная система, без различия физической и интеллектуальной деятельности, целесообразно функционирующей в совокупности с комплексом технических средств с целью минимизации задержек при передаче информации.

Ключевые слова: эрготический элемент; информационное взаимодействие; сетевой агент.

В конце 20-го столетия общество вошло в новую экономическую форму. Существенными признаками новой экономики являются растущие затраты на информационные услуги и быстрый рост доходности и капитализации информационно-технологических фирм. Именно эти структуры оказывают решающее влияние на продвижение к обновленной экономике и на возникновение новой хозяйственной формы, названной «Сетевая экономика». В настоящее время сетевая экономика привлекает внимание специалистов по инструментальным методам экономики во многом из-за высокой степени инновационности механизмов, задействованных в ней. В последнее десятилетие развитие этой отрасли происходило волнообразно, что характерно для любого нового рынка: «эйфория завышенных ожиданий – скепсис и разочарование – появление реально работающих и востребованных бизнесом решений». Мировой кризис в сетевой экономике на стыке веков принес определенные плюсы. Он позволил создать работающие модели бизнеса и сформировать новую бизнес-среду. Сетевая экономика остается одним из самых успешно развивающихся секторов мировой экономики. Однако вытеснения традиционной формы бизнеса его электронным аналогом не произойдет. Скорее «новая» и «традиционная» экономика постепенно сольются. Сетевая экономика – это обычный, хотя и очень перспективный бизнес.

Когда сетевые организации начинают доминировать в общеэкономической среде, можно говорить, что на данном рынке или в данной стране сформировались необходимые условия для возникновения сетевой экономики. Сетевая экономика имеет следующие особенности:

1. Покупают только те продукты, которые можно попробовать (experience good).

2. Структура затрат сетевой экономики (почти нулевые предельные затраты на расширение выпуска информационных продуктов) не позволяет выживать многим конкурентам в одном сегменте рынка. Останутся сильнейшие, т.к. затраты потребителя на переключение от одного поставщика на другого равны нулю.

3. Чем больше единиц продукта продано, тем больше вероятность, что пользователь найдет дополнительные продукты или услуги, которые будут использовать или усиливать ценность основного продукта (примером основного продукта может быть персональный компьютер или операционная система Windows, для которых создаётся дополнительное аппаратное или программное обеспечение). В

сетевой экономике высокие объемы производства не только обходятся производителю дешевле, но и являются более ценными для потребителей.

В условиях нового информационного уклада происходит трансформация экономических структур, которая отражается в следующих положениях:

1. Исключительность. В сетевой экономике собственник товара не в состоянии простыми и дешевыми средствами исключить конкурентов из своего сегмента.

2. Состязательность. Ослаблена в сетевой экономике, поскольку предельная стоимость тиражирования «цифровой» продукции (digital goods) становится близкой к нулю. В извечной борьбе за покупателя (если это происходит в сетевой экономике) пропадают конкурентные различия между продавцами по их затратам на обслуживание дополнительных заказов. Из-за этого практически не достижимы такие характеристики «хорошего» рынка, как «конкуренция в целях ограничения проявлений частной экономической мощи, отдача от инвестиций и трудовых усилий в соответствии с добавленной социальной ценностью, достаточность стимулов для инноваций и развития новых продуктов».

3. Прозрачность. Во многих секторах экономики покупка товаров в настоящее время перестает быть «прозрачной», т.к. соответствующая ей транзакция, как правило, сразу не заканчивается. Акт покупки всё чаще означает возникновение долгосрочных отношений между продавцом и покупателем. Эта новая черта особенно хорошо заметна по рынку программных продуктов: периодическое обновление версий программного обеспечения превращает акт покупки в процесс долгосрочного «сотрудничества» между покупателем и продавцом.

Сеть (network) можно рассматривать как организационную структуру, как систему и как институт [1]. Сеть как самоорганизующаяся экономическая система основана на принципе относительной независимости ее элементов. Для участников сети преимуществом является общая оболочка. Например, сеть супермаркетов может обобщить специализированные информационные сигналы, полученные от различных ее участников, об изменениях маркетинговой ситуации в общий сигнал для всей сети. Такая способность расширяет механизм получения информации экономическими системами, как в количественном, так и в качественном аспекте.

Вступая в электронный рынок, предприятие осваивает новые формы организации и управления, которые затрагивают все стадии хозяйственной деятельности (от приобретения ресурсов до сбыта готовой продукции), если они протекают в условиях единого информационного экономического пространства. Сетевые формы организации встраиваются в экономическое устройство на всех уровнях ее деятельности. Экономическая система тоже может характеризоваться стремлением к сетевой структуре.

Выделяются следующие преимущества сетевых организаций:

- освоение новых навыков или знаний проходит лучше, чем в иерархической организации, т.к. сетевая форма предлагает лучшее разнообразие процедур поиска, чем иерархия, и обеспечивает участников более богатой и комплексной информацией. Эта способность основана на едином информационном пространстве, т.е. участники сети получают более переработанную, полную информацию от общей оболочки сети, поэтому повышается объем информации, переведенной из категории «данные» в категорию «знания, умения, технологии, культура», что и составляет интеллектуальный капитал в данном случае сети, доступный для всех ее участников.

- легитимность (или статус сетевой организации) в большей степени, чем у традиционной организации, определяется статусом ее членов и наоборот, статус

сетевой организации легко распространяется на ее членов. Эта легитимность (статус) может, в свою очередь, иметь определенные экономические преимущества для участников, связанные, например, с выживанием, ростом и прибыльностью. Все взаимодействия в сети строятся на принципе равноправия, т.е. обе стороны могут отказаться от взаимодействия, в отличие от вертикальных структур, где одна из экономических систем внедрена в процесс взаимодействия и участвует в нем не по своей воле, что служит причиной низкой степени ответственности за результат транзакции, следовательно, снижения статуса надсистемы. В сети наблюдается предсказуемость транзакций, что позволяет говорить об участнике сети как о системе, работающей в рамках определенных институтов, следовательно, результат транзакций более предсказуем, а риски значительно ниже.

Экономические преимущества сетевой формы организации проявляются в некотором снижении транзакционных издержек по сравнению с традиционной командно-иерархической формой. Однако главным преимуществом являются не стоимостные, а качественные изменения. Например, более высокое качество продукции как следствие лучших коммуникаций между покупателем и поставщиком по вопросам, имеющим отношение к качеству. Другой пример – повышение адаптивности сетевой организации к непредсказуемым изменениям в окружающей среде. Этот эффект достигается внутренними сетевыми институтами и высокой степенью адаптивности последних. Такая особенность значительно увеличивается расширенной оболочкой сети, что позволяет получить большее количество информационных импульсов и должным образом принять более взвешенное решение.

Среди других преимуществ отмечается возможность сетевых организаций ослаблять внешние ограничения или неопределенность путем усиления своих связей с конкретными источниками, от которых эти ограничения зависят. Сетевая организация фактически создает большую автономность, меньшее неравенство в распределении богатства. Внутренние институты способны обеспечить достаточно релевантной информацией, так что негативное влияние внешних источников информации на процессы взаимодействия в сети снижает риски. Параллельно этому внутренние институты совершенствуют механизмы взаимодействия, приводя их к более прогнозируемым трансформациям внутренних экономических систем, следовательно, к большему экономическому эффекту.

Каждый хозяйствующий субъект экономики представляется в сети некоторым виртуальным аналогом (своей информационной проекцией). Такими проекциями экономических субъектов в сети можно назвать сайты компаний, Интернет-магазины, домашние странички, электронные почтовые ящики, IP адреса и многое другое. Экономические системы проецируют информационный обмен в виртуальное пространство, где информационный обмен протекает между их проекциями.

В социально-экономических и человеко-машинных системах, включающих человека-оператора, который мыслится как материальная система, без различия физической и интеллектуальной деятельности, целесообразно функционирующей в совокупности с комплексом технических средств важное значение имеет понятие «эрготическая система» [1].

В любом виртуальном предприятии (ВП) полезно наличие «специальных» агентов (сотрудников), умеющих решать относительно редкие и сложные проблемы. В этом случае остальные агенты смогут обращаться к ним за помощью в исключительных случаях вместо того, чтобы учиться самим решать эти проблемы. Такие агенты существенно влияют на экономическую деятельность предприятия и

играют важную системную роль. *Эрготический элемент* (ЭЭ) – это элемент организационной структуры хозяйствующего субъекта сетевой экономики, наделённый особыми полномочиями и компетенциями и осуществляющий (на основе корпоративных знаний) автономные экономические трансакции [2].

В качестве ЭЭ могут выступать как люди, так и программы. Основная задача ЭЭ – управление корпоративными знаниями и умениями. Перед эрготическими элементами ВП стоят две основные задачи:

- Прикладная – удовлетворение потребности заказчиков (ими являются участники ВП и их функциональные подразделения) с помощью ИТ-средств, обеспечивающих эффективную работу над совместно используемой технической информацией и ее преемственность.

- Системная – создание информационной среды и системы управления обработкой информации в совместных проектах.

Независимо от структуры организации, степени децентрализации и делегирования полномочий нести полную и абсолютную ответственность за деятельность всего предприятия должен один центральный эрготический элемент (ЦЭЭ) – руководитель предприятия. Полная и абсолютная ответственность означает право не только управлять, но и передавать, делегировать часть полномочий другим ЭЭ, каждый из которых управляет автономной группой агентов. Каждая такая группа (бизнес-единица) выполняет работы, соответствующие важнейшим направлениям деятельности по реализации стратегии ВП.

Число ЭЭ, подчиненных ЦЭЭ, образует его сферу контроля. Для современного ВП характерно наличие узкой сферы контроля, то есть каждому руководителю подчиняется небольшое количество рядовых агентов (сотрудников). В этом случае имеется многоуровневая структура управления, которая представляет собой двухуровневую сеть. На верхнем уровне в ядре сети устанавливаются соотношения полномочий между ЦЭЭ и ЭЭ, выстраиваются информационные связи и, если это необходимо, происходит дальнейшее деление на более мелкие организационные подразделения, чтобы более эффективно использовать специализацию и избежать перегрузки руководства. На нижнем уровне, реализованном в виде древовидной структуры рядовых агентов, происходит определение должностных обязанностей как совокупности определенных задач и функций для рядовых агентов. Для малых ВП ядро состоит из одного ЭЭ – центрального узла. В сети с такой организацией вопросы проектирования и управления значительно упрощаются.

Параметрами, характеризующими ВП, являются:

- Количество агентов вообще и ЭЭ в частности.
- Количество пар взаимодействующих между собой агентов, т.е. активных каналов связи между смежными агентами.

- Расходы на построение и размещение агента в структуре ВП.
- Стоимостные характеристики реализации информационного взаимодействия между агентами. Стоимость реализации взаимодействия агент-агент, агент-ЭЭ и ЭЭ-ЭЭ, конечно, будет различной. Такие характеристики ВП удобно представлять одноимёнными стоимостными матрицами.

- Стоимостные издержки, вызванные необходимостью обработки поступающей информации агентами и эрготическими элементами. Назовём эту характеристику информационным сопротивлением соответствующего узла сети.

Ядро ВП (рис.1) содержит, как правило, следующие эрготические элементы: ЭЭ-директор по финансам (управляет финансовыми ресурсами компании), ИТ-

директор (управляет компьютерами, базами данных и сетью), Центральный ЭЭ (отвечает за разработку процессов, способствующих передаче и управлению знаниями).

ЦЭЭ выступает как главный координатор совместных проектов и обеспечивает эффективное использование корпоративного информационного портала или другой ИТ-инфраструктуры знаний, а также развитие внутренней культуры обмена знаниями.

ЭЭ нижнего уровня обеспечивают непосредственную реализацию технической политики на предприятиях, причем руководство этих ЭЭ входит в ЦЭЭ верхнего уровня. Этим создается тесная управляющая связь по всей вертикали ВП и снижается риск неучтенных противоречий между его участниками.

Таким образом, мультиагентная система виртуального предприятия (ВП) может быть представлена как двухуровневая сеть.



Рисунок 1 – Структура информационных связей ВП

Для малых предприятий ядро состоит из одного ЭЭ – центрального узла. В сети с такой организацией вопросы проектирования и управления значительно упрощаются.

Задачу оптимизации сетевой структуры информационного взаимодействия с целью минимизации задержек при передаче информации можно описать с помощью теории графов.

Пусть $G(V,E)$ - связный граф, где V – множество вершин графа, $|V|=n$; E – множество ребер графа, $|E|=m$. Каждой из вершин v графа припишем вес $w=w(v)$. Любое ребро l описывается длиной $l(e)$, $e \in E$. Пусть $X_p = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ является подмножеством p узлов графа G . Введем понятие расстояния между вершиной графа G и подмножеством X_p , которое дальше будем записывать как $d(v, X_p)$. Его значение выражается формулой:

$$d(v, X_p) = \min_{1 < i < p} \{d(v, x_i)\} \quad (1)$$

где $d(v, x_i)$ – длина кратчайшего пути между вершинами v, x_i в графе G .

Для любого подмножества $X_p = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ вершин графа G определим значение:

$$H(X_p) = \sum_{v \in V} w(v) d(v, X_p) \quad (2)$$

Введём понятие p -медианы графа G как множество X_p^* , для которого

$$H(X_p^*) = \min_{X_p \subset G} \{H(X_p)\} \quad (3)$$

Размещение эрготического узла сети будем определять на основе выражения (2). На практике вес $w(v)$ вершины определяет расходы на построение и размещение узла сети, а расстояние $d(v, X_p)$ между вершиной v и множеством X_p соответственно используется для представления стоимостных характеристик каналов связи. Выражение (2) представляет собой функцию стоимости, зависящую от выбора узла v ,

причем нет явной связи между стоимостью и выбором узлов составляющих X_p . Предложенный метод эффективно используется при определении размещения ЭЭ.

Рассмотрим теперь технологию взаимодействия рядовых агентов и ЭЭ. Пусть N – это множество агентов, а M – множество, описывающее количество и размещение ЭЭ. Агенты заранее приписаны к конкретным ЭЭ. В дальнейшем используются следующие обозначения: C_{ij} – стоимость присоединения i -того агента к j -ому ЭЭ; F_j – полная стоимость коммутации j -го ЭЭ. Тогда каноническое представление процедуры проектирования можно записать как:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in M} F_j y_j \quad , \quad (4)$$

где x_{ij} определяет соотношение между i -ым агентом и j -ым ЭЭ. Значение $x_{ij}=1$, если i -тому агенту назначен j -ый ЭЭ, в противном случае, $x_{ij}=0$. Значение y_j устанавливает связь между агентами и их локализацией. Если в j -ой локализации размещен агент, то $y_j=1$, в противном случае, $y_j=0$. Для правильной работы процедуры необходимо выполнение условий:

$$\sum_{j \in M} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (5)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in N, j \in M, \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in M, \quad (7)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in M. \quad (8)$$

Выражения (5) и (7) гарантируют взаимодействие агента исключительно с одним ЭЭ. Благодаря выражению (6) агента можно коммутировать только с активным ЭЭ. В проектной процедуре это означает помещение ЭЭ во множество M , на практике это снабжение ЭЭ соответствующей совокупностью связей.

Предложенная процедура выполняет планирование размещения агентов и ЭЭ, и их связей. Она может использоваться также для определения способов коммутации агентов и ЭЭ.

В качестве примера рассмотрим топологию ВП сети - звезда, основанная на центральном ЭЭ. С целью улучшения качества проектирования в стоимости учтём дополнительные расходы функционирования агентов. Заметим, что если два агента коммутируют с одним и тем же ЭЭ в процедуре проектирования, следует учитывать исключительно эффективность анализа информации данным агентом. Если информационный поток протекает между агентами, коммутирующими с различными ЭЭ, тогда анализируемый поток данных следует учитывать при нагрузке всех смежных агентов. Таким образом, учет нагрузки агентов позволяет повысить точность процесса моделирования. Предположим, что стоимость пересылки потока единичной величины для ЭЭ равна C и S соответственно для рядового агента. Пусть трафик между пользовательскими узлами i и k будет равен t_{ik} . Тогда полный трафик t_i , инцидентный i -тому узлу, определяется как:

$$t_i = \sum_{k \in N} t_{ik} + \sum_{k \in N} t_{ki}. \quad (9)$$

Количество ЭЭ, к которым можно приписать i -того агента, ограничено и определяется множеством M_i . Если к рассматриваемому ЭЭ подключается одновременно два рядовых агента, обозначаемые как i и k , тогда соответствующее им множество M_{ik} узлов сети будет равно произведению множеств M_i и M_k , т.е. $M_{ik} = M_i \cap M_k$. Учитывая вышесказанное, выражение (4) преобразуется к виду:

$$\sum_{i \in N} t_i \sum_{j \in M} C_{ij} x_{ij} - (2C - S) \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} t_{ik} \sum_{j \in M} x_{ij} x_{kj} + \sum_{j \in M} F_j y_j \rightarrow \min. \quad (10)$$

В предложенных методах создания топологии виртуального предприятия не учитывается информационное сопротивление (т.е. издержки при анализе информационных потоков агентами и ЭЭ) узлов.

Рассмотрим представление задачи оптимизации топологии ВП, в которой учтено информационное сопротивление узлов.

Пусть N – это множество узлов-агентов. Для любого такого узла $i \in N$ частота поступления создаваемых запросов равна d_i . Множество допустимых локализации эрготических узлов определяет множество M . Для любого $j \in M$ возможно размещение ЭЭ с информационным сопротивлением Q_j . Целью проектной процедуры является размещение ЭЭ и назначение им узлов-агентов. При этом стоимость размещения и назначения должна была быть минимальной, а пропускная способность достаточной для обслуживания поступающих запросов. Таким образом, проблема размещения, учитывающая пропускные способности узлов, представляется выражением:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in M} F_j y_j \rightarrow \min, \quad (11)$$

при условиях:

$$\sum_{j \in M} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} d_i x_{ij} \leq Q_j y_j \quad \forall j \in M, \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in M, \quad (14)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in M. \quad (15)$$

Выражение (11) определяет суммарные расходы на организацию ЭЭ и назначение им узлов-агентов. Выражения (12) и (14) гарантируют подключение произвольного агента исключительно к одному ЭЭ. Выражение (13) разрешает подключение i -того агента к j -му ЭЭ только тогда, когда j -ый узел размещен, а его производительность достаточна для обслуживания создаваемых им запросов.

Альтернативное решение проблемы проектирования получаем на основе замены выражения (13) последовательностью выражений:

$$\sum_{i \in N} d_i x_{ij} \leq Q_j y_j \quad \forall j \in M, \quad x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in N, j \in M. \quad (16)$$

Предложенные алгоритмы используются в качестве первого шага процедуры проектирования топологии ВП.

Исходя из выше сказанного, представляется целесообразным использование предложенного алгоритма при проектировании и развитии сетевых предприятий в новой постиндустриальной экономике. Обмен информацией и знаниями посредством такой сети позволяет компаниям, входящим в группу, и их деловым партнерам значительно снижать издержки и повышать рентабельность своих операций. Конфигурация сети, построенная по приведенным правилам, позволяет пользоваться всеми преимуществами новейших технологий, а персонал имеет возможность налаживать контакты друг с другом на трансграничной основе. Такая общая инфраструктура соединяет группу в единое целое на основе эффективности и безопасности. Преимущества могут быть измерены в экономии средств и сокращении времени за счет комплексной автоматизации всей сбытовой цепочки и реорганизации процесса управления. Оптимизация и автоматизация сбытовой цепочки способствуют сокращению транспортных расходов и сроков поставок, а также более тесному взаимодействию, как с потребителями, так и с поставщиками. Оперативное

реагирование на изменение спроса на рынке достигается за счет более точного и прямого увязывания информации об объемах заключенных или планируемых контрактов с производственными возможностями отдельных поставщиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика: учебное пособие. – НИИ школьных технологий, 2008. – М. : – 176 с.
2. Мосьяков И.В., Нечаев Д.Ю. Эрготические элементы сетевой экономики. – Волгоград, 2009. Центр прикладных научных исследований. – Всероссийская научно-практическая конференция «Инновации в современном мире: проблемы и перспективы».

Нечаев Дмитрий Юрьевич

ГОУ ВПО «Российский государственный торгово-экономический университет», г. Москва
Кандидат технических наук, доцент, декан факультета информационных технологий
Тел.: 8(926)565-63-24
E-mail: dimuray@mail.ru

D.Y. NECHAEV

THE MULTIDIMENSIONAL COMMUNICATION SPACE OF A VIRTUAL COMPANY

We solve the problem of optimizing the network structure of information exchange in socio-technical systems, including a human operator. The latter is thought of as a material system without any distinction between physical and intellectual activities and correctly operating together with the complex of technical means in order to minimize the delays in information transmission.

Keywords: *ergotic element; information interaction; a network agent.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sergeev S.F. Inzhenernaya psixologiya i ergonomika: uchebnoe posobie. NII shkol'ny'x texnologij, 2008: M. – 176 s.
2. Mos`yakov I.V., Nechaev D.Yu. Ergoticheskie elementy' setevoy ekonomiki. – Volgograd, 2009. Centr prikladny'x nauchny'x issledovaniy. Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Innovacii v sovremennom mire: problemy' i perspektivy'».

УДК 355.013

Ю.И. СТАРОДУБЦЕВ, В.В. БУХАРИН, С.С. СЕМЕНОВ

ТЕХНОСФЕРНАЯ ВОЙНА

В работе на основе проведенного критического анализа публикаций, описывающих информационную и сетевую войну, сделаны выводы о необоснованности и бесперспективности применения данных понятий. Выявлены принципиальные особенности явно существующего явления, которые позволяют сформулировать уникальную отдельную категорию – техносферная война. Раскрыты ее основные содержательные моменты, сформулированы цели, принципы и отличительные особенности.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; война; инфо-телекоммуникационная система.

Ограниченность ресурсов планеты Земля в условиях постоянного роста народонаселения и естественного желания любого индивидуума или группы (сообщества) к повышению качества жизни, вызывает необходимость изменения правил распределения ресурсов. В этой связи неизбежно возникают конфликтные ситуации различного масштаба, которые ранее, как правило, разрешались посредством применения военной силы, т.е. войны. Однако содержание войны и способы ее ведения изменились по отношению к объекту воздействия. В настоящее время появились новые возможности ведения войны, более гуманные по внешним проявлениям, но не по сути. Это привело к попыткам [1,2,3,5,6] ввести понятие информационных (ИВ) и сетевых войн (СВ). Данные понятия активно обсуждаются в военно-научных кругах; предпринимаются попытки их использования при разработке концепций реформирования вооруженных сил ряда развитых государств.

В настоящее время основные концепции современных войн (информационная, сетевая) из всей совокупности существенных признаков войны выделяют именно переход к применению средств вооруженного насилия, рассматривая это как отличительный признак понятия «война». При этом обязательным при ведении ИВ и СВ войн является столкновение вооруженных сил (постоянных воинских формирований) с применением современного (в основном высокоточного, специального и функционального) оружия. Это позволяет говорить о том, что противоборство в якобы новых (ИВ, СВ) войнах базируется на классическом определении ведения боевых действий, но с дополнительным использованием новых высокотехнологичных средств и методов.

Имеющиеся взгляды на сетевые и информационные войны опираются на понятие «информационное превосходство». При этом вопрос ведения противоборства именно на инфокоммуникационном пространстве рассматривается вскользь. В настоящее время в связи с развитием информационно-коммуникационных технологий появились новые возможности по ведению технической разведки и осуществлению дистанционных деструктивных воздействий. В разрезе рассмотренных войн (информационная и сетевая) эти возможности рассматриваются как дополнительные новые средства и методы. По мнению авторов статьи, эти новые явления более глубокие и самостоятельные. Кроме того, ИВ и СВ опираются на прямое или косвенное использование вооруженных сил. Однако анализ ситуации, складывающейся в общемировом информационном пространстве,

показывает, что применение вооруженных сил экономически в большинстве случаев не обосновано и может являться только крайним проявлением в развитии конфликта. Гораздо более приемлемым способом достижения целей является воздействие на АСУ противника, которые используются для создания и распределения ресурсов.

Результаты анализа указывают на необходимость введения нового понятия войны – войны в искусственной сфере. Это техносферная война, основным признаком которой является то, что защищаемый ресурс, среда существования этого ресурса, средства разведки и воздействия, а также среда, в которой эти воздействия производятся, являются искусственными.

Техносферная война (ТСФВ) (от греческого технито – искусственный и сфера – среда) – это система согласованных по цели, месту и времени информационных действий, направленных на захват управления (частичный, полный) выбранных систем автоматизированного (автоматического) управления, либо перевод их в деструктивный режим функционирования.

Масштаб войны зависит как от масштабов объектов воздействия, так и от взаимного размещения систем источников угроз, а также характеристик элементов общемирового единого телекоммуникационного пространства (ОМЕТП), то есть поля боя. Введение отдельной категории – информационного оружия – нецелесообразно. Применительно к рассматриваемой ситуации предлагается использовать понятие потенциальной мощности (потенциального ресурса) атакуемой системы. В условиях техносферной войны сохраняется деление на наступательные и оборонительные операции (действия).

Графическая модель конфликтной ситуации представлена на рисунке 1.

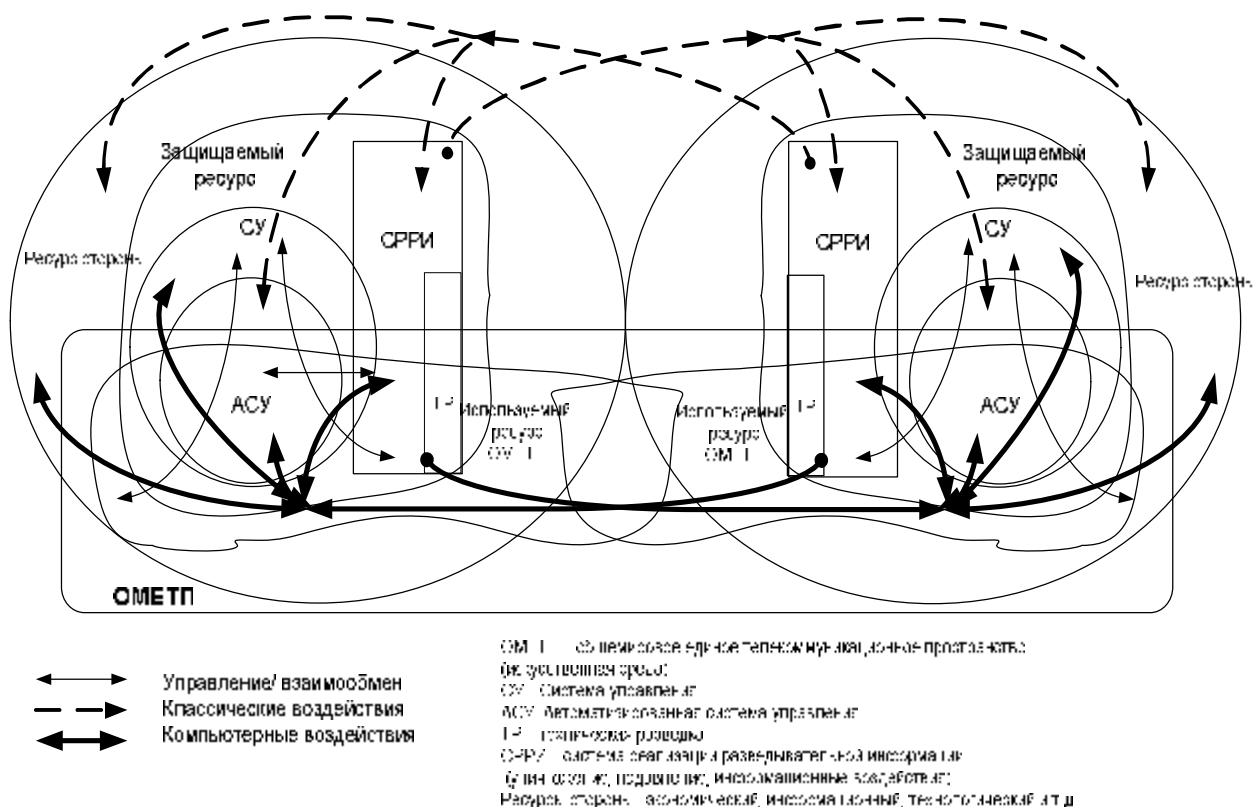


Рисунок 1 – Графическая модель конфликтной ситуации

Результаты сопоставительного анализа целей войн представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения целей войн

Цель	«Классическая» война	ИВ	СВ	ТСФВ
Изменение политического строя	+	+	+	-
Захват территорий, природных ресурсов	+	+	+	-
Однозначное достижение победы над противником	+	-	-	-
Изменение среды обитания противника	+	+	+	-
Разгром вооруженных сил противника	+	+	+	-
Уничтожение экономического потенциала противника	-	+	+	+
Захват информационных ресурсов	-	+	-	+
Перевод «чужой» АСУ в режим, соответствующий собственным интересам	-	-	-	+
Прекращение функционирования или уничтожение АСУ	-	-	-	+
Изменение характеристик ОМЕТП	-	-	-	+

Авторами сформулирована система принципов техносферной войны. Сравнительный анализ традиционных и предложенных принципов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение принципов ведения войн

Классическая война, ИВ, СВ (известные принципы)	ТСФВ (принципы, сформулированные авторами)
Массирование сил	Массирование (интеграция) результатов
Максимальная быстрота	Максимальная синхронизация с процессами атакуемой стороны
Максимальный эффект каждого боя, операции, акции	Максимальная степень приближения финальной (запланированной) ситуации
Главенствующая роль ВС и их компонент	Приоритетные вклады АСУ в создание и распределение используемого ресурса, либо степени влияния эффекта ее трансформации на сопряженные системы управления
Учет физико-географических условий	Учет характеристик (свойств) ИТКС
Учет моральных качеств л/с и его боевого духа (физико-морально-психологическое состояние войск)	Учет уровня технологий и квалификации персонала
Оптимальное сочетание видов, родов войск и специальных подразделений	Сочетание различных способов и видов программных воздействий
Принципиальное различие мирного и военного времени	Неразличимость состояний мирного и военного времени
Учет взаимных влияний различных средств поражения и управления	Возникновение нового понятия взаимных влияний АСУ, использующих один ресурс (случайные и преднамеренные)

Сложившаяся ситуация моделируется многовариантным состоянием сложного объекта, такая модель отражает возможность перевода системы в критические состояния, которые могут привести к нанесению как косвенного ущерба (использование ресурса объекта воздействия), так и к состоянию, приводящему к

физическому разрушению. В классической теории управления [7] текущее состояние системы описывается функционалом:

$$S = F(\bar{x}, \bar{y}), \quad \bar{x} = 1 \dots N, \quad \bar{y} = 1 \dots M,$$

где S – состояние системы;

\bar{x} – множество управляемых параметров;

\bar{y} – множество неуправляемых параметров.

Перевод системы в критическое состояние возможен только за счет изменения управляемых параметров. Принцип воздействия будет заключаться в поиске доступа к этим параметрам и их изменении, которое может привести к критической ситуации.

Существование критических (запрещенных) состояний обусловлено следующими причинами:

1. Ошибки при проектировании и конструировании системы.
2. Большая неопределенность состояний (непредсказуемость) в связи с высокой сложностью системы.
3. Недостаточность необходимого ресурса для устранения известных критических состояний, в том числе, и отсутствие соответствующих технологий.

ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОСФЕРНОЙ ВОЙНЫ

1. Ведение войны происходит в искусственной среде. Защищаемый ресурс, среда существования этих ресурсов, средства воздействия, средства защиты и пространство реализации желаемых эффектов являются искусственными.
2. Воздействия происходят без прямого участия вооруженных сил (ВС) и даже при их отсутствии (ВС становятся не нужны).
3. Возможность ведения войны любого масштаба при отсутствии юридического факта ее объявления.
4. Возможность скрытого расположения средств воздействия и большая неопределенность их возможностей. В отличие от классических (ИБ, СВ), в которых преобладали случайные процессы (погодные условия, морально-психологическое состояние войск и т.д.), в техносферной войне при известных законах функционирования техносферы возможна только неопределенность в результатах воздействий.
5. Результаты воздействия не пропорциональны числу привлекаемых сил и средств.
6. Чем выше уровень автоматизации объектов (процессов), тем больших результатов можно добиться в техносферной войне (самыми уязвимыми являются самые развитые системы).
7. Возможность проведения отдельных операций при отсутствии факта их фиксации.
8. Темпы разработки и совершенствования средств воздействия превышают темпы развития средств защиты.
9. Планы проведения операций могут быть разработаны без классической военной подготовки.
10. Стирание традиционных границ. Неактуальность понятий госграница и линия фронта. «Поле боя» становится общемировое единое телекоммуникационное пространство.

11. Высокая оперативность проводимых операций при отсутствии ограничений на масштаб операции и удаленность объектов поражения.

12. Размытие границ между понятиями военной и гражданской сферой при ведении техносферной войны.

13. Несмотря на искусственность (виртуальность) всех элементов техносферной войны, результаты атак имеют физически регистрируемый результат.

14. Принципиальное переориентирование систем разведки. Объектами разведки являются не только государственные (военные) объекты, но и коммерческие автоматизированные системы технологического управления. Необходимость ведения постоянной (быстрое изменение состояния объекта) и максимально широкой (максимально возможный охват различных по принадлежности объектов) разведки приводит к большому объему развединформации, что влечет необходимость наличия соответствующих эффективных способов и алгоритмов обработки и анализа в автоматическом режиме и реальном времени выполнения.

15. Требуется возможность оперативного реконфигурирования (разработки) средств и методов воздействия под конкретный объект воздействия по результатам разведки. В связи с этим на разведку возлагается функция не только определения объекта (системы), но и нахождения его уязвимостей на данный момент времени.

16. Принципы действия техносферных воздействий основаны на использовании уязвимостей автоматизированных систем, как имевшихся изначально в защитных модулях систем, так и возникших при проектировании, создании и функционировании систем. Это позволяет переводить систему в режимы, не соответствующие целевому функционированию. Диапазон степени воздействий на системы может быть от ухудшения эффективности функционирования (в том числе, и изменение цели функционирования) до полного выхода из строя (с возможными техногенными катастрофами). Точное прогнозирование последствий техносферной атаки возможно только для конкретного объекта или однородного класса.

Техносферная война будет происходить в пределах информационно-коммуникационной инфраструктуры и может распространиться даже за пределы планеты Земля. Таким образом, наличие доступа к ОМЕТП приводит к возможности проведения техносферной войны. Скорость воздействий и отклика на них будет целиком зависеть от характеристик этой инфраструктуры.

Авторы осознают оригинальность представленной теоретической конструкции, необычность терминов и определений, отличительных особенностей и выводов [8]. Коренные изменения принципиальных воззрений на войну и военное дело не являются самоцелью, а лишь первым шагом к осознанию новых явлений. Авторы приглашают специалистов к совместному критическому, но конструктивному диалогу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почепцов Г.Г. Информационные войны. М.: «Рефл-бук», 2000. – 576 с.
2. Волконский Н.Л. История информационных войн: Т.1 (с древнейших времён по XIX век), т.2 (XX век); под ред. И. Петрова. – СПб.: Полигон, 2003. – 736 с.
3. Слипченко В.И. Войны шестого поколения, оружие и военное искусство будущего. – М.: «Вече», 2002. – 382 с.
4. Военная энциклопедия. – М.: Военное издательство, 2004. – 685 с.
5. Паршин С.А., Горбачев Ю.Е., Кожанов Ю.А. Современные тенденции развития теории и практики управления вооруженных сил США. – М.: Ленанд, 2009. – 272 с.

6. Буренок В.М., Кравченко А.Ю., Смирнов С.С. Курс на сетцентрическую систему вооружений // Военно-космическая оборона, 2010. – №1. – С. 21-32.
7. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учебник для ВУЗов. – СПб.: Политехника, 1998. – 567 с.
8. Стародубцев Ю.И., Бухарин В.В., Семенов С.С. Техносферная война. – М.: 2010. – 27 с. Деп. в ЦВНИ МО РФ, 21.07.10, № 20247, серия Б, выпуск № 60. Инв. № В28236.

Стародубцев Юрий Иванович

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург

Доктор военных наук, профессор, начальник кафедры «Радиоэлектронная защита, безопасность связи и информации», заслуженный деятель науки РФ

Тел.: (812) 556-93-41

Бухарин Владимир Владимирович

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, докторант кафедры «Радиоэлектронная защита, безопасность связи и информации»

Тел.: 8-964-383-66-28

E-mail: bobah_buch@mail.ru

Семенов Сергей Сергеевич

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Радиоэлектронная защита, безопасность связи и информации»

Тел.: 8-911-294-01-10

Y.I. STARODUBTSEV, V.V. BUKHARIN, S.S. SEMENOV

TECHNOSPHERNY WAR

In work on the basis of the carried spent critical analysis of the publications describing Information and Network Centric Warfare, the conclusions about not of validity and hopelessness of application of the given concepts are made. The basic features of the obviously existing phenomenon and allowing are revealed to formulate a unique separate category – technosphernay war. Its basic substantial moments are opened, the purposes, principles and distinctive features are formulated.

Keywords: *automated information system; war; infotelecommunication system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Похлепов G.G. Информационные войны. М.: «Реф-бук», 2000. – 576 с.
2. Волконский N.L. История информационных войн: т.1 (с древнейших времен по XIX век), т.2 (XX век); под ред. I. Petrova. – СПб.: Полигон, 2003. – 736 с.
3. Слипченко V.I. Войны шестого поколения, оружие и военное искусство будущего. – М.: «Веche», 2002. – 382 с.
4. Военная энциклопедия. – М.: Военное издательство, 2004. – 685 с.
5. Паршин S.A., Горбачев Yu.E., Козханов Yu.A. Современные тенденции развития теории и практики управления вооруженных сил США. М.: Ленанд, 2009. – 272 с.
6. Буренок В.М., Кравченко А.Ю., Смирнов S.S. Курс на сетцентрическую систему вооружений // Военно-космическая оборона, 2010. – №1. – С. 21-32.
7. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учебник для ВУЗов. СПб.: Политехника, 1998. – 567 с.
8. Стародубцев Ю.И., Бухарин В.В., Семенов S.S. Техносферная война. – М.: 2010. – 27 с. Деп. в ЦВНИ МО РФ, 21.07.10, №20247, серия Б, выпуск № 60. Инв. № В28236.

УДК 657.012.011.56

Н.А. САФРОНОВА

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БАРАНОЧНО-СУШЕЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ (БСИ)
НА ОСНОВЕ ТЕКУЩЕГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

Представлена математическая модель управления температурой паровоздушной смеси в процессе сушки бараночно-сушечных изделий, базирующаяся на регрессионной зависимости между температурой смеси и уровнем воды в парогенераторе. Приведено решение задачи управления методом квадратичного программирования.

Ключевые слова: паровоздушная смесь; температура; математическая модель; регрессивный анализ; квадратичное программирование.

На любой технологический процесс (ТП) оказывает влияние множество случайных факторов, поэтому его выходные параметры являются случайными величинами, при этом зависимости влияния случайных факторов на изменение выходных параметров ТП неизвестны. В подобных случаях важно учитывать и прогнозировать изменения характера взаимосвязи между случайными величинами. Количественное выражение этой взаимосвязи можно осуществить, используя регрессию и корреляцию [1]. Корреляционный анализ дает возможность установить, насколько тесна связь между двумя и более случайными величинами, наблюдаемыми и фиксируемыми в ходе эксперимента. Регрессионный анализ дает возможность создать модель этой зависимости и проверить, насколько она близка к реальной системе, подобрать наилучшим образом соответствующий этой системе вариант модели в смысле минимизации ошибки, являющейся разностью между прогнозируемой моделью и результатами эксперимента. Минимизируемой функцией при регрессионном анализе служит сумма квадратов ошибок [2], что является предметом решения задачи квадратичного программирования при условии линейных ограничений.

Рассмотрим организацию ТП управления температурой паровоздушной смеси в камере ошпаривания (КО) при производстве БСИ на основе текущего регрессионного анализа. Основная задача указанного ТП – поддержание заданной температуры T паровоздушной смеси в КО путем циклической подачи заданного объема V воды в парогенератор, определяемого площадью поперечного сечения котла парогенератора S и уровнем воды H в котле. Так как величина S для конкретного парогенератора в процессе функционирования не изменяется, то в дальнейших рассуждениях в качестве изменяемого (регулируемого) параметра принят уровень H воды в электрическом электродном парогенераторе. Температура T является косвенным показателем содержания влаги БСИ на этапе предварительной сушки.

Исследования показывают, что уровень воды в котле парогенератора H с постоянными конструктивными параметрами и температура T паровоздушной смеси в КО не связаны строгой функциональной зависимостью. Геометрическое место точек $H(T)$ зависит от многих факторов, в том числе, от чистоты подаваемой воды, геометрических и физических параметров электродов, потерей теплоносителя в трубопроводе и др.

Процесс управления осуществляется следующим образом. От датчиков,

измеряющих температуру в камере ошпаривания и уровень воды в парогенераторе, данные экспериментов поступают в контроллер или ЭВМ, где непрерывно строятся регрессионные модели и выдается рекомендация для необходимого управляющего воздействия (включения или отключения насоса и электромагнитного клапана подачи воды в парогенератор) с учетом уровня воды в текущем цикле управления с соответствующими верхним и нижним значениями уровня.

Математически процесс управления уровнем воды в парогенераторе можно свести к следующей модели. Пусть H_t и T_t требуемые уровень воды в котле и температура в КО, а H и T – их текущие (измеряемые) значения. Для решения задачи оптимизации сформулируем целевую функцию вида:

$$F(T, H) = \left(\frac{T_t - T}{T_t}\right)^2 + \left(\frac{H_t - H}{H_t}\right)^2, \quad (1)$$

которую следует минимизировать с учетом ограничения $H = b_1 T + b_0$, определяемого уравнением регрессии. Сформулирована задача квадратичного программирования (задача минимизации квадратичной функции), которую можно решить с помощью неопределенных множителей Лагранжа [2]. Для существования оптимальной точки H по условию Куна-Такера необходимо и достаточно, чтобы существовала такая точка T , что пара (T, H) образовывала седло функции Лагранжа, которая при линейных ограничениях имеет вид:

$$L(H, T, I) = \left(\frac{T_t - T}{T_t}\right)^2 + \left(\frac{H_t - H}{H_t}\right)^2 + I(H - b_1 T - b_0). \quad (2)$$

Седловая точка определится при взятии частных производных следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial H} &= -2 \left(\frac{H_t - H}{H_t}\right) + I = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial T} &= -2 \left(\frac{T_t - T}{T_t}\right) - b_1 I = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial I} &= H - b_1 T - b_0 = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Найдем линейные ограничения. Считаем, что T и H – случайные величины, характеризующие параметры ТП, причем упорядоченная пара (T_i, H_i) характеризует параметры одного варианта ТП и может быть изображена точкой на плоскости. Полная совокупность вариантов изображается множеством точек на плоскости. Математические ожидания случайных величин H и T равны \bar{H} и \bar{T} , а среднеквадратические отклонения σ_H , σ_T характеризуют рассеивания величин H и T относительно их математических ожиданий.

Рассмотрим зависимость $\bar{H}(T)$, являющуюся условным математическим ожиданием $M(H/T)$. Используя выражение для условного математического ожидания, обозначая совместную вероятность появления при ТП данных величин H и T через $p(T, H)$, имеем:

$$\bar{H}(T) = M(H/T) = \frac{\sum_i H p(T, H)}{\sum_i p(T, H)}. \quad (4)$$

Определяя $\bar{H}(T)$ при различных T , можно построить функцию, графически

выражающую эту зависимость (регрессию H по T). Аналогично можно построить регрессию T по H .

Часто на практике реализуется случай линейной регрессии, уравнение которой имеет вид:

$$\bar{H}(T) = b_0 + b_1 T. \quad (5)$$

Требуется получить такие значения коэффициентов b_0 и b_1 , при которых концентрация точек (T_i, H_i) вблизи прямой была наибольшей, т.е. сумма квадратов ошибок являлась минимальной. Графически ошибка для каждой экспериментальной точки определяется как расстояние от этой точки до линии регрессии по вертикали. Имеем $\bar{H}_i = b_0 + b_1 T_i$, при $i=1, 2, \dots, n$, где n – число возможных вариантов параметра ТП, тогда выражение для ошибок будет иметь вид: $e_i = \bar{H}_i - H_i = b_0 + b_1 T_i - H_i$, а функция ошибки, которую надо минимизировать:

$$F(b_0, b_1) = \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 T_i - H_i)^2. \quad (6)$$

Для получения коэффициентов b_0 и b_1 применяются обычные методы математического анализа. Условие минимума таково: $\frac{\partial F}{\partial b_0} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial b_1} = 0$.

Дифференцируя (6), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial b_0} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 T_i - H_i)^2}{\partial b_0} = 2 \left(n b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n T_i - \sum_{i=1}^n H_i \right) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial b_1} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 T_i - H_i)^2}{\partial b_1} = 2 b_0 \sum_{i=1}^n T_i + 2 b_1 \sum_{i=1}^n T_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n T_i H_i = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Решая систему линейных алгебраических уравнений (7), можно получить значения b_0 и b_1 . В матричном представлении уравнения имеют вид:

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n T_i \\ \sum_{i=1}^n T_i & \sum_{i=1}^n T_i^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n H_i \\ \sum_{i=1}^n T_i H_i \end{pmatrix}, \text{ откуда получим:}$$

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n H_i \sum_{i=1}^n T_i^2 - \sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n T_i H_i}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \\ b_1 &= \frac{n \sum_{i=1}^n T_i H_i - \sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n H_i}{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Мерой ошибки регрессионной модели служит среднеквадратическое отклонение [1]:

$$s_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 T_i - H_i)^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Решением системы (3) с подставленными коэффициентами b_1 и b_0 , полученными из выражения (8), будут T^* и H^* . Если T^* находится в заданном пределе изменения температуры, то фиксируется верхнее $H^*_в$ и нижнее значение $H^*_н$ полученного уровня воды, и в следующем цикле управления подача воды будет осуществляться в этих пределах. Если T^* вышла из заданного предела изменения температуры, то перед началом очередного цикла подачи воды регрессивная модель выдаст новые значения уровня воды ($H^*_в$ и $H^*_н$) на очередной цикл управления подачей воды. После изменения температуры и выбора новой уставки уровня строится новая регрессионная зависимость и рассчитывается новое значение уровня воды в котле парогенератора. После многократной коррекции находят такие значения уставки уровня, которые соответствуют заданному значению температуры паровоздушной смеси в КО и решению задачи управления уровнем воды в рассматриваемом ТП.

ВЫВОД

Для использования указанной модели в конкретном производственном процессе требуется проведение эксперимента для нахождения коэффициентов b_0 и b_1 при конкретных конструктивных параметрах котла парогенератора и параметрах его электродов. Предполагается использовать результаты данного исследования на предприятии ООО «ВОПЛОЩЕНИЕ» (г. Орел).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для ВУЗов по спец. «Автоматизированные системы управления». – М.: Высшая школа, 1985. – 271 с.
2. Корячко В.П. Микропроцессоры и микроЭВМ в радиоэлектронных средствах: учебник для ВУЗов по спец. «Конструирование и производство радиоэлектронных средств». – М.: Высшая школа, 1990. – 407 с.

Сафронова Наталья Анатольевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Старший преподаватель кафедры «Электроника, вычислительная техника
 и информационная безопасность»
 Тел.: (4862)70-41-24
 E-mail: sna_19@mail.ru

N.A. SAFRONOVA

THE PROBLEM SOLUTION OF TEMPERATURE CONTROL IN THE CHAMBER WITH STEAM-AIR MIXTURE DURING SMALL RING-SHAPED ROLLS PRODUCTION WITH THE AID OF QUADRATICAL PROGRAMMING AND LINEAR REGRESSION AS LIMITATIONS IN THE CAUSE OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS ANALYSIS

A simulation of steam-air mixture temperature control during drying small ring-shaped rolls based on the regressive dependence between mixture temperature and a water-level in a steam-boiler is presented. The solution of mixture temperature control through method of quadratical programming is shown.

Keywords: *steam-air mixture; temperature; simulation; regressive analysis; quadratical programming.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. Modelirovanie sistem: uchebnik dlya VUZov po spec. «Avtomatizirovanny'e sistemy' upravleniya». – M.: Vy'sshaya shkola, 1985. – 271 s.
2. Koryachko V.P. Mikroprocessory' i mikroEVM v radioe`lektronny'x sredstvax: uchebnik dlya VUZov po spec. «Konstruirovaniye i proizvodstvo radioe`lektronny'x sredstv» – M.: Vy'sshaya shkola, 1990. – 407 s.

Г.А. ТРАВИН, А.М. ЛОГВИНОВ

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В СЕТЯХ ДАТЧИКОВ С НЕРЕГУЛЯРНЫМИ СЕТКАМИ

Основанная на вейвлетах распределенная обработка данных весьма перспективна для сетей датчиков. Однако нерегулярное размещение узлов датчиков препятствует прямому использованию стандартных методов вейвлет-обработки. В данной статье разрабатывается новое распределенное вейвлет-преобразование, основанное на лифтинге, которое учитывает нерегулярность выборки и обеспечивает кусочно-плоское представление измеряемых данных с мультиразрешением. Разрабатывается теория преобразования и описывается в общих чертах ее применение в многоскачковой беспроводной сети датчиков с иллюстрацией несколькими результатами моделирования. Новое преобразование выполняется совместно с обычными вейвлет-методами для сравнения на регулярной сетке узлов датчиков.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование; вейвлет-обработка; моделирование; теория преобразования.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные сети датчиков появились как важная прикладная область для распределенной обработки сигнала. Сети датчиков состоят из узлов, измеряющих интересующие явления, обрабатывающих измерения и распределяющих данные через радиоканал по многоскачковой маршрутизированной сети. Узлы имеют ограниченные ресурсы электропитания, но так как расход энергии на связь обычно превосходит над энергией на обработку в десятки раз, необходима интеллектуальная сетевая обработка для снижения объемов передаваемых данных. Когда это возможно, передачи вне сети должны иметь вид некоторых полученных в итоге *результатов*, а не *необработанных данных*. Такая обработка должна быть как *распределенной* (не требующей всех данных в центральном узле), так и *локальной* (требующей доступа только к данным в непосредственной близости от узла).

Требования к алгоритмам обработки сигналов для сетей датчиков значительно усложняются *нерегулярным размещением узлов*, типичным для реального развертывания сети. В то время как большинство традиционных методов обработки сигналов с регулярной сеткой не применимо напрямую к рассматриваемому распределению, большая часть литературы по распределенной обработке сигналов для сетей датчиков использует регулярные сетки выборок. Этот факт выдвигается на первый план в [1]. С целью устранения такого несоответствия в статье предлагается двухмерное (2D) распределенное вейвлет-преобразование на неравномерной сетке, обладающее мультиразрешением и кусочно-плоской аппроксимацией измерений узлов (вейвлеты с двумя вырожденными моментами). Мы детально обращаемся не только к теории преобразования (основанной на схеме лифтинга [2]), но и к проблемам ее реализации.

1 ЛИФТИНГ НА НЕРЕГУЛЯРНЫХ СЕТКАХ

Лифтинг заменяет измерения в каждом узле сети датчиков коэффициентами вейвлетов, представляющими собой скалярное произведение области измерения с функцией вейвлета в базисе или структурном расширении. Это многомасштабный процесс, начинающийся с исходных измерений узла на некотором самом

детализированном масштабе J и повторяющийся к окончательному, самому грубому масштабу 0 . Обозначим полное множество узлов через $E(J)$, а полный вектор измерений через s_j . Это соответствует множеству *вычисленных коэффициентов* самого детализированного масштаба. Предположим, что каждый узел знает свое местоположение в пространстве, предоставляя эту информацию как область активного исследования [8].

Принимая с небольшой модификацией обозначения, принятые в [7], и начиная с $j = J - 1$, будем говорить, что каждый масштаб преобразования j первых *разбиений* есть множество узлов $E(j+1)$ с $\#E(j)$ «четных» коэффициентов, расположенных в узлах $E(j)$, и $\#O(j)$ «нечетных» коэффициентов, расположенных в узлах $O(j)$. Знак $\#$ обозначает мощность множества. Это делит множество масштабируемых коэффициентов на два новых множества $S_{j+1,E(j)}$ и $S_{j+1,O(j)}$. Коэффициенты в $S_{j+1,O(j)}$ дают подъем к коэффициентам вейвлетов масштаба j , $d_{j,O(j)}$. Будем говорить, что использование $S_{j+1,E(j)}$ как *предсказание* соответствует узлам *предсказания* в $O(j)$. Коэффициенты в $S_{j+1,E(j)}$ тогда *уточняются* до $S_{j,E(j)}$ с использованием $d_{j,O(j)}$ для сохранения взвешенного среднего масштабирующих коэффициентов. Узлы в $E(j)$ будем называть *узлами уточнения*.

Множество масштабирующих коэффициентов масштаба j , $S_{j,E(j)}$ заменяет нечетные масштабирующие коэффициенты масштаба $(j+1)$. Далее преобразование повторяется с $S_{j,E(j)}$ на более грубом масштабе $(j-1)$ и продолжается до тех пор, пока не образуется корневое множество масштабирующих коэффициентов в узлах из $E(0)$. В этой точке число элементов окончательного множества масштабирующих коэффициентов S_0 и полного множества коэффициентов вейвлетов $\{d\}_{j \in \{0, K, j-1\}}$ равно числу элементов исходного пространства измерений $E(j)$. Полученные коэффициенты полностью описывают исходные измерения, т.е. весь процесс преобразования обратимый.

Ключевые вопросы в любом разложении лифтинга заключаются в: 1) определении, какие значения должны *прореживаться* на каждом масштабе (т.е. разделение узлов на $E(j)$ и $O(j)$); 2) определении фильтров для вычисления масштабирующих коэффициентов и коэффициентов вейвлетов на каждом масштабе. При задании регулярной сетки решаются сразу оба этих вопроса — прореживание при переходе к более грубой сетке тривиальна с применением одних и тех же фильтров на всех масштабах в любой точке сетки. При нерегулярной сетке выбор узлов для прореживания становится более сложным, а отсутствие информации о пространственном распределении соседей требует подбора различных коэффициентов фильтров в каждом узле.

Метод, описанный в [5], использует простую кусочно-постоянную многомасштабную аппроксимацию и иерархическую структуру маршрутизации (см. [9] для примера), чтобы обойти эти две проблемы. Маршрутизация группирует узлы в кластеры, а преобразование задает в пределах каждой группы масштабирующий коэффициент (среднее число) выбранному вершинному узлу кластера и коэффициенты вейвлетов (различия от среднего числа) другим узлам. Вершины

кластеров участвуют в следующем уровне преобразования. Таким образом, иерархия маршрутизации приводит к прореживанию и простое усреднение устраняет потребность в фильтрах, зависящих от соседних пространственных распределений. К сожалению, когда данные значительно глаже, чем кусочно-постоянные, приближение не будет в достаточной мере прореживать коэффициенты вейвлетов, ухудшая характеристики работы в приложениях, таких, как сжатие и подавление шума. Чтобы получить многомасштабную аппроксимацию более высокого порядка и избежать зависимости от структур многомасштабной маршрутизации, необходимо поддерживать не только прореживание, но и локальное управление фильтрами.

2 ПРОРЕЖИВАНИЕ УЗЛОВ ДАТЧИКОВ

На каждом масштабе j отделяются узлы предсказания от предыдущего масштаба в узлы предсказания $O(j)$ и узлы уточнения $E(j)$, где $E(j+1) = E(j) \cup O(j)$. Естественно, $O(j)$ и $E(j)$ должны быть несвязными. Также мы желаем, чтобы прореженное множество $O(j)$ было как можно больше на каждом масштабе, чтобы иметь настолько мало масштабов, насколько возможно. Это достигается построением ячейки для управления прореживанием, в частности (но без потери общности) триангуляцией Дэлонэя (ТД) узлов на масштабе j [6, 7]. Триангуляция вычисляется один раз (на самом детализированном уровне преобразования), а далее обновляется в локальном масштабе, поскольку точки удаляются на каждом масштабе. Для начала каждый узел должен только определить свое местоположение и поделиться этой информацией с узлами в пределах его диапазона связи [8].

Используя ячейку, сначала определяются *соседи* узла на масштабе j как узлы, с которыми узел разделяет край в петле масштаба j . Тогда возможно определить, какие точки удаляются на каждом уровне преобразования, обращаясь к определению *масштаба* в нерегулярной сетке. Петля позволяет назначать *область носителя* каждому узлу — вычисление, детализированное в п. 3.3. В то время, как в регулярной сетке у каждого узла одна и та же область носителя, у каждого узла в нерегулярной сетке область различная и, таким образом, уникальный масштаб. Так как многомасштабный анализ обеспечивает все более и более широкие представления области измерения на каждом масштабе, естественно следует, что необходимо удалить точки наименьшего масштаба (области) на каждом уровне преобразования. Напомним, однако, что узел предсказания на уровне j не может предсказать соседей на этом уровне. Чтобы избежать нарушения этих условий предлагается следующее поглощающее решение прореживания узлов:

1. Отметить все узлы на границе петли как уточняющие, помещая их в $E(j)$.
2. Отметить среди узлов, не отмеченных как предсказывающие, узел с наименьшей областью, помещая его в $O(j)$.
3. Отметить соседей узла предсказания в петле как уточняющих, размещая их в $E(j)$.
4. Перейти к шагу 2, если есть немаркированные узлы.

Шаг 1 гарантирует стабильность стадии предсказания (обсуждаемый далее в п. 5.2), а также то, что граничные узлы формируют самое грубое множество $E(0)$. В то время как этот протокол по существу централизован, он обеспечивает изящное решение прореживания с относительно низкой избыточностью. Можно представить схему прохождения сообщений, где узлы договариваются, кто имеет следующую наименьшую область, однако, связанная с этим избыточность связи может стать

препятствующей при разрастании сети. Алгоритм триангуляции основан на детерминировано предоставленных местоположениях узлов, таким образом мы можем легко вычислить порядок прореживания вне сети после сбора самостоятельно определенных положений узлов и затем сообщить отдельным узлам уровень преобразования, на котором они прорежены.

На рисунке 1 изображено два последовательных уровня прореживания. На рисунке 1(а) узлы предсказания на масштабе j отмечены темными кругами. Последующим удалением этих точек и локальной перетриангуляцией определяется новое множество узлов предсказания на масштабе $(j-1)$ (рис. 1(б)). Эксперименты показали, что эта техника удаляет приблизительно 25% узлов за масштаб.

3 РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ФИЛЬТРА

Однажды определив множества $O(j)$ и $E(j)$, вычисляются коэффициенты вейвлетов масштаба j для узлов в $O(j)$ и масштабирующие коэффициенты для узлов в $E(j)$. За этим вычислением следует предсказание и обновление фильтров с целью воздействия на коэффициенты в соседних узлах. Когда местоположения узлов остаются неподвижными, как порядок прореживания, так и коэффициенты фильтра вычисляются только однажды.

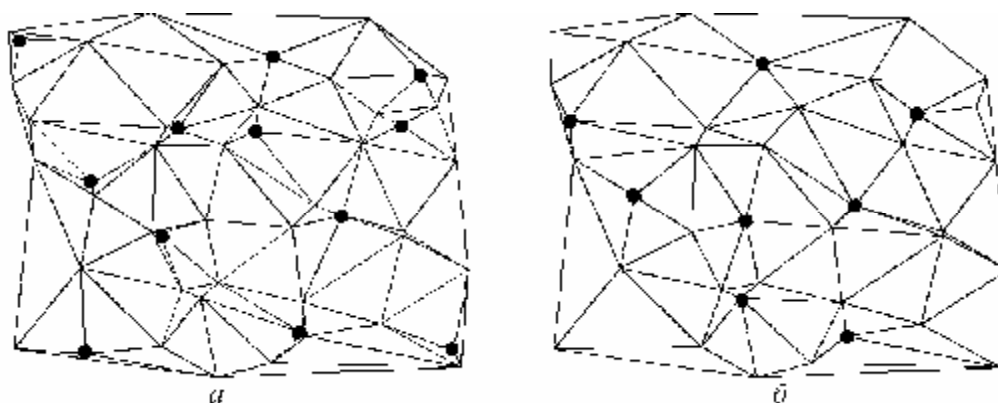


Рисунок 1 — Триангулированная сеть узлов датчиков: а) на уровне j ; б) на более грубом уровне $(j-1)$
(• обозначает прореживаемые вершины)

Несмотря на предположение, что структура прореживания централизованно вычислена и распространена к узлам, как описано в общих чертах в разделе 2, коэффициенты фильтра могут быть эффективно вычислены распределенным способом и сохранены в локальном масштабе в узлах для последующей ссылки.

3.1 ОТНОШЕНИЯ УТОЧНЕНИЯ

Вначале определим, как вейвлеты и масштабирующие функции связаны по масштабам в используемом кусочно-плоском биортогональном вейвлет-преобразовывании, взятом из [7]. Обозначим вектор-строку масштабирующих функций, порождаемых на масштабе j , для узлов в $E(j)$ как $\Phi_{j,E(j)}$, и пусть масштабирующие коэффициенты $s_{j,E(j)}$ образуют вектор-столбец. Аналогично, пусть $\Psi_{j,O(j)}$ представляет собой вектор множества функций вейвлетов масштаба j в узлах $O(j)$ со связанным вектором-столбцом $d_{j,O(j)}$ коэффициентов вейвлетов. Чтобы

связать масштабирующие функции более детализированного масштаба $(j+1)$ с масштабирующими функциями и функциями вейвлетов на масштабе j , определим $\#O(j) \times \#E(j)$ фильтр предсказания P_j и $\#E(j) \times \#O(j)$ фильтр уточнения U_j для выполнения следующих вычислений:

$$\begin{aligned} \Phi_{j,E(j)} &= \Phi_{j+1,E(j)} + \Phi_{j+1,O(j)} P_j, \\ \Phi_{j,O(j)} &= \Phi_{j+1,O(j)} - \Phi_{j,E(j)} U_j. \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогично, P_j и U_j связывают масштабирующие коэффициенты масштаба $(j+1)$ с масштабирующими коэффициентами и коэффициентами вейвлетов в более грубом масштабе j как

$$\begin{aligned} d_{j,O(j)} &= s_{j+1,O(j)} - P_j s_{j+1,E(j)}, \\ s_{j,E(j)} &= s_{j+1,E(j)} + U_j d_{j,O(j)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Без внимательной разработки преобразование может быть совсем не ортогональным, приводя к коэффициентам, воздействие которых на реконструкцию в пространственной области плохо связано с их величинами в области вейвлетов. Элементы в P_j и U_j должны поэтому быть выбраны так, чтобы преобразование было максимально близким к ортогональному. Фильтры также управляют тем, насколько преобразование будет распределенным или местным. Элемент в строке P_j или U_j должен быть отличным от нуля кроме случая, если соответствующий узел в элементе колонки — сосед узла, соответствующего строке элемента в петле масштаба j . Кроме того, данные, собранные *вычислениями* этими предсказывающими и уточняющими коэффициентами фильтров в каждом узле, должны поступать только от соседей каждого узла в масштабе j . Исходя из этих соображений, рассмотрим, как в локальном масштабе заполняются элементы P_j и U_j , и обсудим соответствующий трафик связи.

3.2 ФИЛЬТР ПРЕДСКАЗАНИЯ

Для разработки фильтра предсказания есть прямой метод. Желательно, чтобы преобразование обладало двумя вырожденными моментами, т.е. если данные плоские, то коэффициенты вейвлетов должны быть нулевыми. Чтобы вычислить коэффициент вейвлета в точке предсказания $n_p \in O(j)$, проводится плоскость через соседей точки в петле масштаба j . Обозначим этих соседей как $N(n_p) \in E(j)$. В (2) значение коэффициента вейвлета — разность между масштабирующим коэффициентом масштаба $(j+1)$ в n_p и значением, предсказанным плоскостью в местоположении n_p . $1 \times \#N(n_p)$, вектор коэффициентов предсказания \underline{p}_{j,n_p} в n_p имеет вид:

$$\underline{p}_{j,n_p} = [1, x(n_p), y(n_p)] (X'X)^{-1} X', \quad (3)$$

где $x(\cdot)$ и $y(\cdot)$ соответствуют координатам x и y узла и $\#N(n_p) \times 3$ матрица X имеет вид:

$$X = [1, x(N(n_p)), y(N(n_p))]. \quad (4)$$

Сортированные должным образом коэффициенты в \underline{p}_{j,n_p} заполняют строку датчика n_p в P_j в позициях, соответствующих соседям $N(n_p)$. Оставшиеся элементы в строке, соответствующие более отдаленным узлам, являются нулевыми, таким

образом весь процесс локальный. На рисунке 2(а) изображен одноразовый локальный поток данных на масштабе j во время вычисления коэффициентов фильтра предсказания с соседями узлов предсказания, передающих их (x, y) координаты для использования в (3).

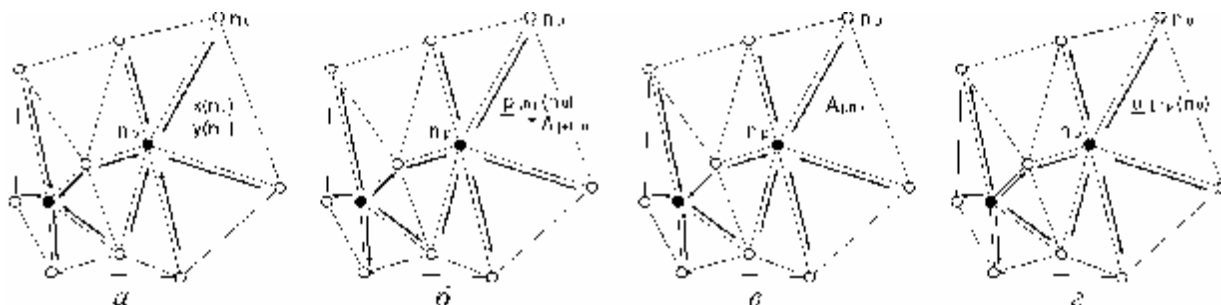


Рисунок 2 — Одноразовая связь на уровне j между узлами предсказания (\cdot) и уточнения (\circ) в ходе вычисления коэффициентов фильтров

Схема предсказания проливает свет на то, почему в разделе 2 уделяется внимание исключению граничных узлов при выборе узлов для предсказания. Когда угловое распределение в полярных координатах соседей вокруг узла предсказания не покрывает большую часть диапазона $[0, 2\pi)$, плоская регрессия становится экстраполяцией в области без точек данных, приводя к численной неустойчивости. Несколько запутанных централизованных методов упомянуты в [7] для работы с этой неустойчивостью. Чтобы противостоять этой проблеме распределенным способом, можно просто никогда не прорезивать узлы на границе петли самого детализированного уровня, поскольку это точно узлы, у которых нет соседей во всей области, охватываемой диапазоном $[0, 2\pi)$.

3.3 ОБЛАСТИ НОСИТЕЛЯ МАСШТАБИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

Вычисление коэффициентов уточнения требует поддержания интегралов масштабирующих функций на масштабе j в членах интегралов масштабирующих функций на масштабе $(j+1)$. Если мы полагаем, что масштабирующие функции на самом детализированном уровне — индикатрисы по областям псевдо-Воронова, окружающим узлы, то это соответствует вычислению и уточнению областей носителя масштабирующей функции. Первый ряд интегралов извлекается из петли самого детализированного масштаба с каждым узлом, присваивающим себе $1/3$ области каждого треугольника, которому он принадлежит [6].

Обозначим через A_{j,n_u} интеграл масштабирующей функции $j_{j,n_u} \in \Phi_{j,E(j)}$ в узле уточнения $n_u \in E(j)$. Интегрирование первого уравнения в (1) по n_u дает

$$A_{j,n_u} = A_{j+1,n_u} + \sum_{n_k \in N(n_u)} \underline{p}_{j,n_k}(n_u) A_{j+1,n_k}, \quad (5)$$

где $N(n_u)$ описывает соседей n_u , коэффициенты вейвлетов которого *предсказаны* в масштабе j ; $\underline{p}_{j,n_k}(n_u)$ дает коэффициент предсказания узла n_k , относящегося к масштабирующему коэффициенту узла n_u масштаба $(j+1)$. По существу, для вычисления интеграла масштабирующей функции масштаба j для узла уточнения n_u добавляется интеграл его масштабирующей функции масштаба $(j+1)$ к взвешенной сумме интегралов масштабирующих функций масштаба $(j+1)$ его соседей предсказания. Коэффициенты предсказания для n_u этих соседей обеспечивают веса

суммы. На рисунке 2(б) представлен одnorазовый трафик связи, проводимой во время перевычисления области с узлами предсказания, передающими их области, взвешенные коэффициентами предсказания к каждому узлу уточнения, участвующему в предсказании.

3.4 ФИЛЬТРЫ УТОЧНЕНИЯ

Для гарантии стабильности преобразования оператор уточнения должен сохранять сумму масштабирующих коэффициентов, взвешенных постоянными интегралов масштабирующих функций, сквозь масштаб. Биортогональные отношения вейвлетов приравнивают это требование к обеспечению каждой функции вейвлетов с нулевым интегралом. Интегрирование второго уравнения в (1) с левой частью равной нулю, решение для матрицы уточнения U_j указывает, что необходимо удовлетворить соотношению $A_{j+1,O(j)} = A_{j,E(j)}U_j$. В то время как в [7] рекомендуется централизованное решение этого уравнения, оно не может быть решено по столбцам практически без ухудшения характеристик аппроксимации.

Мы применяем к каждому столбцу U_j подход минимальной нормы, изначально предложенный в [6], который имеет эффект стабилизации на полное преобразование. Для каждого узла предсказания $n_p \in O(j)$ необходим минимально нормальный вектор столбца коэффициентов предсказания \underline{u}_{j,n_p} , такой, чтобы $A_{j+1,n_p} = A_{j,N(n_p)}\underline{u}_{j,n_p}$ (здесь $A_{j,N(n_p)}$ — вектор-строка соседних областей). Это решается простой псевдоинверсией:

$$\underline{u}_{j,n_p} = \frac{A'_{j,N(n_p)}A_{j+1,n_p}}{\sum_{n_k \in N(n_p)} A_{j,n_k}^2}. \quad (6)$$

Поскольку \underline{u}_{j,n_p} относится только к соседям n_p в петле уровня j , вычисление коэффициентов уточнения является вновь локальным. Заметим, что сортированные должным образом элементы \underline{u}_{j,n_p} представляют собой записи, отличные от нуля в столбце U_j , соответствующем узлу n_p , так как узел предсказания вычисляет эти коэффициенты.

На рис. 2в изображен одnorазовый поток данных, требуемый для вычисления коэффициентов фильтра уточнения, с областями масштаба j узлов уточнения, проходящих к узлам предсказания для вычисления коэффициентов уточнения. Соответствующий коэффициент уточнения тогда отсылается назад (рис. 2(г)) к каждому узлу уточнения для использования в последующих преобразованиях.

3.5 УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Предполагая адекватную синхронизацию среди узлов, не требуется никакого централизованного управления для вычисления фильтров предсказания и уточнения [10]. Распределенное вычисление на масштабе j продолжается следующим образом: узлы предсказания сначала ждут интервала, соответствующего для масштаба, чтобы гарантировать их знание обо всех соседях в петле масштаба j . Далее они обмениваются информацией с этими соседями и вычисляют коэффициенты преобразования как для себя, так и для узлов уточнения соседей. В итоге они вновь триангулируются для следующего уровня преобразования и сообщают своим обновленным соседям новые возможные соединения.

Эта процедура, конечно, предполагает идеальную связь. Так как сеть и декодер должны договориться о соседях каждого узла, потребуются дополнительные усилия,

чтобы гарантировать синхронизацию кодера/декодера при ненадежной связи. Хотя этот протокол выходит за рамки статьи, отметим, что его потери можно амортизировать несколькими вычислениями преобразований, так как коэффициенты фильтра вычисляются только однажды.

4 ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Как только коэффициенты фильтров предсказания и уточнения вычислены и сохранены локально для каждого уровня $j \in \{J-1, \mathbf{K}, 0\}$ преобразования, многократные вейвлет-преобразования измеряемых данных могут продолжиться с использованием этих коэффициентов фильтров. Как следует из (2), сначала вычисляется коэффициент вейвлета d_{j,n_p} для каждого датчика предсказания n_p , а затем вычисляется масштабирующий коэффициент s_j для каждого датчика уточнения n_u , используя новый набор коэффициентов вейвлетов.

Как и ранее, обозначим множество соседей вокруг узла предсказания n_p как $N(n_p)$, пусть \underline{p}_{j,n_p} — вектор-строка коэффициентов предсказания, вычисленных в n_p по выражению (3). Используя масштабирующие значения на уровне $(j+1)$ узла и его соседей, n_p вычисляет значение вейвлета масштаба j как

$$d_{j,n_p} = s_{j+1,n_p} - \underline{p}_{j,n_p} s_{j+1,N(n_p)}, \quad (7)$$

где $s_{j+1,N(n_p)}$ — вектор-столбец масштабирующих коэффициентов. На рисунке 3(а) изображен необходимый локальный поток данных с соседями, просто передающими их масштабирующие коэффициенты на уровне $(j+1)$ к узлу n_p .

Аналогично, пусть $N(n_u)$ вновь соответствует узлам предсказания соседей в петле масштаба j узла уточнения n_u . Поместим вычисленные узлами-соседями предсказания коэффициенты уточнения для n_u в вектор-строку \underline{u}_{j,n_u} . Заметим, что этот вектор-строка содержит должным образом сортированные ненулевые элементы строки n_u в U_j . Их не надо путать ни с одним из векторов-столбцов коэффициентов уточнения, вычисленных в датчиках предсказания в (6). Используя его масштабирующие значения уровня $(j+1)$ и значения вейвлетов масштаба j от его соседей в $N(n_u)$, n_u вычисляет свое масштабирующее значение уровня j как

$$s_{j,n_u} = s_{j+1,n_u} + \underline{u}_{j,n_u} d_{j,N(n_u)}, \quad (8)$$

где $d_{j,N(n_u)}$ — вектор-столбец коэффициентов вейвлетов. На рисунке 3(б) показан соответствующий пример трафика с каждым узлом уточнения, передающий коэффициент вейвлета узла масштаба j каждому из его соседей для вычисления масштабирующего коэффициента.

Вновь никакое централизованное администрирование не требуется для управления этим процессом, кроме тех узлов сети, которые подтверждают начало нового вычисления преобразования — процесс, который может повторяться во времени для некоторого измеряемого явления и/или по желанию оператора. Когда область измерения преобразована в масштаб j , каждый узел предсказания n_p просто ожидает узлы из $N(n_p)$, чтобы послать их вычисленные коэффициенты масштаба $(j+1)$ прежде, чем вычислить собственный коэффициент вейвлета масштаба j . Точно также каждый n_u ждет коэффициенты вейвлетов масштаба j от его узлов-соседей

предсказания прежде, чем вычислить свой новый масштабирующий коэффициент. Преобразование производится через масштабы полностью асинхронным и распределенным способом, никогда не приступая к следующему, более грубому масштабу до завершения всех вычислений в предыдущем, более детализированном масштабе.

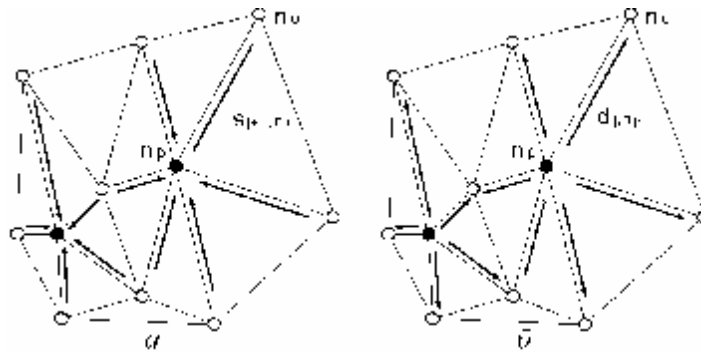


Рисунок 3 – Связь на уровне j между узлами предсказания (\cdot) и уточнения (\circ) в ходе вычисления вейвлет-преобразования

5 ПРИМЕРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Представим две краткие демонстрации для оценки эффективности предложенного преобразования.

В первом примере, аналогичном [1], мы моделируем нелинейную внутрисетевую аппроксимацию (сжатие без квантования) коэффициентов преобразования, предшествующую передаче данных внешнему сливу. В этом сценарии вначале слив посылает в сеть пороговую величину, ниже которой коэффициенты вейвлетов считаются незначимыми. Каждый узел со значащим коэффициентом передает значение коэффициента и идентификационный номер узла к сливу, который восстанавливает область измерения через обратное вейвлет-преобразование. Мы включаем в восстановление последовательно все меньшие коэффициенты для получения нелинейных кривых аппроксимации увеличивающейся точности.

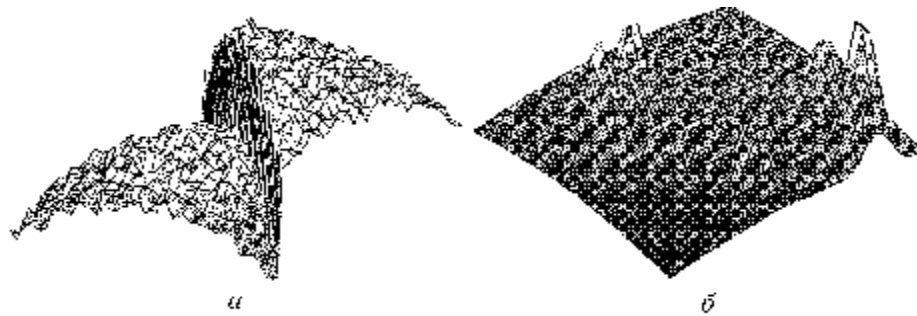


Рисунок 4 – Тестовые области данных: а) зашумленный квадратный изгиб с неоднородностью; б) гауссовы выпуклости на плавно изгибающемся квадрате

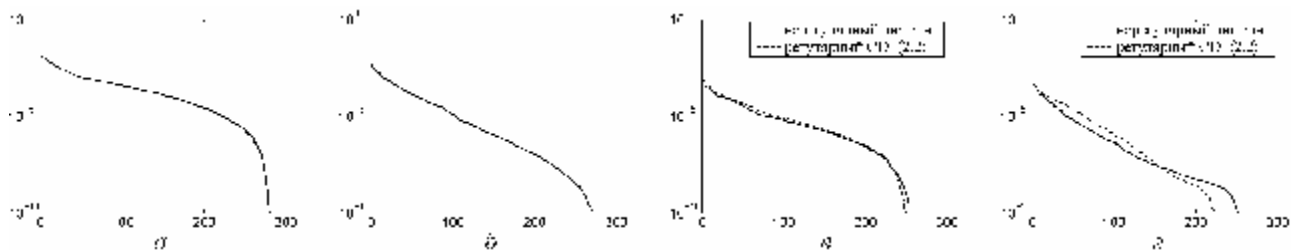


Рисунок 5 – Результаты экспериментов с нелинейной аппроксимацией

Мы обрабатываем две области, изображенные на рисунке 4: первая

представляет собой зашумленный квадратный изгиб с неоднородностью, вторая — несколько случайных гауссовых кривых, расположенных на гладко переменной квадратной области. Оба примера содержат абсолютно плоские свойства вне области кусочно-плоской аппроксимации. Для каждой области создавалось 300 точек выборки из равномерно распределенных случайных местоположений узлов. Рисунок 5(а) и рисунок 5(б) демонстрируют нелинейные результаты аппроксимации для каждого примера. На графиках по оси Y отложена среднеквадратическая ошибка аппроксимации в логарифмическом масштабе, по оси X — число коэффициентов вейвлетов, использовавшихся при аппроксимации. Обе кривые показывают гладкий, быстро уменьшающийся распад, который и ожидался от вейвлет-преобразования на кусочно-гладких данных.

Второй пример для сравнительной оценки работоспособности использовал традиционное биортогональное вейвлет-преобразование Коэна-Добеши с тем же числом вырожденных моментов (CDF(2,2), [4]) на регулярно распределенной квадратной сетке из 256 точек. Для сравнения нелинейные кривые аппроксимации приведены на рисунке 5(в) и рисунке 5(г). Сплошная кривая (предлагаемый метод) почти совпадает с CDF (штриховая кривая), указывая, что наше распределенное преобразование методом лифтинга конкурентоспособно с традиционными вейвлет-методами.

ВЫВОД

Было разработано полностью распределенное вейвлет-преобразование с нерегулярной сеткой и протокол для сетей датчиков, способный реализовать кусочно-плоскую многомасштабную аппроксимацию. Представлены распределенные решения для реализации построения вложенных петель, вычисления коэффициентов фильтров и преобразования. Коэффициенты преобразования обеспечивают желаемое качество работы в приложениях, основанных на пороговой обработке, таких как распределенное сжатие данных, и конкурентоспособны централизованным вейвлет-методам с регулярной сеткой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ganesan D., Ratnasamy S., Wang H., Estrin D. «Coping with irregular spatio-temporal sampling in sensor networks», *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* – Vol. 34. – No. 1. – P. 125–130, 2004.
2. Sweldens W. «The lifting scheme: A construction of second generation wavelets», *SIAM J. on Math. Anal.* – Vol. 29. – No. 2. – P. 511–546, Mar. 1998.
3. Araujo F., Rodrigues L. «Fast localized Delaunay triangulation», in Proc. 8th Int. Conf. on Principles of Dist. Sys. (OPODIS), Grenoble, France, Dec. 2004.
4. Ganesan D., Greenstein B., Estrin D., Heidemann J., Govindan R. «Multi-resolution storage and search in sensor networks», *ACM Trans. on Storage.* – Vol. V. – No. N. – Apr. 2005.
5. Wagner R., Sarvotham S., Baraniuk R. «A multiscale data representation for distributed sensor networks», in IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Sig. Proc. (ICASSP), Mar. 2005.
6. Jansen M., Nason G., Silverman B. «Scattered data smoothing by empirical bayesian shrinkage of second generation wavelet coefficients», in Wavelet App. in Sig. and Image Processing IX, Proc. of SPIE, 2001. – Vol. 4478. – P. 87–97.
7. Delouille V. Nonparametric Stochastic Regression Using Design-Adapted Wavelets, Ph.D. thesis, Universite Catholique de Louvain, 2002.
8. Hu L., Evans D. «Localization for mobile sensor networks», in Proc. 10th Ann. Int. Conf. on Mobile Comp. and Net. (MobiCom), 2004. – P. 45–57.
9. PalChaudhuri S., Kumar R., Baraniuk R.G., Johnson D.B. «Design of adaptive overlays for multi-scale communication in sensor networks», in Proc. Int. Conf. on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Jun. 2005.
10. Elson J., Girod L., Estrin D. «Fine-grained network time synchronization using reference

broadcasts», SIGOPS Oper. Syst. Rev. – Vol. 36. – No. SI. – P. 147– 163, 2002.

Травин Геннадий Александрович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
 Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей физики
 Тел.: (4722) 31-29-02
 E-mail: travin@bsu.edu.ru

Логвинов Алексей Михайлович

Белгородская государственная сельхозакадемия, г. Белгород
 Ассистент кафедры математики и физики
 Тел.: 8-989-327-76-87
 E-mail: scre4m@yandex.ru

G.A. TRAVIN, A.M. LOGVINOV

DISTRIBUTED WAVELET TRANSFORM FOR SENSOR NETWORKS WITH IRREGULAR GRIDS

Wavelet-based distributed data processing holds much promise for sensor networks. However, irregular sensor node placement precludes the direct application of standard wavelet techniques. In this paper, we develop a new distributed wavelet transform based on lifting that takes into account irregular sampling and provides a piecewise-planar multiresolution representation of the sensed data. We develop the transform theory; outline how to implement it in a multi-hop, wireless sensor network; and illustrate with several simulations. The new transform performs on par with conventional wavelet methods for comparison on a regular grid of sensor nodes.

Keywords: *the wavelet transform; the wavelet techniques; the simulation; the transform theory.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ganesan D., Ratnasamy S., Wang H., Estrin D. «Coping with irregular spatio-temporal sampling in sensor networks», *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* – Vol. 34. – No. 1. – P. 125–130, 2004.
2. Sweldens W. «The lifting scheme: A construction of second generation wavelets», *SIAM J. on Math. Anal.* – Vol. 29. – No. 2. – P. 511–546, Mar. 1998.
3. Araujo F., Rodrigues L. «Fast localized Delaunay triangulation», in Proc. 8th Int. Conf. on Principles of Dist. Sys. (OPODIS), Grenoble, France, Dec. 2004.
4. Ganesan D., Greenstein B., Estrin D., Heidemann J., Govindan R. «Multi-resolution storage and search in sensor networks», *ACM Trans. on Storage.* –Vol. V. – No. N. – Apr. 2005.
5. Wagner R., Sarvotham S., Baraniuk R. «A multiscale data representation for distributed sensor networks», in IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Sig. Proc. (ICASSP), Mar. 2005.
6. Jansen M., Nason G., Silverman B. «Scattered data smoothing by empirical bayesian shrinkage of second generation wavelet coefficients», in Wavelet App. in Sig. and Image Processing IX, Proc. of SPIE, 2001. – Vol. 4478. – P. 87–97.
7. Delouille V. Nonparametric Stochastic Regression Using Design-Adapted Wavelets, Ph.D. thesis, Universite Catholique de Louvain, 2002.
8. Hu L., Evans D. «Localization for mobile sensor networks», in Proc. 10th Ann. Int. Conf. on Mobile Comp. and Net. (MobiCom), 2004. – P. 45–57.
9. PalChaudhuri S., Kumar R., Baraniuk R.G., Johnson D.B. «Design of adaptive overlays for multi-scale communication in sensor networks», in Proc. Int. Conf. on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Jun. 2005.
10. Elson J., Girod L., Estrin D. «Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts», *SIGOPS Oper. Syst. Rev.* – Vol. 36. – No. SI. – P. 147– 163, 2002.

УДК 621.391.822

Ю.А. КРОПОТОВ

ПОВЫШЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ

Рассматривается вопрос о понижении влияния сосредоточенных акустических помех на отношение сигнал/помеха в телекоммуникационных системах передачи акустических сигналов. Научная новизна работы заключается в применении алгоритма многоканальной системы передачи акустических сигналов с формированием области режекции. В работе описывается алгоритм вычисления отношения сигнал/помеха на выходе узкополосного канала. Степень подавления сосредоточенной помехи определяется технической реализацией полосовых фильтров.

Ключевые слова: система передачи информации; акустические сигналы; узкополосные помехи; сосредоточенные помехи; отношение сигнал/помеха; гребенка фильтров; область режекции; подавление помех.

Одним из факторов, понижающих отношение сигнал/помеха в системах передачи/приема акустических сигналов, является наличие сосредоточенных акустических помех, представляющих узкополосные колебательные процессы с медленно меняющимися параметрами. Поэтому исследования количественных характеристик влияния сосредоточенных помех на процесс передачи полезной информации являются актуальными.

Рассмотрим систему передачи информации (рис.1), на входе которой действует сигнал, несущий информацию в виде случайного процесса $x(t)$ с дисперсией S^2 [1].

На вход системы также воздействует сосредоточенная помеха в виде гармонического колебания на частоте f_0 с амплитудой $n(t)$. Мощность процесса – сосредоточенной помехи – определяется как $P_n = n(f_0) = \frac{n^2(t)}{2}$. Отношение P_c/P_n на

выходе системы существенно не изменяется относительно входного при условии, что идеализированная АЧХ тракта системы имеет прямоугольную форму с коэффициентом передачи, равным единице в полосе пропускания, спектральная функция процесса $x(t)$ не искажается, частота сосредоточенной помехи f_0 находится в пределах $F_n \div F_e$ (F_n – нижняя частота среза АЧХ, F_e – верхняя частота среза АЧХ тракта). Отношение сигнал/помеха на выходе системы имеет вид

$$\frac{P_c}{P_n} = \frac{S^2}{n(f_0)} = \frac{2S^2}{n^2(t)}$$

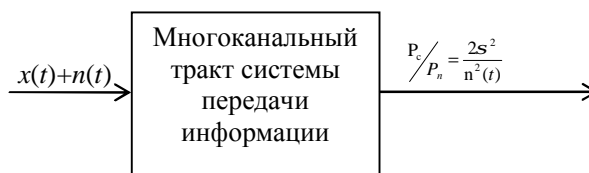


Рисунок 1 – Система передачи информации

Рассмотрим узкополосный канал, являющийся элементом гребенки фильтров суммарного канала – общего тракта системы передачи информации.

Определим АЧХ узкополосного канала как

$$k(f) = \begin{cases} 1, & f_1 \leq f \leq f_2, \\ 0, & \text{при других } f, \end{cases}$$

где $f_2 - f_1 = \Delta f$ – ширина полосы пропускания АЧХ узкополосного канала.

Мощность процесса $x(t)$ на выходе узкополосного канала определяется как

$$P_{\Delta} = \int_{f_1}^{f_2} k^2(f)G(f)df \approx \Delta f \cdot G'(f),$$

где $G(f)$ – преобразование Фурье от АКФ процесса $x(f)$;

$G'(f) = \text{const}$, спектральная плотность мощности процесса $x(t)$ в пределах от f_1 до f_2 , величина постоянная при условии, что $\Delta f \ll \Delta F$, $\Delta F = F_g - F_n$;

ΔF – ширина полосы пропускания АЧХ суммарного канала – общего тракта системы передачи информации, согласованная с эффективной полосой спектра $\Delta F_{\text{сигн}}$ как $\Delta F \geq \Delta F_{\text{сигн}}$.

Таким образом, алгоритм вычисления отношения сигнал/помеха на выходе узкополосного канала получает структуру как на рисунке 2 [2].

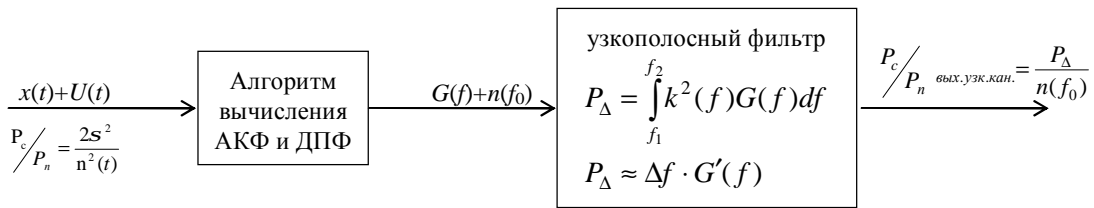


Рисунок 2 – Алгоритм вычисления отношения сигнал/помеха

Если принять с некоторой допустимой погрешностью для принятия технических решений, что $G(f)$ в пределах от F_n до F_g величина не меняющаяся, то её значение определим выражением

$$G(f) = \frac{s^2}{\Delta F},$$

тогда

$$P_{\Delta} = \Delta f \cdot G(f) = \frac{\Delta f s^2}{\Delta F}.$$

В этом случае отношение $\frac{P_c}{P_n \text{ вых. узк. кан.}}$ на выходе узкополосного канала уменьшается в $\frac{\Delta F}{\Delta f}$ раз по отношению к входному отношению $\frac{P_c}{P_n}$, то есть

$$\frac{P_c}{P_n \text{ вых. узк. кан.}} = \frac{\Delta f}{\Delta F} \cdot \frac{2s^2}{n^2(t)}.$$

Коэффициент передачи для сосредоточенной помехи других узкополосных каналов гребенки фильтров, в полосу прозрачности АЧХ которых не попадает средняя частота колебаний f_0 вышеуказанной помехи, в отличие от идеального случая, когда $k(f_0)=0$ при $f_0 < f_1$ и $f_0 > f_2$, принимает реальное значение $k_{\text{подавл.}} \ll 1$. Количественное значение его представляется как коэффициент подавления сигналов,

частоты которых не попадают в полосу прозрачности АЧХ узкополосных фильтров. Коэффициент подавления сигналов в свою очередь определяется технической реализацией узкополосного фильтра в канале и находится в пределах $k_{подавл.} = -30 \div -60$ дБ.

В этом случае выключение узкополосного канала, который поражен сосредоточенной помехой, приводит к ослаблению последней в $k_{подавл.}$ раз. Однако появление области режекции в АЧХ гребенки фильтров полосой Δf приводит к потере мощности полезного сигнала на величину P_{Δ} . Коэффициент потерь определяется выражением

$$K_{\Pi} = 1 - \frac{P_{\Delta}}{S^2} = 1 - \frac{\Delta f}{\Delta F}.$$

График зависимости потерь от полосы пропускания узкополосного фильтра относительно полосы пропускания всего тракта представлен на рисунке 3.

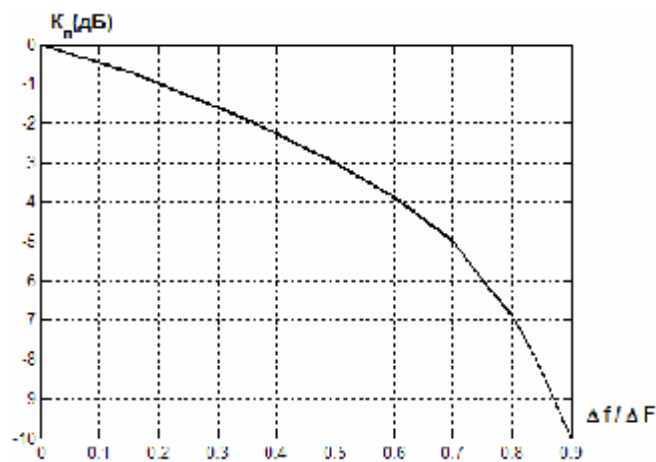


Рисунок 3 – График зависимости потерь от полосы пропускания узкополосного фильтра

Таким образом, отношение $\frac{P_c}{P_n}$ на выходе многоканальной системы передачи информации при выключении канала поражаемого сосредоточенной помехой, определяется выражением

$$\frac{P_c}{P_n}_{вых.} = \frac{2S^2}{k_{подавл.} n^2(t)} \cdot K_{\Pi} = \frac{2S^2}{k_{подавл.} n^2(t)} \cdot \left(1 - \frac{\Delta f}{\Delta F}\right).$$

При воздействии помехи на систему передачи речевой информации, тракт которой состоит в виде гребенки фильтров с отношением $\frac{\Delta f}{\Delta F} \approx 0.1$, при выключении канала пораженного помехой, потери мощности полезного сигнала составят $K_{\Pi} \approx -0,5$ дБ (см. рис. 3). При применении фильтров 16-го порядка в канале с коэффициентом подавления вне полосы пропускания $k_{подавл.} = -30$ дБ и при нормировании максимальных отсчетов по правилу $|\pm x_{max}|=1$, $|\pm n(t)|=1$, дисперсии процесса $x(t)$ $\sigma^2=0,126$, мощности сосредоточенной помехи $n(f_0) = \frac{n^2(t)}{2} = 0,5$ [3],

получаем входные и выходные отношения $\frac{P_c}{P_n}$

$$\frac{P_c}{P_n} (дБ)_{ex.} = 10 \lg \frac{2S^2}{n^2(t)} = -6 \text{ дБ},$$

$$\frac{P_c}{P_n} = -6 \text{ дБ} + 30 \text{ дБ} - 0,5 \text{ дБ} = 23,5 \text{ дБ}.$$

Полученные результаты показывают, что наличие сосредоточенных помех при функционировании систем передачи информации приводит к ухудшению отношения сигнал/помеха до существенных значений (до -6 дБ), что практически выключает передачу информации.

В работе показано, что проблема решается путем реализации тракта в виде многоканальной гребенки фильтров. Выключением пораженного канала формируется область режекции подавления сосредоточенной помехи. Степень подавления сосредоточенной помехи определяется технической реализацией узкополосных полосовых фильтров в каналах.

Появление области режекции также влияет на потерю полезной мощности сигнала, несущего информацию, однако при выполнении условия $\Delta f \ll \Delta F$, такие потери незначительны ($K_{\Gamma} = -0,5$ дБ при $\Delta f = 0,1 \cdot \Delta F$) и они оправданы за счет выигрыша отношения P_c/P_n при эффективном подавлении сосредоточенных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотов Ю.А. Экспериментальные исследования закона распределения вероятности амплитуд сигналов системы передачи речевой информации // Проектирование и технология электронных средств, 2006. – №4. – С. 37-42. – Библиогр.: С. 42.
2. Кропотов Ю.А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области / Ю.А. Кропотов, В.А. Ермолаев, О.Е. Карасев // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – №7. – С. 12-17. – Библиогр.: С. 17.
3. Кропотов Ю.А. Исследование и расчет статистических параметров сигналов при проектировании аппаратно-командных телекоммуникационных систем / Ю.А. Кропотов, А.А. Быков, А.Н. Коноплев // Методы и устройства передачи и обработки информации: межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 11. / Под редакцией В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – М.: «Радиотехника», 2009. – С. 317-321. – Библиогр.: С. 321.

Кропотов Юрий Анатольевич

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет», г. Муром

Кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой ЭиВТ

Тел.: +7(49234) 7-72-72

E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Y.A. KROPOTOV

INCREASE OF THE SIGNAL/NOISE RELATION IN MULTICHANNEL TRANSMISSION SYSTEM OF ACOUSTIC SIGNALS AT INFLUENCE OF NARROW-BAND HINDRANCES

The question reduction influence of the narrow-band hindrances on the relation signal/hindrances in telecommunication systems of transmission acoustic signals is considered. Scientific novelty of this work consists in application of algorithm multichannel acoustic signals transmission system with formation of suppression area. This work is devoted of relation signal/hindrances calculation algorithm on the output of narrow-band channel. The suppression level of the narrow-band hindrances is defined by technical implementation of bandpass filters.

Keywords: information transfer system; acoustic signals; the narrow-band hindrances; the concentrated hindrances; the relation a signal/hindrance; a comb of filters; suppression area; suppression of hindrances.

BIBLIOGRAPHY

1. Kropotov Yu.A. Eksperimentalny'e issledovaniya zakona raspredeleniya veroyatnosti amplitud signalov sistemy' peredachi rechevoy informacii // Proektirovaniye i tekhnologiya elektronny'x sredstv, 2006. – №4. – S. 37-42. – Bibliogr.:s. 42.
2. Kropotov Yu.A. Metod interpolyatsionnoj filtracii v zadachax obrabotki rechevy'x signalov vo vremennoj oblasti /Yu.A. Kropotov, V.A. Yermolaev, O.E. Karasev // Vestnik komp'yuterny'x i informacionnyx tekhnologij, 2008 . – №7. – S. 12-17. – Bibliogr.: s. 17.
3. Kropotov Yu.A. Issledovanie i raschet statisticheskix parametrov signalov pri proektirovanii apparatno-komandny'x telekommunikacionny'x sistem /Yu.A. Kropotov, A.A. Bykov, A.N. Konoplev// Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii: Mezhvuzovskij sbornik nauchny'x trudov. – Vy'p.11 / Pod redakciej V.V. Romashova, V.V. Bulkina. – M.: «Radiotekhnika», 2009. - S. 317-321. – Bibliogr.: s. 321.

С.В. УСОВИК, А.В. ВОРОНИН

**АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАФИКА
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

Автоматическое обнаружение приложений связано с разработкой телекоммуникационной сети. К сожалению, методы классификации, основанные на анализе порта, не всегда эффективны, а анализ полезной нагрузки пакета является слишком медленным. В статье предложен алгоритм классификации трафика, который описывается скрытыми марковскими моделями, в соответствии с кластеризацией по критерию минимума евклидова расстояния.

Ключевые слова: трафик; классификация сетевой нагрузки; скрытая марковская модель.

Моделирование трафика – важная задача, решение которой позволит понять и исправить проблемы, возникающие при развертывании вычислительных сетей, а также при мониторинге этих сетей. Ранее усилия в этой области были сосредоточены на моделировании трафика конкретного приложения, используемого источником на прикладном уровне. Исследования проводились с целью генерации синтетического трафика, аналогичного по статистическим свойствам реальному трафику, порождаемому данным сетевым приложением. Коммуникации между источником и получателем рассматривались как передача файлов, объектов (картинок, html-текста, ссылок и т.д.), а также транзакций при работе с базами данных. Исходя из этого, главное внимание уделялось исследованию структур баз данных, ресурсов FTP, Web-сайтов с целью имитации работы обобщенного источника трафика, следующего определенной модели поведения пользователя. Однако подобный подход не позволяет конкретизировать отличия в поведении трафика определенного источника в силу усреднения по большому числу источников и существенным различиям в структурах сетевых приложений.

Существует иной подход к моделированию сетевого трафика, основанный на анализе передаваемых пакетов. Логика использования данного метода основана на следующих основных особенностях работы телекоммуникационных сетей с пакетной коммутацией:

4. Сетевые устройства (мосты, коммутаторы, маршрутизаторы) на основе коммутации и передачи отдельных пакетов;
5. Большинство проблем, возникающих в процессе работы сети (например, потери, задержки, недопустимо большой джиттер) происходит на уровне передачи пакетов;
6. Процесс передачи данных посредством пакетов происходит независимо от развития протоколов и от связки приложение/протокол;
7. Разбиение трафика на пакеты сохраняется после шифрования передаваемой информации (например, после использования на оконечных терминалах сети таких протоколов, как SSL и IPSec);

Модели трафика на уровне передачи пакетов основаны на поведении двух случайных величин: времени между поступлениями пакетов (временного интервала

между пакетами) и размера пакета. Эти величины позволяют рассмотреть процесс передачи трафика источника на самом низком уровне, поскольку статистические характеристики сетевых приложений на вышележащих уровнях в большей или меньшей степени отражены в статистических особенностях прохождения пакетов по каналу связи. С другой стороны, преимуществом изучения трафика по наблюдениям за интервалами между пакетами и размерами пакетов является отсутствие какого-либо предположения относительно протокола используемого приложением, следовательно, применение данного подхода универсально к различному виду источников и их смесей.

В последнее время появился ряд работ [1,2,3], в которых используется подход к анализу сетевого трафика на уровне пакета, основанный на марковских свойствах поведения потерь, задержек, работы сетевого оборудования. Основываясь на этих работах, предлагается модель источника сетевого трафика, передающего нагрузку различного вида.

СКРЫТЫЕ МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ

Подробное описание скрытых марковских моделей приведено в [4,5]. Скрытая марковская модель рассматривается как вероятностная функция цепи Маркова и имеет две переменные:

- переменная скрытых состояний, поведение которой во времени подчинено поведению марковской цепи;
- наблюдаемая переменная, которая стохастически зависит от переменной скрытых состояний.

$x_n \in \{s_1, \dots, s_N\}$ – множество скрытых состояний, $y_n \in \{o_1, \dots, o_M\}$ – множество наблюдений, где N и M обозначают количество скрытых состояний и количество наблюдений. Скрытая марковская модель обозначается $\lambda = \{u, A, B\}$, где u – начальное распределение вероятностей марковской цепи, где $u_i = P(x_1 = s_i)$;

A – матрица переходов $N \times N$, где $A_{ij} = P(x_n = s_j | x_{n-1} = s_i)$;

B – матрица наблюдений $N \times M$, где $B_{ij} = P(y_n = o_j | x_n = s_i)$.

МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА ПАКЕТОВ

Описанная выше модель может быть применена к модели источника пакетов в сети с пакетной коммутацией. Для дальнейшего обсуждения введем обозначения параметров: b – интервал времени между пакетами, d – размер (длина) пакета. Для описания модели источника пакетов будем использовать следующие обозначения: $x_n \in \{s_1, \dots, s_N\}$ – множество скрытых состояний, $y_n = [d_n, b_n]$ – вектор наблюдений. Сложность описания модели источника пакетов заключается в том, что нам неизвестно количество скрытых состояний марковской цепи, а также вероятности переходов между этими состояниями. Однако мы можем делать предположения о количестве состояний управляющей марковской цепи на основании того факта, что при передаче пакетов сетевых приложений имеются корреляции между определенными значениями b и d . Это обусловлено особенностями работы сетевого оборудования и особенностями организации информационного обмена между сетевыми приложениями. Ключевым моментом в описании модели источника трафика является предположение о том, что коррелированные значения b и d управляются одними состояниями x_n марковской цепи. Статистически независимые длины пакетов и интервалы между поступлениями пакетов будут давать состояния

марковской цепи. Представление сетевого трафика в виде скрытой марковской модели позволяет применить алгоритм его классификации.

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Идея алгоритма состоит в том, чтобы на основании предположения о схожести статистического поведения векторов уп сгруппировать их значения таким образом, чтобы наблюдения трафика одного вида имели минимальное евклидово расстояние. Следовательно, алгоритм кластеризации должен работать по критерию минимума евклидова расстояния внутри кластера. Необходимо обучить систему на известном типе трафика. Обучение заключается в задании параметров скрытой марковской цепи для заранее известной сетевой нагрузки. Соответствие поступающего трафика известному типу определяется по алгоритму Витерби по критерию максимального правдоподобия. Функция правдоподобия определяется выражением $L(O|\lambda) = -\log P(O|\lambda)$, где O – последовательность наблюдений, а λ – заданная скрытая марковская модель. Максимум функции правдоподобия определяется по алгоритму Баума-Уэлча [5]. Таким образом, для моделей λ_i , соответствующих различным типам трафика и числу известных типов нагрузки N , евклидово расстояние между функциями правдоподобия выражается формулой:

$$d_{i,j} = \sum_{l=1}^N |L(O|\lambda_i) - L(O|\lambda_j)|^2.$$

В дальнейшем кластеризацию можно проводить либо по методу К-средних, либо по методу кластеризации, реализованному для модели смеси гауссиан.

Схема работы алгоритма классификации трафика разделяется на два этапа. Первый этап заключается в обучении системы классификации. Он включает следующие шаги:

9. Получение трафика известного вида. Получить трафик можно двумя способами: путем выделения из открытой сети и путем искусственной генерации.

10. Получение оптимальных оценок функции правдоподобия по алгоритму Витерби и Баума-Уэлча.

11. Определение границ кластера известного типа трафика.

Второй этап заключается в классификации неизвестного трафика, который включает следующие шаги:

6. Вычисление расстояния d между известным кластером и поступившим трафиком.

7. В случае превышения значения d границ кластера неизвестный трафик выделяется в отдельный кластер, иначе он соответствует одному из известных кластеров.

Применимость описанного алгоритма осложняется ситуацией, когда в наблюдаемом трафике одновременно присутствует нагрузка различного типа. В этом случае возрастает количество кластеров, часть которых классифицирует нагрузку как смесь трафика различных сетевых приложений. Проведенные эксперименты по классификации трафика при помощи описанного алгоритма показали, что трафик протокола HTTP правильно определяется с вероятностью 96%, трафик протокола FTP – с вероятностью 91%, трафик протокола SMTP – с вероятностью 86%.

Таким образом, приведенный в статье алгоритм может быть использован для классификации сетевой нагрузки. Использование алгоритма может быть полезным для идентификации аномального или вредоносного трафика при диагностике вычислительной сети. Алгоритм рекомендуется использовать для проектирования пропускной способности сети, в частности, для перенаправления нагрузки

определенного типа по каналам связи, пропускная способность которых обеспечивает заданное качество обслуживания. Дальнейшая работа должна проводиться в области сокращения вычислительной сложности алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелухин О.И., Тенякишев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: монография; под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
2. Lane T. Hidden markov models for human/computer interface modeling. In Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Learning about Users, pages 35-44. International Joint Conferences on Artificial Intelligence, August 1999.
3. Wright C., Monroe F., Masson G. HMM profiles for network traffic classification(extended abstract). In: Proc. of Workshop on Visualization and Data Mining for Computer Security (VizSEC/DMSEC), Fairfax, VA, USA (2004) 9–15.
4. Dainotti A., de Donato W., Pescap`e A., Rossi P.S. Classification of network traffic via packet-level hidden markov models. In: Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 2008, New Orleans, LA, USA (2008).
5. Rabiner L.R. A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition, *Procs. IEEE*, Vol. 77. – No. 2. – pp. 257-285, Feb. 1989.

Усовик Сергей Викторович

Академия ФСО России, г. Орел
Адъюнкт Академии ФСО России
Тел.: 8-905-856-25-97
E-mail: a2us@rambler.ru

Воронин Алексей Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры, доцент

S.V. USOVIK, A.V. VORONIN

CLASSIFICATION OF NETWORK TRAFFIC

The automatic detection of applications associated with network traffic engineering. Unfortunately, simple port-based classification methods are not always efficient and systematic analysis of packet payloads is too slow. The traffic model is under construction on the basis of Hidden Markov Models. The algorithm is based on methods clustering by criterion of the least Euclidean Space.

Keywords: *traffic; classification of network traffic; Hidden Markov Model.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sheluxin O.I., Tenyakishev A.M., Osin A.V. Fraktalny'e processy' v telekommunikaciyah: monografiya; pod red. O.I. Shelukhina. M.: Radiotekhnika, 2003. – 480 s.
2. Lane T. Hidden markov models for human/computer interface modeling. In Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Learning about Users, pages 35-44. International Joint Conferences on Artificial Intelligence, August 1999.
3. Wright C., Monroe F., Masson G. HMM profiles for network traffic classification(extended abstract). In: Proc. of Workshop on Visualization and Data Mining for Computer Security (VizSEC/DMSEC), Fairfax, VA, USA (2004) 9–15.
4. Dainotti A., de Donato W., Pescap`e A., Rossi P.S. Classification of network traffic via packet-level hidden markov models. In: Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 2008, New Orleans, LA, USA (2008).
5. Rabiner L.R. A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition, *Procs. IEEE*, Vol. 77. – No. 2. – pp. 257-285, Feb. 1989.

УДК 004.891.2

А.С. БОРОВСКИЙ, А.Д. ТАРАСОВ

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОБЩЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

Предлагается подход к созданию математической модели функционирования СФЗ как процесса взаимодействия множеств на основе теории обычных множеств, теории нечетких множеств и метода анализа иерархий.

Ключевые слова: множество; нечеткое множество; соответствие множеств; нечеткое соответствие; композиция соответствий; метод анализа иерархий Саати.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость математического моделирования функционирования СФЗ обусловлена важностью оценки уязвимости и защищенности объекта с целью выработки наилучшей по заданному критерию стратегии его защиты и оценки ее эффективности.

В настоящее время не существует какой-либо единой системной классификации математических моделей функционирования СФЗ ввиду ограниченного числа исходных данных, поэтому в данной статье ограничимся простым перечнем и краткой характеристикой некоторых моделей, которые на наш взгляд наиболее существенные:

- общая модель процесса функционирования СФЗ – она представлена как процесс взаимодействия трех множеств или пространств: множество источников угроз, множество зон объекта защиты, множество инженерно-технических средств охраны (можно еще ввести четвертую составляющую – множество средств нейтрализации угроз, однако данный аспект в работе не рассматривается). Итогом их взаимодействия будет тот или иной уровень защищенности объекта (состав комплекса инженерно-технических средств охраны);

- модель категорирования объектов – основной целью данной модели является обоснование достаточности качественных и количественных требований к уровню защищенности объекта; может быть представлена в виде двух моделей: модель категорирования объекта по степени потенциальной опасности в случае реализации угроз и модель категорирования объектов по уязвимости к возможным противоправным действиям; [1]

- модель нарушителя – она является частью предыдущей модели категорирования объектов и предназначена для оценки уязвимости объекта и, соответственно, для задания уровня защищенности объекта; [1]

- модель оценки эффективности выполнения СФЗ своих функций: обнаружения, задержки и нейтрализации (данные модели в настоящее время достаточно хорошо разработаны, они используются в программных комплексах оценки эффективности СФЗ).

В данной статье представленная общая модель процесса функционирования СФЗ находится на стыке нескольких теорий: теории обычных множеств, теории нечетких множеств, теории нечетких графов и метода анализа иерархий.

1 ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение 1. Множество это совокупность объектов, рассматриваемое как целое.

Определение 2. Соответствие множеств образуется, если элементы двух множеств могут каким либо образом сопоставляться друг с другом, образуя пары.

Определение 3. Композиция соответствий есть операция с тремя множествами X , Y и Z , на которых определены два соответствия между X и Y и между Y и Z , причем область значений первого соответствия совпадает с областью определения второго соответствия. Композиция соответствий сопоставляет с каждым элементом x из области определения первого соответствия один или несколько элементов z из области значений второго соответствия.

Подробно теорию множеств можно посмотреть в литературном источнике [2].

Определение 4. Нечеткое множество $A \in X$ представляет собой набор пар $\{(x, \mu_A(x))\}$, где $x \in X$. X называется базовым множеством или базовой шкалой. Величина $\mu_A(x)$ принимает определенное значение из замкнутого интервала $[0; 1]$, которое называется степенью принадлежности элемента x нечеткому множеству A .

Определение 5. Прямое произведение нечетких множеств $A = \{(\mu_A(x) / x)\}$, ($x \in X$) и $B = \{(\mu_B(y) / y)\}$, ($y \in Y$) определяется выражением $A \times B = \{(\mu_{A \times B}(x, y) / (x, y))\}$, $x \in X$, $y \in Y$, где $\mu_{A \times B}(x, y) = \mu_A(x) \& \mu_B(y)$.

Определение 6. Нечетким соответствием между множествами X и Y называется тройка множеств, в которой X , Y — произвольные четкие множества, а F — нечеткое множество в $X \times Y$, что обозначается как $A = (X, Y, F)$.

Определение 7. Композицией нечетких соответствий $A = (X, Y, Q)$ и $B = (Y, Z, P)$ называется нечеткое соответствие $C = (X, Z, S)$, обозначаемое $C = A \circ B$, у которого область отправления совпадает с областью отправления соответствия A , область прибытия — с областью прибытия соответствия B .

Подробно теорию нечетких множеств смотрите в литературном источнике [3].

2 МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ С ЧЕТКИМИ СООТВЕТСТВИЯМИ

2.1 ОПИСАНИЕ МНОЖЕСТВ И СООТВЕТСТВИЙ

Рассматривается модель процесса функционирования СФЗ как взаимодействие семи множеств: множества источников угроз, множества зон объекта защиты, множества средств охраны, множества приоритетов угроз, множества важности зон объекта, множества эффективности средств защиты, множества стоимостей средств защиты.

Под угрозой можно понимать проявленное в любой форме намерение нанести физический, материальный или иной вред [4]. Для каждого объекта существует набор возможных угроз, которые теоретически могут быть реализованы и, следовательно, от них (и только от них) необходимо защищать объект.

Обозначим множество угроз $X = \{x_i \mid i=1, N\}$. Оно содержит все возможные виды угроз (N элементов), учитываемые при проектировании СФЗ на объекте.

Например, виды угроз могут быть следующими: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей.

Возможность возникновения угрозы на объекте находится в зависимости от внешнеполитической обстановки в мире в целом, а также от внутривнутриполитической обстановки в регионе, где расположен объект защиты. [4] Обычно напряженность

рассматривают на нескольких уровнях: в мировом масштабе, на территории государства, в регионе, где расположен объект и на самом объекте. Для каждого вида угроз можно определить необходимость защищать объект от такого вида угрозы при текущем уровне политической обстановки, т.е. приоритетность данной угрозы. Множество приоритетов угроз обозначим $R=\{r_i \mid i=1,N\}$.

Соответствие между множеством угроз и множеством приоритетов угроз будет характеризовать каждую угрозу коэффициентом R_i . Получаемый коэффициент соответствия покажет, насколько вероятна реализация i -ой угрозы при существующей напряженности политической обстановки по сравнению с остальными видами угроз.

Объект защиты можно условно разделить на зоны – непересекающиеся области, каждая из которых является целью какой-либо угрозы (или, как минимум, территорией, где может быть расположено средство физической защиты). В формализованном представлении объекта обычно определяют охраняемые зоны и рубежи, разделяющие эти зоны. Для проникновения в охраняемую зону нарушитель должен преодолеть соответствующие рубежи как единственные пути доступа. Следовательно, именно рубежи должны быть защищены от проникновения и в них будут концентрироваться средства защиты. В данной модели не используется понятие рубеж, а охраняемые зоны как места появления нарушителей должны содержать в себе средства защиты.

Объект будет представлять собой множество $Y=\{y_j \mid j=1,V\}$ непересекающихся зон – потенциальных целей (V элементов). Набор элементов множества зависит от объекта защиты. Например, зона – база товарно-материальных ценностей нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).

Для зон объекта необходимо задавать их относительную важность. В случае удавшейся реализации угрозы на территории каждой зоны объект в целом будет нести материальные и другие виды потерь. Уровень потерь зависит от вида реализованной угрозы, от того, что было целью угрозы, насколько удачно проведены действия нарушителей и т.п. Для оценки возможных потерь обычно рассматривают самый пессимистичный вариант развития событий (самая опасная угроза – диверсия, полностью удавшаяся в самом разрушительном варианте). Возможные при таких условиях потери в одной зоне объекта по сравнению с другими зонами показывают относительную важность данной зоны. Каждая зона объекта будет соответствовать элементу множества важности $S=\{s_j \mid j=1,V\}$ – с коэффициентом соответствия S_j , показывающем, насколько будут велики потери при реализации угрозы в j -ой зоне по сравнению с остальными зонами.

Существует множество средств защиты объекта $Z=\{z_k \mid k=1,M\}$ (элементов системы физической защиты), которые выполняют функцию полной или частичной блокировки угроз, например система контроля доступа, система видеонаблюдения, система охранной сигнализации, физические барьеры, силы охраны (M элементов).

Каждое средство защиты требует определенных затрат на установку и дальнейшее обслуживание, следовательно, в модели необходимо учитывать их соответствие элементу множества стоимостей $T=\{t_k \mid k=1,M\}$ в виде T_k коэффициента, показывающего, насколько дороже использовать k -ое средство защиты по сравнению с остальными элементами СФЗ.

Элементы СФЗ отличаются различной способностью противостоять угрозам. Любое средство защиты может блокировать угрозы не полностью, а с определенной степенью эффективности. Для каждого элемента СФЗ нужно учитывать его соответствие элементу множества эффективностей $L=\{l_k \mid k=1,M\}$ в виде L_k

коэффициента, показывающего, насколько хорошо противодействует k -ое средство защиты различным типам угроз по сравнению с остальными средствами.

Вышеперечисленные соответствия будут являться отображениями, т.к. для каждого элемента первого множества всегда будет находиться только один элемент второго множества. Следующие соответствия не являются отображениями, для каждого элемента одного множества будут найдены несколько элементов второго множества.

Соответствие множества средств охраны Z множеству угроз X , т.е. полное или частичное блокирование угрозы можно представить в виде множества $Q \subseteq Z \times X$, определяющего закон, по которому осуществляется соответствие между множествами Z и X . Закон соответствия должен указывать, насколько эффективно блокируется каждый вид угрозы данным видом защиты. Каждый элемент СФЗ будет характеризоваться несколькими параметрами равными по количеству числу видов угроз. Для k -ого средства будут определены N коэффициентов, $Q_{k i}$ -вероятность реагирования и предотвращения i -ой угрозы в зоне защищенной данным элементом СФЗ.

Соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y , т.е. воздействие источников угроз x на локальные зоны y объекта можно представить в виде множества $P \subseteq X \times Y$, определяющего закон, по которому осуществляется соответствие между множествами X и Y . Соответствие будет показывать, какой вид угрозы наиболее вероятен для конкретной зоны объекта. Для каждой угрозы будут получены V (по количеству зон объекта) параметров, $P_{i j}$ -вероятность появления и реализации i -ой угрозы по отношению к j -ой цели.

Соответствие множества средств охраны Z множеству зон объекта Y можно представить в виде множества $F \subseteq Z \times Y$, определяющего закон, по которому осуществляется соответствие между множествами Z и Y . Соответствие покажет, какие элементы СФЗ будут более надежно защищать определенную зону объекта в зависимости от нацеленных на зону угроз. Оценивается, на какую потенциальную цель нарушителя будут направлены с большим приоритетом те угрозы, против которых более эффективен данный элемент СФЗ. Другими словами, в какой зоне объекта рассматриваемое средство защиты столкнется с нарушителем, под которого это средство «заточено». Для каждого средства защиты будут получены V показателей эффективности защиты каждой цели, $F_{k j}$ – коэффициент необходимости защиты k -ым элементом СФЗ j -ой зоны объекта. Отношения и соответствия множеств показаны на рисунке 1.

2.2 КОМПОЗИЦИЯ ЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ

Данная модель включает в себя композицию соответствий множеств. Соответствие множества средств охраны Z множеству зон объекта Y можно определить с помощью соответствия множества средств охраны Z множеству угроз X и соответствия множества угроз X множеству зон объекта Y

Используя два соответствия $q=(Z,X,P)$, $Q \subseteq Z \times X$ и $p=(X,Y,Q)$, $P \subseteq X \times Y$, сопоставим с каждым элементом z из области определения первого соответствия один или несколько элементов y из области значений второго соответствия и таким образом получим третье соответствие $q(p)=(Z, Y, F)$, $F \subseteq Z \times Y$.

По коэффициентам третьего соответствия можно определить, в какую зону желательно установить выбранные средства защиты. Следовательно, определив первые два соответствия с помощью экспертных знаний и учитывая относительную

ценность потенциальных целей, можно найти ответ на вопрос: какой состав системы физической защиты требуется для данного объекта.

2.3 ПРИМЕР РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Для определения параметров соответствий Q_{ki} и P_{ij} , а также коэффициентов R_i , S_j , T_k , L_k используется метод анализа иерархий Т. Саати. При использовании этого метода проводятся парные сравнения элементов по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Подробно данный метод описан в литературном источнике [5].

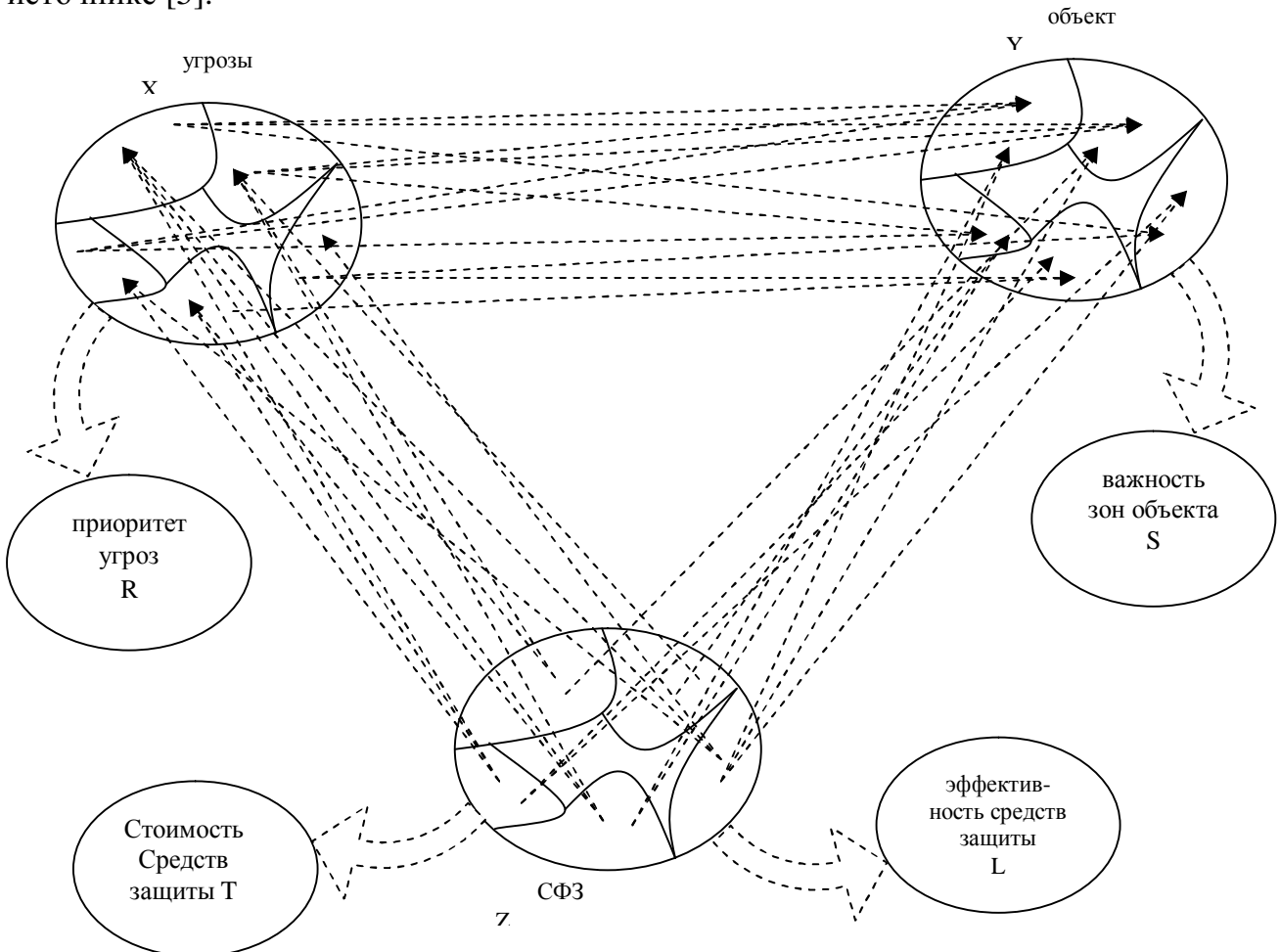


Рисунок 1– Модель на основе четких множеств с четкими соответствиями

Приведем пример использования данной методики. В качестве объекта защиты был выбран НПЗ. Множества содержат следующие элементы:

Угрозы: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей.

Зоны объекта: цель1 (база товарно-материальных ценностей), цель2 (коммерческий узел учета нефти), цель3 (технологическая установка), цель4 (цех товарно-сырьевого производства), цель5 (водозабор), цель6 (биологические очистные сооружения).

Элементы СФЗ: система контроля доступа, система видеонаблюдения, система охранной сигнализации, физические барьеры, силы охраны.

Эксперты должны определить, насколько вероятен каждый тип угрозы для зон объекта. Матрица парных сравнений для зоны «цель1 (база товарно-материальных

ценностей)» показана в таблице 1. Матрицы составляются для каждой зоны объекта – в приведенном примере всего 6 таких матриц.

Далее эксперты определяют эффективность средств защиты по отношению ко всем видам угроз. Матрица парных сравнений для угрозы диверсии указана в таблице 2. Количество матриц для угрозы равно 5.

Таблица 1 – Матрица парных сравнений для угроз объекту «цель1»

	Диверсия	Терроризм	Нарушение технологического процесса	Хищение материальных ценностей	Хищение информационных ценностей
диверсия	1	1/2	5	1/3	5
терроризм	2	1	7	1/2	7
нарушение технологического процесса	1/5	1/7	1	1/9	1
хищение материальных ценностей	3	2	9	1	9
хищение информационных ценностей	1/5	1/7	1	1/9	1

Таблица 2 – Матрица парных сравнений для эффективности СФЗ против угрозы «диверсия»

	система контроля доступа	система видео наблюдения	система охранной сигнализации	Физические барьеры	силы охраны
система контроля доступа	1	1	1/5	1/5	1/3
система видеонаблюдения	1	1	1/5	1/5	1/3
система охранной сигнализации	5	5	1	1	2
физические барьеры	5	5	1	1	2
силы охраны	3	3	1/2	1/2	1

Для определения относительных вероятностей появления угроз, относительной ценности зон объекта, коэффициентов затрат на элементы СФЗ и коэффициентов эффективности элементов СФЗ также используются матрицы парных сравнений.

Следующий шаг – вычисление параметров соответствий, участвующих в композиции. Это P_{ij} -вероятности появления и реализации каждой угрозы по отношению ко всем зонам объекта и Q_{ki} -вероятности реагирования каждого средства защиты и предотвращения угрозы по отношению ко всем видам угроз. Процесс определения коэффициентов состоит в вычислении вектора приоритетов по матрицам парных сравнений следующим способом. Суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице. Первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй – второго и т.д. [5]. Аналогично высчитываются коэффициенты R_i, S_j, T_k, L_k .

R_i – диверсия 0,0979, терроризм 0,0979, нарушение технологического процесса

0,1856, хищение материальных ценностей 0,3093, хищение информационных ценностей 0,3093;

S_j – цель1 - 0,0799, цель2 - 0,0452, цель3 - 0,2081, цель4 - 0,2081, цель5 - 0,1327, цель6 - 0,3258;

T_k – система контроля доступа 0,1630, система видеонаблюдения 0,2935, система охранной сигнализации 0,1630, физические барьеры 0,0870, силы охраны 0,2935;

L_k – система контроля доступа 0,2222, система видеонаблюдения 0,2222, система охранной сигнализации 0,1284, физические барьеры 0,0716, силы охраны 0,3556.

Полученные параметры отображений изменяем в соответствии с коэффициентами R_i , T_k , L_k . Итоговые коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$G_{ij} = P_{ij} \times R_i, \text{ где } i - \text{ номер угрозы, } j - \text{ номер зоны объекта}$$

G_{ij} – вероятность появления и реализации каждой угрозы по отношению ко всем зонам объекта при текущей напряженности обстановки.

$$H_{ki} = Q_{ki} / T_k \times L_k, \text{ где } k - \text{ номер элемента СФЗ, } i - \text{ номер угрозы}$$

Для коэффициента затрат используем операцию деления, т.к. предпочтение выбранного средства защиты над другими будет тем выше, чем меньше затраты на него. Выражение $1 / T_k$ будет являться уровнем дешевизны средства защиты.

H_{ki} – эффективность реагирования каждого средства защиты и предотвращения угрозы по отношению ко всем видам угроз с учетом относительной стоимости элементов СФЗ и относительной эффективности элементов. Коэффициенты G_{ij} , H_{ki} отображены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Параметры отображения угроз на объект с учетом вероятности появления и реализации каждой угрозы

	Цель 1	Цель 2	Цель 3	Цель 4	Цель 5	Цель 6
диверсия	0,0199	0,0165	0,0208	0,0208	0,0294	0,0330
терроризм	0,0294	0,0165	0,0136	0,0136	0,0199	0,0231
нарушение технологического процесса	0,0078	0,0105	0,0574	0,0574	0,0765	0,0109
хищение материальных ценностей	0,1274	0,0175	0,0957	0,0957	0,0130	0,1042
хищение информационных ценностей	0,0130	0,1702	0,0094	0,0094	0,0130	0,0097

Таблица 4 – Параметры отображения СФЗ на угрозы с учетом относительной стоимости и эффективности элементов СФЗ

	Див.	Терр.	Нар.	Х. мат.	Х. инф.
система контроля доступа	0,0898	0,0577	0,1313	0,2337	0,3142
система видеонаблюдения	0,0499	0,0924	0,1311	0,0742	0,1746
система охранной сигнализации	0,2659	0,0961	0,2237	0,3395	0,1019
физические барьеры	0,2780	0,1822	0,3388	0,2178	0,2997
силы охраны	0,2337	0,5965	0,0424	0,0424	0,0552

Далее проводится расчет соответствия $q(p)=(Z, Y, F)$, $F \subseteq Z \times Y$. Произведение матриц параметров отображения угроз на объект и параметров отображения СФЗ на угрозы дает матрицу параметров F_{kj} отображения СФЗ на объект.

Произведение матриц осуществляется по формуле $F_{kj} = \sum_{i=1, N} (G_{ij} \times H_{ki})$.

Полученные параметры отображения СФЗ на объект изменяем в соответствии с относительными ценностями зон объекта. Итоговые коэффициенты рассчитываются по формуле: $O_{kj} = F_{kj} \times S_j$, где k – номер элемента СФЗ, j – номер зоны объекта. Коэффициенты O_{kj} отображены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры отображения СФЗ на объект с учетом относительной важности целей

	СКД	СВН	СОС	ФБ	СО
Цель 1 (база товарно-материальных ценностей)	0,0031	0,0013	0,0044	0,0036	0,0023
Цель 2 (коммерческий узел учета нефти)	0,0028	0,0016	0,0014	0,0030	0,0011
Цель 3 (технологическая установка)	0,0074	0,0039	0,0111	0,0107	0,0042
Цель 4 (цех товарно-сырьевого производства)	0,0074	0,0039	0,0111	0,0107	0,0042
Цель 5 (водозабор)	0,0028	0,0022	0,0043	0,0059	0,0031
Цель 6 (биологические очистные сооружения)	0,0108	0,0048	0,0162	0,0139	0,0088

По полученным итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. Критерий отбора основывается на сравнении коэффициента с минимальным порогом. Если параметр элемента СФЗ меньше указанного порога, то его эффективность слишком низкая. Это означает, что средство защиты или будет бесполезно из-за очень малого шанса появления нарушителей, или возможные потери в случае реализации угрозы в данной зоне относительно невелики, или элемент СФЗ требует для установки и эксплуатации затраты, не соответствующие его низкому уровню противодействия угрозам. В итоге такой элемент СФЗ не устанавливается.

Минимальный порог должен выбираться экспертами. В приведенном примере порог был определен таким образом, что в зоне с наименьшим максимальным коэффициентом будет установлено только одно, самое эффективное средство защиты. Порог рассчитывался следующим образом.

Максимальные коэффициенты в каждой зоне (по строкам таблицы 5) равны соответственно: 0,0044; 0,0030; 0,0107; 0,0107; 0,0043; 0,0162. Наименьший из них 0,0030 – является максимальным коэффициентом второй зоны. Следовательно, если взять порог, равный 0,0030, то во второй зоне все коэффициенты, кроме одного, будут меньше этого порога. В итоге состав СФЗ на объекте будет следующий (табл. 6).

Расчеты по данной модели проводились с помощью программы, написанной на языке Visual Basic for Applications. Программу можно использовать для любых задаваемых экспертами данных. Архитектура модулей программы отображена на рисунке 2.

Таблица 6 – Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	биологические очистные сооружения
СКД	ФБ	СКД	СКД	СОС	СКД
СОС		СВН	СВН	ФБ	СВН
ФБ		СОС	СОС	СО	СОС
		ФБ	ФБ		ФБ
		СО	СО		СО

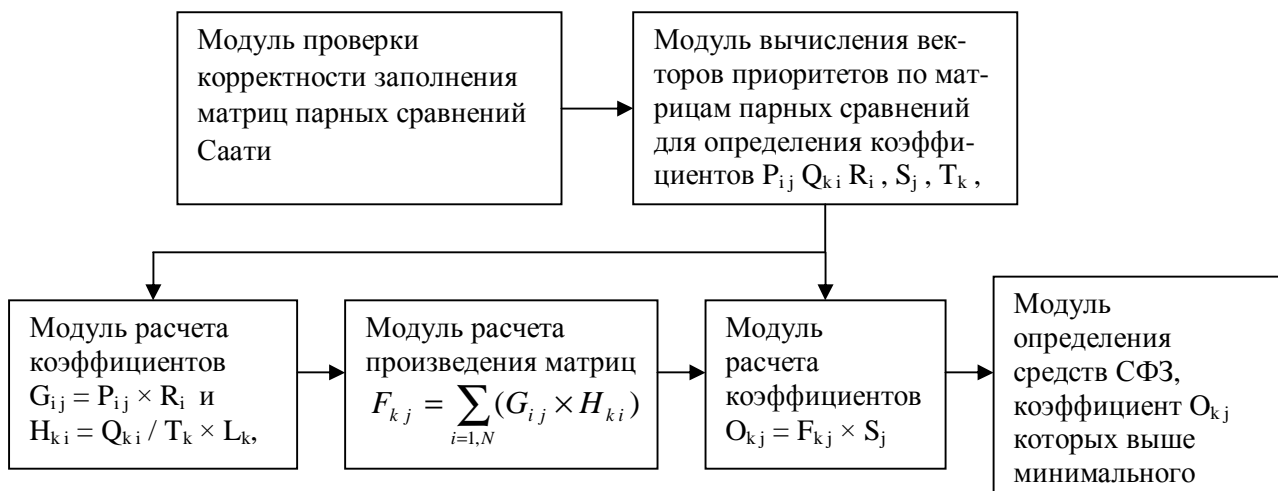


Рисунок 2 – Архитектура модулей программы

3 МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ ЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

3.1 НАБОР МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

В состав модели включается набор множеств, подобный набору из предыдущей модели. Перечислим их с указанием различий между моделями:

- 1) Множество угроз $X = \{x_i \mid i=1, N\}$.
- 2) Множество обстановок $T = \{t_e \mid e=1, A\}$.

Возможность возникновения любой угрозы на объекте зависит от текущей напряженности политической обстановки. Содержит рассматриваемые уровни политической обстановки в регионе, включающем в себя месторасположение объекта.

Например, обстановка спокойная, напряженная, опасная.

- 3) Множество зон объекта $Y = \{y_j \mid j=1, L\}$.
- 4) Множество важности зон объекта $Q = \{q_u \mid u=1, B\}$.

Множество важности зон объекта содержит уровни ценностей областей объекта, набор категорий по возможным потерям. Например, потери низкие, средние, высокие.

- 5) Множество элементов системы физической защиты $Z = \{z_k \mid k=1, M\}$.

6) Множество эффективности средств защиты $G = \{g_v \mid v=1, C\}$. Множество содержит уровни противодействия различным типам угроз. Например, уровень противодействия низкий, средний, высокий.

7) Множество стоимостей средств защиты $S = \{s_w \mid w=1, D\}$. Содержит уровни затрат, требуемых на установку и обслуживание элементов СФЗ. Например, затраты низкие, средние, высокие.

3.2 ОПИСАНИЕ НЕЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ

В данной модели можно определить следующие соответствия:

1) Соответствие множества средств защиты Z множеству угроз X , определяющееся нечетким множеством O_1 в $Z \times X$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и X . Функция принадлежности $\mu_{O_1}(z_k, x_i)$ будет указывать, насколько эффективно каждый вид угрозы будет блокироваться выбранным средством защиты. При этом $\mu_{O_1}(z_k, x_i) = 0$ означает, что угроза совершенно не блокируется (соответствия нет), а $\mu_{O_1}(z_k, x_i) = 1$ – угроза блокируется полностью. Каждый элемент СФЗ должен соответствовать одному или более виду угрозы с ненулевым значением. Если средство защиты не соответствует ни одной из угроз (не может защитить объект ни от одной угрозы), то оно не должно присутствовать в модели.

2) Соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y , определяющееся нечетким множеством O_2 в $X \times Y$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между X и Y . Функция принадлежности $\mu_{O_2}(x_i, y_j)$ будет указывать, с каким предпочтением каждая угроза будет направлена на определенную зону объекта. $\mu_{O_2}(x_i, y_j) = 0$ означает – угроза никогда не будет реализована в данной зоне, а $\mu_{O_2}(x_i, y_j) = 1$ – эта зона обязательно будет целью данной угрозы. Каждой угрозе будет соответствовать одна (или более) зона объекта с ненулевым значением. Если вид угрозы не соответствует никакой зоне объекта, то весь объект в целом не требуется защищать от данного вида и такая угроза не должна быть в модели.

3) Соответствие множества средств защиты Z множеству зон объекта Y , определяющееся нечетким множеством O_3 в $Z \times Y$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и Y . Функция принадлежности $\mu_{O_3}(z_k, y_j)$ будет указывать, насколько желательно в каждой зоне объекта установить определенный элемент СФЗ. $\mu_{O_3}(z_k, y_j) = 0$ означает, что средство защиты абсолютно не требуется в данной зоне, а $\mu_{O_3}(z_k, y_j) = 1$ – средство защиты установить совершенно необходимо. Для каждого средства защиты может быть указано любое количество зон объекта как места, куда должно быть установлено это средство защиты с каким-либо уровнем требования.

4) Соответствие множества угроз X множеству обстановок T , определяющееся нечетким множеством O_4 в $X \times T$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между X и T . Функция принадлежности $\mu_{O_4}(x_i, t_e)$ будет указывать уровень возможности появления каждого вида угрозы при данном уровне обстановки. $\mu_{O_4}(x_i, t_e) = 0$ означает, что угроза никогда не возникнет при таком уровне обстановки, а $\mu_{O_4}(x_i, t_e) = 1$ – угроза появится обязательно.

5) Соответствие множества зон объекта Y множеству важности зон объекта Q , определяющееся нечетким множеством O_5 в $Y \times Q$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Y и Q . Функция принадлежности $\mu_{O_5}(y_j, q_u)$ будет указывать, какому уровню важности каждая зона объекта принадлежит в большей или в меньшей степени. $\mu_{O_5}(y_j, q_u) = 0$ означает, что зона совершенно не соответствует такому уровню важности, а $\mu_{O_5}(y_j, q_u) = 1$ – соответствует полностью.

6) Соответствие множества средств защиты Z множеству эффективности средств защиты G , определяющееся нечетким множеством O_6 в $Z \times G$, по которому

осуществляется нечеткое соответствие между Z и G . Функция принадлежности $\mu_{O6}(z_k, g_v)$ будет указывать, насколько соответствует данному уровню эффективности в борьбе с угрозами каждое средство защиты. $\mu_{O6}(z_k, g_v) = 0$ означает, что средство защиты совершенно не подходит к данному уровню эффективности, а $\mu_{O6}(z_k, x_i) = 1$ – средство защиты имеет именно такой уровень эффективности.

7) Соответствие множества средств защиты Z множеству стоимостей средств защиты S , определяющееся нечетким множеством $O7$ в $Z \times S$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и S . Функция принадлежности $\mu_{O7}(z_k, s_w)$ будет указывать: какому уровню затрат, необходимых для установки и эксплуатации, соответствует каждое средство защиты. $\mu_{O7}(z_k, s_w) = 0$ означает, что средство защиты совершенно не подходит под данный уровень затрат, а $\mu_{O7}(z_k, s_w) = 1$ – уровень затрат средства защиты полностью совпадает с выбранным.

После вычисления соответствия множества угроз X множеству обстановок T можно оценить, какие угрозы теоретически могут быть реализованы при существующей обстановке в регионе, где расположен объект. Для этого из элементов множества обстановок выбирается уровень, наиболее подходящий для текущей обстановки. Далее определяются угрозы, коэффициент соответствия которых с выбранным уровнем равен 0 (или очень близок к 0). Такие угрозы невозможны или маловероятны. Следовательно, они не должны учитываться в модели и могут быть удалены из множества угроз.

Аналогично можно уточнить состав множеств зон объекта и элементов СФЗ. Соответствие множества зон объекта Y множеству важности зон объекта Q покажет, присутствуют ли в модели зоны объекта с такой низкой важностью, что их не требуется защищать. Соответствие множества средств защиты Z множеству эффективности средств защиты G определит слишком малоэффективные элементы СФЗ, а соответствие множества средств защиты Z множеству стоимостей средств защиты S – слишком дорогие (если существует ограничение по стоимости). Два последних соответствия также можно рассматривать вместе, например, из средств защиты с одинаковой стоимостью оставить во множестве более эффективное.

3.3 КОМПОЗИЦИЯ НЕЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ

В данной модели три множества – угроз X , зон объекта Y и элементов СФЗ, они образуют композицию нечетких соответствий. Используя соответствие множества средств защиты Z множеству угроз X $q = (Z, X, O1)$, $O1$ нечеткое множество в $Z \times X$ и соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y $p = (X, Y, O2)$, $O2$ нечеткое множество в $X \times Y$, можно сопоставить с каждым элементом z из области определения первого соответствия один или несколько элементов y из области значений второго соответствия, т.е. $q(p) = (Z, Y, O3)$, $O3$ нечеткое множество в $Z \times Y$ и таким образом найти соответствие множества средств защиты Z множеству зон объекта Y .

3.4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Были проведены расчеты нечетких соответствий, а также композиции нечетких соответствий. Множества задавались аналогично предыдущей модели. Полученные коэффициенты нечеткого соответствия $q(p) = (Z, Y, O3)$ показаны в таблице 7. По итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. В приведенном примере порог был определен равным наименьшему итоговому коэффициенту - 0,1. Элементы

СФЗ, коэффициент которых меньше или равен 0,1, не устанавливаются (табл. 8).

Таблица 7 – Матричное задание нечеткого соответствия $q(p)=(Z, Y, O3)$

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
z_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
z_2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
z_3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
z_4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
z_5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 8 – Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	биологические очистные сооружения
СКД	СКД	СКД	СКД	СВН	СКД
СОС	СВН	СВН	СВН	СОС	СОС
ФБ	СОС	СОС	СОС	ФБ	ФБ
СО	ФБ	ФБ	ФБ	СО	СО
	СО	СО	СО		

4 МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

4.1 НАБОР НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

1) Множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта».

Универсальное множество «Угрозы» X . Содержит все существующие виды угроз. Нечеткое множество $\tilde{X} = \{(\mu_X(x) / x)\}$, где $x \in X$ соответствует нечеткому понятию «Умышленные угрозы физической безопасности объекта». В это множество могут входить нечеткие переменные: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей. Величина $\mu_X(x)$ означает степень того, насколько данное действие нарушителя принадлежит множеству угроз объекту, т.е. насколько конкретный вид угрозы реален для рассматриваемого объекта.

2) Множество «Политическая обстановка в регионе объекта».

Универсальное множество «Политическая обстановка» T . Содержит все возможные уровни напряженности политической обстановки. Нечеткое множество $\tilde{T} = \{(\mu_T(t) / t)\}$, где $t \in T$ соответствует нечеткому понятию «Политическая обстановка в регионе объекта». В это множество входят нечеткие переменные: обстановка спокойная, напряженная, опасная. Величина $\mu_T(t)$ означает степень возникновения угроз при возможных уровнях политической обстановки. Показывает, чему будет равен уровень опасности исходящей от угроз при различных вариантах напряженности обстановки.

3) Множество «Защищаемые зоны объекта».

Универсальное множество «Зоны объекта» Y . Содержит все существующие непересекающиеся области объекта. Нечеткое множество $\tilde{Y} = \{(\mu_Y(y) / y)\}$, где $y \in Y$ соответствует нечеткому понятию «Защищаемые зоны объекта». В это множество могут входить нечеткие переменные: база товарно-материальных ценностей,

технологическая установка, цех товарно-сырьевого производства и т. п. Величина $\mu_Y(y)$ означает степень принадлежности зоны множеству защищаемых зон или степень необходимости защищать данную зону объекта.

4) Множество «Интегральные потери».

Универсальное множество «Категории объекта» Q . Содержит набор категорий по возможным потерям. Нечеткое множество $\tilde{Q} = \{(\mu_Q(q) / q)\}$, где $q \in Q$ соответствует нечеткому понятию «Интегральные потери». В это множество могут входить нечеткие переменные: потери низкие, средние, высокие. Величина $\mu_Q(q)$ означает степень требуемой защиты для зоны объекта с таким уровнем интегральных потерь. Показывает, насколько хорошо надо защищать зону, в которой возможны указанные потери.

5) Множество «Средства обеспечения физической безопасности объекта».

Универсальное множество «Средства обеспечения комплексной безопасности объекта» Z . Содержит все существующие виды средств защиты, которые выполняют функцию полной или частичной блокировки угроз. Нечеткое множество $\tilde{Z} = \{(\mu_Z(z) / z)\}$, где $z \in Z$ соответствует нечеткому понятию «Средства обеспечения физической безопасности объекта». В это множество могут входить нечеткие переменные: система контроля доступа, система видеонаблюдения, система охранной сигнализации, физические барьеры, силы охраны. Величина $\mu_Z(z)$ означает степень принадлежности к множеству средств обеспечения физической безопасности объекта. Другими словами, насколько предложенное средство защиты предпочтительно для включения в состав СФЗ объекта.

6) Множество «Степень противодействия».

Универсальное множество «Эффективность средств защиты» G . Содержит набор уровней противодействия различным типам угроз. Нечеткое множество $\tilde{G} = \{(\mu_G(g) / g)\}$, где $g \in G$ соответствует нечеткому понятию «Степень противодействия». В это множество могут входить нечеткие переменные: степень противодействия низкая, средняя, высокая. Величина $\mu_G(g)$ означает уровень необходимости присутствия в СФЗ средства защиты с выбранной степенью противодействия. Показывает, насколько данная степень противодействия желательна для устанавливаемого на объекте элемента СФЗ.

7) Множество «Допустимые затраты на приобретение средств защиты».

Универсальное множество «Затраты на приобретение средств защиты» S . Содержит все возможные уровни затрат, требуемые на приобретение и установку различных средств защиты. Нечеткое множество $\tilde{S} = \{(\mu_S(s) / s)\}$, где $s \in S$ соответствует нечеткому понятию «Допустимые затраты на приобретение средств защиты». В это множество могут входить нечеткие переменные: затраты низкие, средние, высокие. Величина $\mu_S(s)$ означает степень необходимости наличия в СФЗ средства защиты с таким уровнем затрат. Показывает, насколько желательно (выгодно) использовать элемент СФЗ с данным уровнем затрат.

4.2 СООТВЕТСТВИЯ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

1) Соответствие множества «средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}1$, базовое множество которого $Z \times X$. Функция принадлежности $\mu_{O1}(z_k, x_i)$ будет указывать, насколько необходимо каждый вид угрозы блокировать каждым средством защиты. При этом $\mu_{O1}(z_k, x_i) \approx 0$ означает, что угрозу совершенно не нужно блокировать данным средством защиты (либо угроза

не опасна, либо средство защиты не может считаться элементом СФЗ), а $\mu_{01}(z_k, x_i) \approx 1$ – угрозу необходимо блокировать, используя данный элемент СФЗ.

2) Соответствие множества «умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} множеству «защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}2$, базовое множество которого $X \times Y$. Функция принадлежности $\mu_{02}(x_i, y_j)$ будет указывать, какой уровень защиты необходим при возникновении каждой угрозы в каждой зоне. $\mu_{02}(x_i, y_j) \approx 0$ означает, что от данной угрозы не требуется защищать указанную зону, а $\mu_{02}(x_i, y_j) \approx 1$ – эта зона должна быть защищена от данной угрозы как можно лучше.

3) Соответствие множества «средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}3$, базовое множество которого $Z \times Y$. Функция принадлежности $\mu_{03}(z_k, y_j)$ будет указывать, насколько желательно каждую зону объекта защищать выбранным элементом СФЗ. $\mu_{03}(z_k, y_j) \approx 0$ означает, что средство защиты абсолютно не требуется в данной зоне, а $\mu_{03}(z_k, y_j) \approx 1$ – средство защиты установить совершенно необходимо.

Следующие соответствия будут являться отображениями, для каждого элемента первого множества должен находиться только один элемент второго множества.

4) Соответствие множества «умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} множеству «политическая обстановка в регионе объекта» \tilde{T} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}4$, базовое множество которого $X \times T$. Функция принадлежности $\mu_{04}(x_i, t_e)$ будет указывать уровень опасности каждого вида угрозы при существующем в настоящий момент уровне политической обстановки. $\mu_{04}(x_i, t_e) \approx 0$ означает, что угроза не опасна при таком уровне напряженности обстановки, а $\mu_{04}(x_i, t_e) \approx 1$ – угроза очень опасна.

5) Соответствие множества «защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} множеству «интегральные потери» \tilde{Q} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}5$, базовое множество которого $Y \times Q$. Функция принадлежности $\mu_{05}(y_j, q_u)$ будет указывать, насколько необходимо защищать каждую зону объекта при указанном уровне ее важности. $\mu_{05}(y_j, q_u) \approx 0$ означает, что зона практически не требует защиты, а $\mu_{05}(y_j, q_u) \approx 1$ – защищать необходимо как можно лучше.

6) Соответствие множества «средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «степень противодействия» \tilde{G} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}6$, базовое множество которого $Z \times G$. Функция принадлежности $\mu_{06}(z_k, g_v)$ будет указывать, насколько каждое средство защиты противодействует угрозам при своем уровне эффективности. $\mu_{06}(z_k, g_v) \approx 0$ означает, что средство защиты бесполезно при данном уровне эффективности, а $\mu_{06}(z_k, x_i) \approx 1$ – средство защиты отлично противостоит угрозам.

7) Соответствие множества «средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «допустимые затраты на приобретение средств защиты» \tilde{S} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}7$, базовое множество которого $Z \times S$. Функция принадлежности $\mu_{07}(z_k, s_w)$ будет указывать, насколько желательно установить каждое средство защиты при уровне затрат, необходимых на его установку и эксплуатацию. $\mu_{07}(z_k, s_w) \approx 0$ означает, что средство защиты не выгодно приобретать при таком уровне затрат, а $\mu_{07}(z_k, s_w) \approx 1$ – средство защиты выгодно использовать.

В данной модели также присутствует композиция нечетких соответствий.

Соответствие множества \tilde{X} множеству \tilde{T} позволит оценить, какие действия нарушителей могут являться угрозами при существующей обстановке в регионе, где расположен объект. Перед определением соответствий из элементов множества обстановок выбирается уровень, наиболее подходящий для текущей обстановки. Далее вычисляются коэффициенты $\mu_{O4}(x_i, t_e)$ всех угроз с выбранным уровнем обстановки по формуле:

$$\mu_{O4}(x_i, t_e) = \mu_X(x_i) \& \mu_T(t_e).$$

Полученные коэффициенты присваиваем множеству \tilde{X} . Аналогично можно определить новые коэффициенты множеств \tilde{Y} и \tilde{Z} . Соответствие множества \tilde{Y} множеству \tilde{Q} покажет, присутствуют ли в модели зоны объекта, которые не требуется защищать. Соответствие множества \tilde{Z} множеству \tilde{G} определит слишком малоэффективные элементы СФЗ, а соответствие множества \tilde{Z} множеству \tilde{S} – слишком дорогие.

4.3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Для определения элементов нечетких множеств применялся метод анализа иерархий Т. Саати. Например, множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» содержит элементы:

x_1 - диверсия	$\mu_X(x_1)=0,9$
x_2 - терроризм	$\mu_X(x_2)=0,8$
x_3 - нарушение технологического процесса	$\mu_X(x_3)=0,6$
x_4 - хищение материальных ценностей	$\mu_X(x_4)=0,5$
x_5 - хищение информационных ценностей	$\mu_X(x_5)=0,2$

Полученное соответствие $q(p)=(\tilde{Z}, \tilde{Y}, \tilde{O3})$ в виде графа показано на рисунке 3.

Аналогично предыдущей модели по полученным итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. В приведенном примере порог был определен равным 0,2. Элементы СФЗ, коэффициент которых меньше или равен 0,2, не устанавливаются (табл. 9).

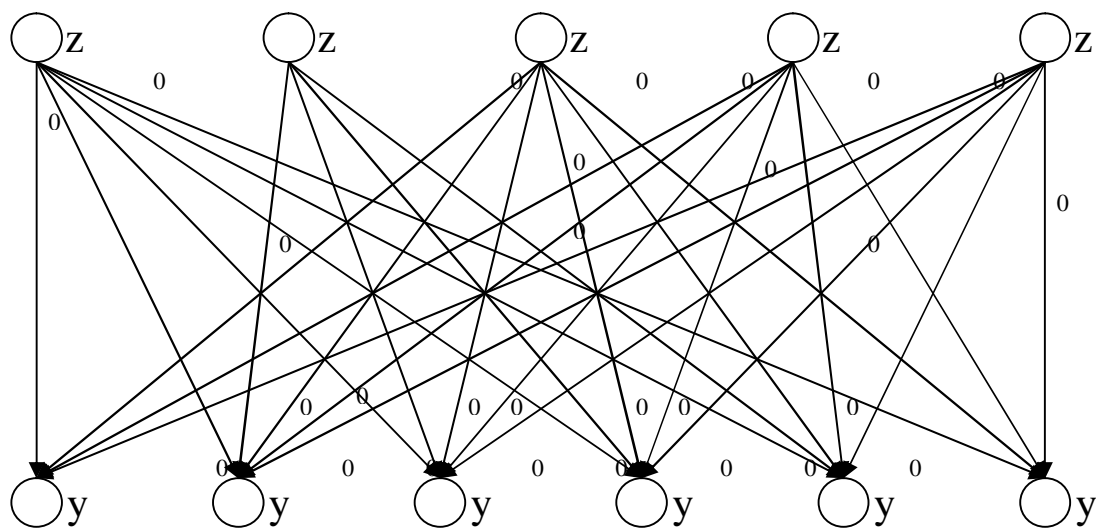


Рисунок 3 – Графическое задание нечеткого соответствия $q(p)=(\tilde{Z}, \tilde{Y}, \tilde{O3})$

Таблица 9 – Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	биологические очистные сооружения
СКД		СКД	СКД	СКД	СКД
СОС		СВН	СВН	СВН	СОС
СО		СОС	СОС	СОС	СО
		СО	СО	СО	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описание функционирования СФЗ в виде взаимодействия множеств позволяет предложить состав комплекса инженерно-технических средств охраны, основываясь на экспертных знаниях. Соответственно, такой способ моделирования способствует определению варианта СФЗ объекта с целью выбора наилучшей стратегии его защиты.

Создание модели возможно с различными вариантами применения теорий множеств.

Результат расчетов каждой модели в различной степени способствует определению лучшей стратегии защиты объекта. Полученные в моделях коэффициенты соответствия множеств элементов СФЗ и зон объекта показывают уровень необходимости наличия того или иного средства защиты в конкретной зоне объекта, в совокупности определяя желаемый состав СФЗ объекта.

Во всех примерах была попытка использовать одинаковые наборы элементов множеств и экспертные знания. Различные результаты обусловлены отличающимися методами обработки исходных данных, а также уровнем использования знаний экспертов на каждом шаге расчетов. Предпочтителен способ моделирования, в котором экспертные данные используются в большей части расчетов и сильнее влияют на конечный результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский А.С., Тарасов А.Д. Использование методов нечеткой логики в задачах моделирования процессов при проектировании систем физической защиты распределенных объектов // Информационные системы и технологии, май-июнь 2010. – №3(59). – С. 63-71.
2. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики: учеб. пособие для ВУЗов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 424 с., ил.
3. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.
4. Бояринцев А.В., Бражник А.Н., Зуев А.Г. Проблемы антитерроризма: категорирование и анализ уязвимости объектов. – СПб.: ЗАО «НПП «ИСТА-Системс», 2006. – 252 с.
5. Саати Т.Л. Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика, 1979. – №1. – С. 68-84.

Боровский Александр Сергеевич

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Доцент кафедры «Вычислительная техника»

Тел.: (3532) 47-49-92

E-mail: borovski@mail.ru

Тарасов Андрей Дмитриевич

Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург

Старший преподаватель кафедры «Информатика и информационное обеспечение»

Тел.: (3532) 77-07-79

E-mail: adtarasov@mail.ru

A. S. BOROVSKIJ, A. D. TARASOV

INTEGRATED METHOD OF DEVELOPMENT GENERAL MATHEMATICAL MODELS OF SYSTEM OF OBJECT PHYSICAL DEFENCE OPERATION

It is describing method to creation mathematical models of system of physical defence operation as a process of interaction of sets, basic on theory of sets, theory of fuzzy sets and method of analysis of hierarchies.

Keywords: *set, fuzzy set; relation of sets; fuzzy relation; composition of relations; method of analysis of hierarchies Saaty.*

BIBLIOGRAPHY

1. Borovskij A.S., Tarasov A.D. Ispol'zovanie metodov nechyotkoj logiki v zadachax modelirovaniya processov pri proektirovanii sistem fizicheskoj zashhity' raspredelyonny'x ob`ektov // *Informacionny'e sistemy' i texnologii, maj-iyun` 2010.* – №3(59). – S. 63-71.
2. Korshunov Yu.M. *Matematicheskie osnovy' kibernetiki: ucheb. posobie dlya VUZov.* – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Energiya, 1980. – 424 s., il.
3. Melixov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. *Situacionny'e sovetuyushhie sistemy' s nechetkoj logikoj.* — M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat.lit., 1990. – 272 s.
4. Boyarincev A.V., Brazhnik A.N., Zuev A.G. *Problemy' antiterrorizma: kategorirovanie i analiz uyazvimosti ob`ektov.* – SPb.: ZAO «NPP «ISTA-Sistems», 2006. – 252 s.
5. Saati T.L. *Vzaimodejstvie v ierarxicheskix sistemax // Texnicheskaya kibernetika, 1979.* – №1. – S. 68-84.

МЕТОДИКА ВЫБОРА СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СРЕДЫ РАДИКАЛОВ

В статье изложены основные проблемы применительно к функциональной безопасности современных информационных систем и рассмотрена методика выбора способов реализации механизмов обеспечения функциональной безопасности критических социотехнических систем на основе среды радикалов.

Ключевые слова: информационные системы; социотехнические системы; функциональная безопасность; радикал; оптимизация.

Под сложной системой (человеко-машинной системой – ЧМС) будем понимать систему, состоящую из технических средств (сложных информационных систем) и людей, взаимодействующих с ними. Возникают все новые и новые системы, изменяются, развиваются уже существующие системы. Развиваются многочисленные и разнообразные математические модели, методы и программно-технические средства (ПТС), предназначенные для решения задач жизненных циклов сложных систем. Растут масштабы применения таких средств. Они требуют все больших и больших ресурсов, для обеспечения которых необходимы другие системы, не менее сложные и масштабные. Аналогичные характеристики сложности и масштабности применимы и к современным ПТС – важной компоненте сложных систем. Однако из разных источников постоянно появляется информация, свидетельствующая о многочисленных и разнообразных проблемах современных сложных систем. Развиваются внутренние противоречия между составляющими систем, включая людей и ПТС, а также между системами и окружающей средой (природой и другими системами). Порой эти проблемы являются скрытыми, неучтенными и приводят к дальнейшим отрицательным последствиям, с которыми неизбежно приходится бороться, что требует огромных затрат. Мир сложных систем все больше начинает походить на гигантское скопление чрезвычайно сложных механизмов, порой остроумных в своих деталях и отдельных решениях, но далеко не совершенных в целом, неуклюжих во взаимодействии между собой и природой. Предполагается, что эти системы контролируемы, но то и дело возникают угрожающие сбои, нештатные, непонятные ситуации, приводящие к критическим или катастрофическим последствиям. Такие системы называются критическими социотехническими системами (КСТС).

Обеспечение безопасности КСТС основывается на идеологии информационно-системной безопасности и достигается обеспечением функциональной безопасности (ФБ) (выполнение функций и задач с заданным качеством в установленные сроки) информационных систем.

В общей постановке такая задача не вызывает сложностей в решении, однако при реальной разработке она наталкивается на значительные трудности. Во-первых, критерий ФБ существенно зависит от класса систем, целей функционирования и других обстоятельств. Во-вторых, спектр способов повышения ФБ чрезвычайно широк и определяется целым рядом обстоятельств, начиная от области применения

системы и заканчивая системами безопасности, которые применяются в системе [3].

Рассмотрим процесс обеспечения информационно-системной безопасности (ИСБ) систем в сравнительно узком аспекте: выбор способа реализации (уже разработанного) механизма обеспечения ФБ для информационно-управляющих систем реального времени.

Постановка задачи выбора способов реализации механизма обеспечения ФБ. Пусть разработанная система состоит из структурных элементов следующих видов: технических (процессоры, оперативная память, внешние накопители, каналы связи, аппаратура передачи данных и т.д.), программных (компоновочные модули операционной системы, программы введения баз данных, прикладные и сервисные программы и т.д.), информационных (файлы, индексные таблицы и т.д.), организационных (абоненты, операторы, системы транзакций абонентов и операторов и т.д.). Отказам подвержены все виды структурных элементов. Отказ одного или нескольких структурных элементов может привести к невозможности выполнения какой-либо одной или нескольких задач. Такой отказ является функциональным.

При выявлении функционального отказа в системе должны инициализироваться некоторые общесистемные средства, функционирование которых направлено на обеспечение ФБ системы. Эти средства обозначены как механизмы обеспечения ФБ (МОФБ), которые должны обеспечивать идентификацию вышедшего из строя элемента и при необходимости его изоляцию, затем произвести реконфигурацию структуры системы или изменение алгоритма ее функционирования, а также восстановление функционирования системы.

В основу методов, позволяющих решать задачи восстановления процесса функционирования, положен подход интеллектуализации сложной системы на основе среды радикалов [1,2].

Термином интеллектуализация подчеркивается главное свойство такого информационно-программного окружения – возможность расширения круга решаемых этим окружением штатных задач ФБ поведения за счет самообучения, то есть поиска решений некоторых нештатных для нее задач. Основой интеллектуализации любой системы является эффективная реализация метода проб и ошибок, а значит, сложная система должна быть снабжена некоторым набором свободных элементов, предназначенных для конструирования таких проб. Лучшим средством организации творческого процесса поиска нового является среда радикалов. На основе анализа поведения и обучения сложной системы с помощью среды радикалов организуется оценка ФБ.

Радикалы, предназначенные обеспечивать ИСБ поведение сложной системы в рамках ее метасистемы, образуют множество с разнообразными отношениями. Поэтому будем говорить, что радикалы образуют среду. Среда радикалов является рабочей подсистемой информационно-программного окружения и отражает опыт предыдущих этапов жизненного цикла системы. Процесс управления активацией среды радикалов обеспечивается активирующей подсистемой, которая, в свою очередь, использует для этого среду специфических радикал-активаторов.

В ходе вычислительного процесса среда радикалов создает контрольные точки или точки возврата, в которых осуществляется анализ состояния системы и запоминание информации о вычислительном и технологическом процессах, а также определяет возможные конфликты системы в ходе процесса функционирования.

После выявления функциональных конфликтов средства восстановления

возвращают систему к последней контрольной точке и настраивают ее под технологические процессы объекта автоматизации.

Методы восстановления с обработкой отказов строят на применении эвристических алгоритмов, в нашем случае основу анализа установившегося в результате отказа состояния системы составляет нормализация процесса функционирования на основе среды радикалов, что позволяет определять конфликтные ситуации на каждом шаге процесса функционирования.

Состав и структура конкретного МОФБ определяются разработчиками системы. Рассмотрим задачу выбора комплекса способов реализации компонентов МОФБ. Компоненты МОФБ могут быть реализованы различными способами (вручную – человеком-оператором (Ч-О), аппаратно, программно), при этом требуется затрата тех или иных ресурсов системы. Кроме того, те или иные способы реализации характеризуются различным временем функционирования, что может существенно сказаться на качестве работы системы.

Существенное значение при исследовании ФБ имеет определение множества состояний, в которые может перейти система под воздействием внешней среды [4]. Множество состояний подразделяется на два подмножества:

$\xi \in N_n$ – нормальные состояния, которые характеризуются тем, что все элементы и подсистемы работоспособны, а если и произошел отказ, то не повлек за собой снижения эффективности функционирования системы (например, отказало устройство, находящееся в горячем резерве),

$\xi \in N_s$ – экстремальные состояния, которые характеризуются тем, что произошел отказ одного или нескольких элементов системы, что повлекло за собой снижение эффективности функционирования системы. К числу параметров, характеризующих возможность выполнения задач в системе, относятся временная избыточность ΔT и параметры, характеризующие элементы и подсистемы ИС.

Существующие методы информационной безопасности не учитывают выход из строя ресурсов системы, то есть не способны оценить состояние системы в реальном масштабе времени при воздействии дестабилизирующих факторов.

Объединение среды радикалов, позволяющих контролировать процесс функционирования, и матрицы осуществимости, обладающей статическими свойствами, позволяет исследовать безопасность системы обработки данных и разработать метод расчета ФБ как уже спроектированных систем, так и систем, функционирующих в реальном масштабе времени [1].

Для оценки ФБ ИС, функционирующей при воздействии дестабилизирующих факторов в реальном масштабе времени на основе среды радикалов, вводится понятие матрицы осуществимости на основе среды радикалов выполнения задач, находящейся в экстремальном состоянии:

$$B = \| u_{iX} \|, \quad (1)$$

где уникум $u_{iX} = 1$, если в ИС, находящейся в состоянии ξ , осуществимо решение i -и задачи; 0 - в противном случае.

Целью является расчет ФБ на основе применения матрицы осуществимости с использованием среды радикалов, что позволит учесть конфликты (выполнение или невыполнение задач) ИС в масштабах реального времени при установленных ограничениях системы.

Таким образом, с учетом матрицы осуществимости на основе среды радикалов (1) целевая функция оценки ФБ имеет вид:

$$K_{\text{ФБ}} = \sum_{i=1}^n \sum_{x=1}^N w_i I_i u_{ix}(\underline{S}) p_x, \quad (2)$$

где w_i – коэффициент относительной важности задачи i -го типа;
 I_i – интенсивность поступления задач i -го типа в систему;
 n – число задач, на множестве которых оценивается живучесть;
 p_x – вероятность ξ -го состояния системы;
 N – число состояний, на множестве которых оценивается живучесть;
 \underline{S} – цель функционирования системы.

Однако для решения задачи обеспечения безопасности КСТС необходимо учитывать качество функционирования ИС.

Пусть задано множество задач A , решаемых системой, каждая задача $a_i \in A$, $i=1, \dots, n$ характеризуется интенсивностью поступления I_i , относительной важностью ω_i , временем выполнения T_i . Качество функционирования системы будем оценивать показателем

$$Q = \sum_{i=1}^n I_i \omega_i T_i, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n I_i = 1$; $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$.

Выражение (3) соответствует общему подходу к оценке ФБ. Так как рассматриваются системы, работающие в реальном масштабе времени, в показатель качества введены времена решения задач. Оценка ФБ при этом может производиться в соответствии с (2) по отношению показателей качества (3) системы в идеальных условиях и в заданном экстремальном состоянии (или на заданном множестве экстремальных состояний).

Отказы структурных элементов приводят к отказам функций и задач, система переходит в одно из экстремальных состояний. Из всего множества состояний элементов системы будем рассматривать только те, которые приводят к отказам задач. В каждом состоянии существуют два непересекающихся подмножества $A_{3\xi}$ и $A_{n\xi}$.

Задача $a_i \in A_{3\xi}$, если в состоянии ξ задача a_i не может быть выполнена. В противном случае $a_i \in A_{n\xi}$. Разбиение всего множества задач на подмножества $A_{3\xi}$ и $A_{n\xi}$ определяется структурой и алгоритмами функционирования конкретной системы.

Показатель качества функционирования системы, работающей в реальном масштабе времени, зависит от времени решения задач, которое при экстремальных состояниях системы для задач $a_i \in A_{3\xi}$ увеличивается на время работы механизма обеспечения ФБ $T_{\text{МОФБ}}$:

$$T_{3i} = T_i + T_{\text{МОФБ}}. \quad (4)$$

Механизм обеспечения ФБ в рассматриваемом классе систем может быть реализован путем рационального распределения своих функций между человеком-оператором и вычислительным комплексом (ВК).

Представим МОФБ как некоторое множество вычислительных и логических компонент: $\{d_j\}$, $j=1, \dots, m$.

Пусть каждая j -я компонента может быть реализована как Ч-О, так и ВК. При реализации компонент на ВК необходимо учитывать другие затрагиваемые

вычислительные ресурсы, в частности, длину программы r_j , необходимой для реализации j -й компоненты.

Поставим в соответствие каждой компоненте МОФБ некоторую величину $x_j \in \{0, 1\}$, которая указывает способ выполнения j -й компоненты:

$x_j = 1$, если j -я компонента выполняется ВК; 0, если j -я компонента выполняется Ч-О. Вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ описывает реализацию МОФБ в целом.

Примерами компонент МОФБ могут быть перезапуск задач на выполнение, блокировка отказавшего устройства, переход на другое, тестирование, включение дополнительных средств защиты и т.д.

Естественно, что от выбора способа реализации каждой компоненты зависят время функционирования МОФБ и затраты вычислительных ресурсов. Рассматривая различные компоненты МОФБ, следует отметить, что одни из них могут быть более эффективно выполнены Ч-О, а другие – ВК. Выбор способа реализации компонент осложняется тем, что ограничения на различные виды ресурсов могут меняться от одного экземпляра системы к другому (и даже при ее модернизации), а множества и вероятности появления экстремальных состояний могут изменяться за время эксплуатации системы. Поэтому перед разработчиками систем рассматриваемого класса возникает задача выбора комплекса способов реализации МОФБ, т.е. вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, при заданном наборе задач, заданных вероятностях возможных экстремальных состояний системы, ограничениях на затрачиваемые ресурсы, необходимые для реализации МОФБ. Выбор должен быть сделан по критерию качества функционирования системы в целом. В соответствии с выбранным ранее показателем качества (3) следует рассмотреть влияние времени работы МОФБ $T_{\text{МОФБ}}$ на качество работы системы и зависимость $T_{\text{МОФБ}}$ от выбора комплекса способов реализации МОФБ.

Предположив, что все компоненты МОФБ могут выполняться только последовательно, время работы МОФБ будет равно

$$T_{\text{МОФБ}} = T_{\text{ВК}} + T_{\text{Ч-О}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{ВК}}$ – суммарное время работы ВК при выполнении технических компонент d_j , для которых $x_j = 1$;

$T_{\text{Ч-О}}$ – суммарное время выполнения Ч-О технических компонент МОФБ, для которых $x_j = 0$.

Конкретная реализация МОФБ определяется типом отказа (экстремального состояния). Наборы компонент при различных экстремальных состояниях могут отличаться друг от друга. Для построения алгоритма допустим, что существует некоторый МОФБ, содержащий все компоненты, однако время реализации каждой компоненты пропорционально вероятностям наступления тех состояний, в которых данная компонента реализована. Аналогичные предположения сделаны и для других характеристик, связанных с реализацией компонент МОФБ.

С учетом (5) время работы

$$T_{\text{ВК}} = \sum_{j=1}^m x_j t_j + T_{\text{загр}}, \quad (6)$$

где t_j – время выполнения j -й компоненты МОФБ вычислительным комплексом;

$T_{\text{загр}}$ – суммарное время загрузки программ МОФБ из внешней памяти в оперативную перед выполнением.

Время

$$T_{\text{загр}} = \sum_{j=1}^m t_{\text{кв}} x_j r_j, \quad (7)$$

где $t_{\text{кв}}$ – время загрузки одного кванта программы;

r_j – число квантов программы, необходимой для реализации компоненты МОФБ на ВК.

Время

$$T_{\text{ч-о}} = \sum_{j=1}^m (1-x_j) t_j, \quad (8)$$

где t_j – время выполнения j -й компоненты МОФБ человеком-оператором.

На основе (5) - (7) можно записать

$$T_{\text{МОФБ}} = \sum_{j=1}^m x_j t_j + t_{\text{кв}} \sum_{j=1}^m x_j r_j + \sum_{j=1}^m (1-x_j) t_j. \quad (9)$$

Время выполнения задачи a_i в экстремальном состоянии может быть представлено как сумма времени выполнения данной задачи в нормальном состоянии T_i и времени работы МОФБ, переводящего систему из экстремального состояния в нормальное:

$$T_{\text{эi}} = T_i + T_{\text{МОФБ}}. \quad (10)$$

Следует отметить, что использование механизмом обеспечения ФБ части ресурсов ВК в течение времени $T_{\text{ВК}}$ приводит к увеличению времени решения остальных задач, что может быть отражено введением коэффициента α :

$$T'_{\text{i}} = T_i + \alpha T_{\text{ВК}} = T_i + \alpha \left(\sum_{j=1}^m x_j t_j + t_{\text{кв}} \sum_{j=1}^m x_j r_j \right). \quad (11)$$

Функциональное соответствие структурных элементов системы c_k задачам a_i представим в виде матрицы «элемент – задача»:

$$Z = \|Z_{ki}\|, Z_{ki} \in \{0,1\}. \quad (12)$$

Матрица (12) устанавливает для каждой задачи a_i перечень элементов c_k , используемых при ее выполнении: $Z_{ki} = 1$, если элемент c_k используется при выполнении задачи; 0 - в противном случае.

При этом устанавливается соответствие между экстремальным состоянием элементов системы и перечнем отказавших задач.

Вид матрицы Z определяется принятыми в данной системе конкретными решениями по выбору комплекса технических средств, архитектурой вычислительного комплекса и алгоритмами функционирования. Состояние системы будем описывать через состояния выполняемых в ней задач: $u_{i\xi} = 1$, если i -я задача выполняется системой, находящейся в ξ -м состоянии; 0 – в противном случае (функциональный отказ).

Если допустить, что коэффициенты важности задач не изменяются за время эксплуатации системы, то можно записать

$$Q = \sum_{i=1}^n (1-u_{i\xi}) I_i \omega_i \left[T_i + \sum_{j=1}^m x_j t_j + t_{\text{кв}} \sum_{j=1}^m x_j r_j + \sum_{j=1}^m (1-x_j) t_j \right] + \sum_{i=1}^n u_{i\xi} I_i \omega_i \left[T_i + \alpha \left(\sum_{j=1}^m x_j t_j + t_{\text{кв}} \sum_{j=1}^m x_j r_j \right) \right]. \quad (13)$$

Выражение (13) позволяет оценить качество функционирования системы в фиксированном ξ -м состоянии. Задача выбора комплекса способов реализации

механизма обеспечения ФБ может быть сформулирована следующим образом.

При заданном множестве задач $A = \{a_i / i = \overline{1, n}\}$, характеризующихся известными интенсивностями появления I_i , важностями ω_i , временами выполнения T_i , при известных параметрах системы в α и $t_{кв}$, заданных векторе $b_i \xi$ определяемом средой радикалов и состоянии системы ξ выбрать такой комплекс способов реализации МОФБ $x_j, j = \overline{1, m}$, при котором выражение (13) принимает минимальное значение.

Методический подход выбора комплекса способов реализации МОФБ в заданной системе при решении задачи обеспечивает получение комплекса способов реализации МОФБ, оптимального для данного состояния системы. Использование для расчетов среды радикалов дает возможность оценивать ФБ и качество функционирования системы, работающей в реальном масштабе времени, что в свою очередь позволяет адекватно реагировать на воздействия дестабилизирующих факторов и тем самым повысить ИСБ КСТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечкин А.В. Обеспечение информационно-системной безопасности сложной системы на основе среды нейрорадикалов ее проблемной области. – Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2008. – № 7. – С. 6-11.
2. Соболева Т.С., Чечкин А.В. Дискретная математика. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.
3. Чечкин А.В., Пирогов М.В. Технология решения задач в нормализованной среде радикалов. Конференция «Интеллектуальные системы и компьютерные науки», Москва, МГУ, главное здание, мехмат-факультет, 23-27 октября 2006 г.
4. Лепешкин О.М., Радько С.А. Применение теории радикалов как методологического способа обеспечения функциональной и информационной безопасности социотехнических систем управления / Управление региональными системами, всероссийская НПК / Под ред. А.А. Огаркова. – Часть I. – Волгоград: Изд-во Perpetum mobile, 2008. – 134 с.

Лепешкин Олег Михайлович

Ставропольский военный институт связи, г. Ставрополь

Кандидат технических наук, доцент, докторант

Тел.: (8652) 36-46-15, 8-905-410-02-55

E-mail: lom@stavsu.ru

O.M. LEPESHKIN

WAYS SELECTION METHOD OF FUNCTIONAL SAFETY MECHANISMS REALIZATION FOR CRITICAL SOCIOTECHNICAL SYSTEMS ON THE BASIS OF RADICALS

In the paper modern information systems problems of functional safety are stated and the ways selection method of functional safety mechanisms realization for critical sociotechnical systems on the basis of radicals is considered.

Keywords: *information systems; sociotechnical systems; functional safety; the radical; optimization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Chechkin A.V. Obespechenie informacionno-sistemnoj bezopasnosti slozhnoj sistemy' na

- osnove sredy' nejroradikalov eyo problemnoj oblasti. – Nejrokomp`yutery': razrabotka, primeneniye, 2008. – № 7. – С.6-11.
2. Soboleva T.S., Chechkin A.V. Diskretnaya matematika. – M.: Izdatel'skiy centr «Akademiya», 2006.
 3. Chechkin A.V., Pirogov M.V. Tekhnologiya resheniya zadach v normalizovannoy srede radikalov. Konferenciya «Intellectual'ny'e sistemy' i komp`yuterny'e nauki», Moskva, MGU, Glavnoe Zdanie, Mexmat-fakul'tet, 23-27 oktyabrya 2006 g.
 4. Lepyoshkin O.M., Rad`ko C.A. Primeneniye teorii radikalov kak metodologicheskogo sposoba obespecheniya funkcional'noj i informacionnoj bezopasnosti sociotexnicheskix sistem upravleniya / Upravleniye regionalny'mi sistemami, Vserossiyskaya NPK / Pod red. A.A. Ogarkova. Chast' I. – Volgograd: Izd-vo Perpetum mobile, 2008. – 134 s.

