

ВЕСТНИК
МОСКОВСКОГО ФИНАНСОВО-ЮРИДИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА МФЮА

№1 2013

Москва
2013

ВЕСТНИК Московского финансово- юридического университета МФЮА

Herald of the Moscow
university
of finances
and law MFUA

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-46273
от 24.08.2011

ISSN 2224-669X

№ 1 2013

Издается с 2011 г.
Выходит 4 раза в год

Учредители:
Аккредитованное образовательное частное учреждение высшего профессионального образования «Московский финансово-юридический университет МФЮА», Аккредитованное негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский университет государственного управления»

Адрес редакции:
117447, г. Москва,
ул. Б. Черемушкинская,
д. 17А, стр. 6

Интернет-адрес:
<http://www.mfua.ru>
E-mail: vestnik@mfua.ru

Журнал распространяется через каталог НТИ ОАО «Агентство «Роспечать»» (индекс 66053), а также путем прямой редакционной подписки

Отдел рекламы и подписки:
Тел.: 499-126-96-77, доб. 2023
E-mail: vestnik@mfua.ru

Главный редактор

А.Г. Забелин
доктор экономических наук, профессор,
член-корреспондент РАО,
Почетный работник высшего профессионального образования РФ, председатель Совета Российской ассоциации аккредитованных учебных заведений,
председатель Ассоциации негосударственных средних специальных учебных заведений.

Заместители главного редактора

И.А. Горюнов
E-mail: Goryunov.I@mfua.ru

Н.Г. Яковлева,
канд. экон. наук
Тел. 499-979-00-99 (доб. 3625)
E-mail: Yakovleva.N@mfua.ru

Ответственный редактор

Э.Р. Гатиатуллина, канд. философ. наук
Тел. 499-979-00-99 (доб. 36-24)
E-mail: Gatiatullina.E@mfua.ru

Редакционный совет:

д-р юрид. наук, проф. А.В. Абсальмов
д-р экон. наук, проф. А.В. Бузгалин
д-р экон. наук, проф. А.В. Колганов
д-р пед. наук, проф. О.И. Коломок
д-р юрид. наук, доц. Н.Н. Куняев
д-р техн. наук, проф. Г.А. Минаев
канд. техн. наук, доц. О.А. Забелин
канд. пед. наук, доц. Г.А. Забелина
канд. экон. наук С.А. Забелина
канд. соц. наук, проф. Е.Г. Калинин

Редакционная коллегия:

канд. юрид. наук, доц. О.Р. Афанасьева
канд. физ.-мат. наук, доц. А.Ю. Байков
канд. экон. наук Н.А. Вершинина
канд. экон. наук А.Ю. Евсеева
канд. экон. наук, доц. И.В. Евсеева
канд. юрид. наук Н.В. Елизарова
канд. юрид. наук, доц. Л.В. Зарапина
канд. техн. наук А.П. Титов
канд. экон. наук, доц. С.С. Фешина
канд. экон. наук, доц. В.Г. Шийко
канд. филол. наук О.В. Юдина

© Московский финансово-юридический университет
МФЮА

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

| | |
|--|----|
| <i>Е.М. Архипова, М.В. Баранова, В.В. Ивлев</i> Об одном решении эйлеровых уравнений | 10 |
| <i>А.Ю. Байков</i> Дискретно-аналитическая модель для одной задачи динамики нелинейной среды | 18 |
| <i>А.Ю. Байков, О.А. Грушина, М.Н. Стриханов</i> Решение уравнения группирования интенсивного электронного пучка в узкой трубе методом кинематического шага..... | 32 |
| <i>И.Н. Статников, Г.И. Фирсов</i> Уравнение линейной регрессии в ПЛП-поиске..... | 41 |
| <i>Г.И. Кийко, В.А. Триндюк</i> Бидемпферная модель робастного управления экономическими процессами | 48 |

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|-----|
| <i>Г.М. Антонова</i> Имитационная модель сети связи на транспортном уровне передачи | 56 |
| <i>М.А. Николаев</i> Цели и задачи создания веб-комплекса теплофизической оптимизации ядерных энергетических установок | 63 |
| <i>Н.В. Гришина</i> Анализ проблем обеспечения информационной безопасности субъекта информационных отношений..... | 68 |
| <i>И.И. Медведев</i> Программно-технологические методы защиты компьютерной информации..... | 74 |
| <i>В.В. Арутюнов</i> Об интернет-рисках для пользователей сетей | 79 |
| <i>В.Д. Ларичев, Г.Е. Шепитько</i> Зарубежный опыт защиты информации в национальных доменах Интернет..... | 85 |
| <i>А.Н. Алфимцев, Д.А. Локтев, А.А. Локтев</i> Реализация пользовательского интерфейса системы видеомониторинга на основе онтологического подхода..... | 91 |
| <i>К.Н. Колюцкий</i> Возможный подход к оценке информативности признаков распознавания..... | 102 |

ФИЗИКА, ТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА

| | |
|---|-----|
| <i>А.К. Некрасов, Е.И. Некрасова</i> Математическое моделирование механики многофазных сред с дисперсными частицами с учетом межфазного взаимодействия..... | 106 |
| <i>А.Ю. Байков, О.А. Грушина, М.Н. Стриханов</i> Моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в трехрезонаторном клистроне дециметрового диапазона | 116 |
| <i>А.А. Локтев, А.С. Матасов</i> Искажение оптических сигналов при прохождении по волноводу | 126 |

| | |
|---|-----|
| <i>М.П. Козочкин, Ф.С. Сабиров</i> Математическое моделирование виброакустической активности машин | 137 |
| <i>В.Л. Хандамиров</i> Компьютерное моделирование отражательной дифракционной решетки..... | 144 |
| <i>Е.Ф. Баранов, М.О. Стареева</i> Системы вентиляции с утилизаторами тепла..... | 151 |

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

| | |
|--|-----|
| <i>Д.А. Белов, Н.К. Белова</i> Организация интегрированной системы управления численностью членистоногих вредителей листвы в городских насаждениях Москвы..... | 160 |
| <i>Р.Р. Бадаев</i> Использование микроорганизмов в рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами..... | 165 |

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---|-----|
| <i>Г.Е. Шепитько</i> Декомпозиция закона распределения ущербов от последствий компьютерных нарушений..... | 172 |
| <i>Г.Е. Шепитько</i> Турбулентное представление потока компьютерных нарушений..... | 178 |
| <i>А.С. Славянов</i> Термодинамическая модель изолированных экономических систем | 183 |
| <i>Б.С. Бояршинов, С.В. Васекин, С.П. Насельский</i> Вопросы моделирования валютного рынка | 190 |
| <i>Ю.С. Пиньковецкая</i> Анализ размерных характеристик предпринимательских структур..... | 196 |

МЕТОДОЛОГИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

| | |
|---|-----|
| <i>А.Г. Юферов</i> Кодификация знаний и учебный процесс | 204 |
| <i>А.Г. Юферов</i> Вопросы обобщения универсальной десятичной классификации | 210 |
| <i>В.В. Стеценко</i> Воспитание профессиональной рефлексии как фактор повышения социальной адаптации выпускников колледжа | 214 |
| <i>Л.И. Шаталова</i> Геометрический проект учащихся в математическом образовании | 218 |
| <i>И.С. Романова</i> Анализ посещаемости образовательных математических сайтов сети Интернет | 225 |

В КОНЦЕ НОМЕРА

| | |
|---|-----|
| <i>И.А. Горюнов</i> Математические этюды | 232 |
|---|-----|

CONTENTS

MATHEMATICS

| | |
|---|----|
| <i>Ivlev V.V., Arhipova E.M., Baranova M.V.</i> About one solution of the eylerov equations | 10 |
| <i>Bajkov A.Ju.</i> The discreet-analytical model for the one nonlinear media dynamic problem | 18 |
| <i>Bajkov A.Ju., Grushina O.A., Strikhanov M.N., Tishchenko A.A.</i> The solution of intensive electron beam bunching equation in the narrow tube by the method of the kinematic step | 32 |
| <i>Statnikov I.N., Firsov G.I.</i> Equation of linear regression in the plpsearch..... | 41 |
| <i>G.I. Kiyko, V.A. Trindyuk</i> Bi-damper robust control in economic model | 48 |

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

| | |
|--|-----|
| <i>G.M. Antonova</i> Telecommunications simulation on transport layer | 56 |
| <i>М.А. Николаев</i> Цели и задачи создания веб-комплекса теплофизической оптимизации ядерных энергетических установок..... | 63 |
| <i>N.V. Grishina</i> Analysis of the problems of information security subjects of information relations..... | 58 |
| <i>I.I. Medvedev</i> Software-technological methods to protect computer information..... | 74 |
| <i>V.V. Arutyunov</i> Internet risks in the World Wide Web..... | 79 |
| <i>V.D. Larichev, G. E. Shepitko</i> International Experience in Information Security in National Internet Domains | 85 |
| <i>A.N. Alfimtsev, D.A. Loktev, A.A. Loktev</i> Implementation of user interface of the system of video monitoring on the basis of the ontological approach..... | 91 |
| <i>K.N. Kolucki</i> The possible approach to an assessment of efficiency of signs of recognition..... | 102 |

PHYSICS, ENGINEERING, ELECTRONICS

| | |
|--|-----|
| <i>A.K. Nekrasov, E.I. Nekrasova</i> Mathematical modelling of mechanics of multiphase environments with disperse particles with interphase interaction..... | 106 |
| <i>A.Ju. Bajkov, O.A. Grushina, M.N. Strikhanov</i> L-range 3-cavity klystron maximum efficiency on gain dependence modeling..... | 116 |
| <i>A.A. Loktev, A.S. Matasov</i> Distortion of optical signals in passing on a waveguide | 126 |
| <i>F.S. Sabirov, M.P. Kozochkin</i> Mathematical modeling of vibroacoustic activity of machines | 137 |
| <i>V.L. Handamirov</i> | |

| | |
|--|-----|
| Computer simulation of a of reflective diffraction array..... | 144 |
| <i>E.F. Baranov, M.O. Stareeva</i> | |
| Systems of ventilation with heat converters is considere | 151 |

BIOLOGY AND ECOLOGY

| | |
|---|-----|
| <i>D.A. Belov, N.K. Belova</i> | |
| Organization of integrated management system number of pests foliage in arthropods moscow city plantations | 160 |
| <i>R.R. Badaev</i> | |
| The using of microorganisms in recultivation of oil contaminated land | 165 |

MATHEMATICAL MODELING OF ECONOMIC AND SOCIAL PROCESSES

| | |
|--|-----|
| <i>G.E. Shepitko</i> | |
| Decomposition of distribution law of losses from the effects of computer violations | 172 |
| <i>G.E. Shepitko</i> | |
| Turbulent representation of computer violations flow | 178 |
| <i>A.S. Slavyanov</i> | |
| Strategy of developing the economic system from the point of thermodynamics of irreversible processes | 183 |
| <i>B.S. Boyarshinov, S.V. Vasekin, S.P. Naselskiy</i> | |
| Aspects of modeling the foreign exchange market..... | 190 |
| <i>Pinkovetskaya J.S.</i> | |
| Analysis size characteristics of entrepreneurial structures | 196 |

METHODOLOGY OF THE STUDY

| | |
|--|-----|
| <i>A.G. Yufarov</i> | |
| Codification knowledge and the learning process | 204 |
| <i>A.G. Yufarov</i> | |
| Universal Decimal Classification (UDC) and unification of classifiers | 210 |
| <i>V.V. Stetsenko</i> | |
| Upbringing of professional reflexion as a factor of improvement of social adaptation of college graduates | 214 |
| <i>L.I. Shatalova</i> | |
| Geometrical project of ppupils in mathematical education | 218 |
| <i>I.S. Romanova</i> | |
| An analysis of visited of educational mathematical web-sites networks is the Internet..... | 225 |

AT THE END OF THE ISSUE

| | |
|---------------------------|-----|
| <i>I.A. Goryunov</i> | |
| Mathematical studies..... | 232 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный выпуск журнала подготовлен по итогам всероссийской научно-практической конференции «Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе» (МИЕСЭКО-2012), которая входит в состав ежегодно проводимых в МФЮА конференций МИЕСЭКО.

Главная цель конференции – организовать обмен научными знаниями между различными научными направлениями, связанными с математическим моделированием сложных систем, с исследованием различных процессов как в технических, так и в социально-экономических системах, а также в области математических методов, информационных технологий и методологии обучения.

Все работы, представленные на конференцию МИЕСЭКО-2012, прошли рецензирование, причем, каждую работу независимо оценивали несколько рецензентов (от 2 до 5). Работы, получившие наиболее высокие оценки (за исключением работ секции «Социально-экономические проблемы», которые будут опубликованы в следующем номере), вошли в этот номер.

Рубрики настоящего выпуска журнала соответствуют секциям конференции.

Редколлегия

МАТЕМАТИКА

УДК 517.926

ОБ ОДНОМ РЕШЕНИИ ЭЙЛЕРОВЫХ УРАВНЕНИЙ

В.В. Ивлев,
 д-р техн. наук, профессор,
 Московский государственный гуманитарный университет
 им. М.А.Шолохова
 E-mail: VVlvlev@yandex.ru

Е.М. Архипова,
 канд. пед. наук,
 Московский финансово-юридический университет МФЮА
 E-mail: Arhipova.E@mfua.ru

М.В. Баранова,
 аспирантка,
 Московский государственный гуманитарный университет
 им. М.А.Шолохова
 E-mail: Mashylya_13@mail.ru

Аннотация. Предлагается метод прямого интегрирования линейных дифференциальных уравнений Эйлера. При этом нет необходимости отдельно рассматривать однородные и неоднородные уравнения. Приводятся интегрирующие множители, позволяющие представить общее решение в квадратурах.

Ключевые слова: линейные дифференциальные уравнения, интегрируемые формы, уравнение Эйлера, корни характеристического уравнения.

Abstract. The method of direct integration of the linear differential equations of Euler is offered. Thus there is no need separately to consider the homogeneous and non-uniform equations. The integrating multipliers, allowing to present the common decision are given in quadratures.

Keywords: the linear differential equations, integrated forms, Euler's equation, roots of the characteristic equation.

1. ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРИРУЕМЫХ ФОРМ

Из общей теории линейных дифференциальных уравнений (ЛДУ) с переменными коэффициентами следует, что общее решение одно-

родного ЛДУ состоит из общего решения однородного ЛДУ и какого-либо частного решения неоднородного ЛДУ. При этом частное решение ищут либо методом Лагранжа (при известной фундаментальной системе решений однородного ЛДУ), либо исходя из вида правой части неоднородного ЛДУ. Рассмотрим метод прямого интегрирования уравнения Эйлера.

$$x^n y^{(n)} + a_1 x^{n-1} y^{(n-1)} + \dots + y = q(x). \quad (1)$$

Из (1) видно, что коэффициенты уравнения представляют собой производные от степенной функции с точностью до сомножителей.

Предварительно обратимся к более общему классу дифференциальных уравнений вида

$$P(x)y^{(n)} + a_1 P'(x)y^{(n-1)} + a_2 P''(x)y^{(n-2)} + \dots + a_n P^{(n)}(x)y = q(x). \quad (2)$$

Назовем функцию $P(x)$ – производящей, n -раз дифференцируемой функцией.

Обозначим левую часть (2) через линейную форму $L[y]$. Введем другую линейную форму $\bar{L}[y]$,

$$\bar{L}[y] = (P(x)y^{(n-1)})' + \bar{a}_1 (P'(x)y^{(n-2)})' + \dots + \bar{a}_{n-1} (P^{(n-1)}(x)y)'. \quad (3)$$

Если, зная a_1 , подобрать \bar{a}_1 так, чтобы $L[y] \equiv \bar{L}[y]$, то, интегрируя (3), получим

$$P(x)y^{(n-1)} + \bar{a}_1 P'(x)y^{(n-2)} + \dots + \bar{a}_{n-1} P^{(n-1)}(x)y = \int q(x) + C_1. \quad (4)$$

Введем следующую процедуру построения коэффициентов \bar{a}_1 :

$$\bar{a}_1 = a_1 - 1, \quad \bar{a}_2 = a_2 - \bar{a}_1, \quad \bar{a}_3 = a_3 - \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_{n-1} = a_{n-1} - \bar{a}_{n-2} = a_n. \quad (5)$$

Из (5) следует, что форма $L[y]$ интегрируема, если

$$1 - a_1 + a_2 - a_3 + \dots + (-1)^n a_n = 0. \quad (6)$$

Итак, условие (6) является критерием того, что уравнение (2) допускает прямое интегрирование и переход к (4).

Пусть (6) выполнено, тогда дальше повторяя изложенное по отношению к (4), т.е. вводя коэффициенты \bar{a}_i

$$\overline{a_1} = \overline{a_1} - 1, \overline{a_2} = \overline{a_2} - \overline{a_1}, \dots, \overline{a_{n-2}} = \overline{a_{n-2}} - \overline{a_{n-3}} = \overline{a_{n-1}},$$

получим критерий повторного интегрирования (4)

$$n - a_1(n-1) + a_2(n-2) - \dots + (-1)^{n-1} a_{n-1} = 0. \quad (7)$$

Тогда, после интегрирования (4) принимает вид

$$P(x)y^{(n-2)} + \overline{a_1}P'(x)y^{(n-3)} + \dots + \overline{a_{n-2}}P^{(n-2)}(x)y = \int \left[\int q(x) + C_1 \right] dx + C_2. \quad (8)$$

Если ввести знакопередающуюся характеристическую функцию $\varphi(x)$ $\varphi(x) = x^n - a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} - \dots + (-1)^n a_n$, то имеем

$\varphi(1) = 0$ – критерий интегрируемости (2);

$\varphi'(1) = 0$ – критерий интегрируемости (4) при $\varphi(1) = 0$;

$\varphi''(1) = 0$ – критерий интегрируемости (8) при $\varphi(1) = 0$ и $\varphi'(1) = 0$ и т.д.

Подтверждением этих критериев является формула Лейбница

$$[P(x)y]^{(n)} = P(x)y^{(n)} + C_n^1 P'(x)y^{(n-1)} + \dots + C_n^n P^{(n)}(x)y. \quad (9)$$

Очевидно, что линейная форма интегрируема n раз, а роль коэффициентов a_i играют коэффициенты бинома Ньютона. Здесь

$$\varphi(x) = x^n - C_n^1 x^{n-1} + C_n^2 x^{n-2} - \dots + (-1)^n C_n^n.$$

Из комбинаторики известно, что

$$\sum_{i=0}^n (-1)^i C_n^i = 0, \sum_{i=0}^{n-1} (-1)^i (n-i) C_n^i = 0, \text{ и т.д.}$$

Отсюда следует, что $\varphi(1) = \varphi'(1) = \dots = \varphi^{(n-1)}(1) = 0$.

В случае уравнений Эйлера и ему подобных удается построить систему интегрирующих множителей, позволяющих найти общее решение в квадратурах.

2. УРАВНЕНИЕ ЭЙЛЕРА

В качестве интегрирующего множителя для (1) выберем функцию x^λ и умножим обе части (1) на x^λ

$$x^{n+\lambda} y^{(n)} + a_1 x^{n+\lambda-1} y^{(n-1)} + \dots + a_n x^\lambda y = q(x)x^\lambda. \quad (10)$$

Приведем (10) к виду (2)

$$x^{n+\lambda} y^{(n)} + \frac{a_1}{n+\lambda} ((n+\lambda)x^{n+\lambda-1} y^{(n-1)}) + \dots \dots + \frac{a_n}{(n+\lambda)\dots(\lambda+1)} x^\lambda y = q(x)x^\lambda. \quad (11)$$

Для интегрируемости (11) необходимо выбрать λ так, чтобы выполнялось условие (6)

$$1 - \frac{a_1}{n+\lambda} + \frac{a_2}{(n+\lambda)\dots(n+\lambda-1)} - \dots + (-1)^n \frac{a_n}{(n+\lambda)(n+\lambda-1)\dots(\lambda+1)} = 0 \quad (12)$$

или $(n+\lambda)(n+\lambda-1)\dots(1+\lambda) - a_1(n+\lambda-1)\dots(1+\lambda) + (-1)^n a_n = 0$.

Характеристическое уравнение (12) имеет n вещественных, комплексно-сопряженных простых или кратных корней. Рассмотрим простейший случай вещественных различных корней $\lambda_1, \dots, \lambda_n$.

а) Пусть $\lambda = \lambda_1$. Интегрируя (11), получим

$$x^{n+\lambda_1} y^{(n-1)} + (a_1 - n - \lambda_1)x^{n+\lambda_1-1} y^{(n-2)} + (a_2 - a_1(n+\lambda_1-1) + (n+\lambda_1)(n+\lambda_1-1))x^{n+\lambda_1-2} y^{(n-3)} + \dots + \frac{a_n}{\lambda_1+1} x^{\lambda_1+1} y = \int q(x)x^{\lambda_1} dx + C_1. \quad (13)$$

Чтобы выполнить следующее интегрирование, необходимо исключить множитель x^{λ_1+1} и ввести новый x^{λ_2} . Кроме этого, необходимо (13) разделить на x , чтобы сохранить (13) как уравнение Эйлера.

После этих операций (13) примет вид

$$x^{n+\lambda_2-1} y^{(n-1)} + (a_1 - n - \lambda_1)x^{n+\lambda_2-2} y^{(n-2)} + (a_2 - a_1(n+\lambda_1-1) + (n+\lambda_1)(n+\lambda_1-1))x^{n+\lambda_2-3} y^{(n-3)} + \dots + \frac{a_n}{\lambda_1+1} x^{\lambda_2} y = x^{\lambda_2-\lambda_1-1} \left[\int q(x)x^{\lambda_1} dx + C_1 \right]. \quad (14)$$

Приводим (14) к виду (2)

$$\begin{aligned}
 & x^{n+\lambda_2-1}y^{(n-1)} + \\
 & + \frac{a_1 - n - \lambda_1}{n + \lambda_2 - 1} ((n + \lambda_2 - 1)x^{n+\lambda_2-2}y^{(n-2)}) + \\
 & + \frac{(a_2 - a_1(n + \lambda_1 - 1) + (n + \lambda_1)(n + \lambda_1 - 1))}{(n + \lambda_2 - 1)(n + \lambda_2 - 2)} ((n + \lambda_2 - 1)(n + \lambda_2 - 2)x^{n+\lambda_2-3}y^{(n-3)}) + \\
 & = x^{\lambda_2 - \lambda_1 - 1} [\int q(x)x^{\lambda_1} dx + C_1].
 \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь важно показать, что корни $\lambda_2, \dots, \lambda_n$ удовлетворяют (15).

Характеристическое уравнение для (15) имеет вид

$$\begin{aligned}
 & 1 - \frac{a_1 - n - \lambda_1}{n + \lambda_2 - 1} + \frac{(a_2 - a_1(n + \lambda_1 - 1) + (n + \lambda_1)(n + \lambda_1 - 1))}{(n + \lambda_2 - 1)(n + \lambda_2 - 2)} + \dots \\
 & + (-1)^n \frac{a_n}{(n + \lambda_2 - 1) \dots (1 + \lambda_2)(1 + \lambda_1)} = 0.
 \end{aligned} \quad (16)$$

Сравним в алгебраических уравнениях (16) и (12) коэффициенты, равные сумме корней.

Имеем в (12)

$$-\sum_{i=1}^n \lambda_i = \frac{n(n+1)}{2} - a_1,$$

Аналогично в (16)

$$-\sum_{i=2}^n \lambda_i = \frac{n(n-1)}{2} - \lambda_1 - a_1 + n + 1 = \frac{n(n+1)}{2} - \lambda_1 - a_1.$$

Видно, что $\lambda = \lambda_1$ исключается из суммы $\sum_{i=2}^n \lambda_i$, а остальные корни $\lambda_2, \dots, \lambda_n$ удовлетворяют (16). Этим объясняется деление на x в (15).

Дальнейшая рекуррентная процедура приводит к «исключению» коэффициентов a_1, \dots, a_{n-1} , кроме $a_n = \prod_{i=1}^n \lambda_i$, и приводит к общему решению (1) в виде

$$y = x^{-(1+\lambda_n)} \{ \int x^{\lambda_n - \lambda_{n-1} - 1} [\int x^{\lambda_{n-1} - \lambda_{n-2} - 1} dx \dots] dx^{n-1} + C_1 x^{n-1} + \dots + C_n \}. \quad (17)$$

Частные случаи.

а) $n = 3$

$$x^3 y''' + a_1 x^2 y'' + a_2 x y' + a_3 y = q(x)$$

Характеристическое уравнение

$$(3 + \lambda)(2 + \lambda)(1 + \lambda) - a_1(2 + \lambda)(1 + \lambda) + a_2(1 + \lambda) - a_3 = 0. \quad (18)$$

Общее решение ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ вещественны и различны).

$$y = x^{-(1+\lambda_3)} \{ \int x^{\lambda_3 - \lambda_2 - 1} [\int x^{\lambda_2 - \lambda_1 - 1} (\int q(x)x^{\lambda_1} dx + C_1) dx + C_2] dx + C_3 \}. \quad (19)$$

Решение однородного уравнения

$$y = C_1 x^{-(1+\lambda_3)} + C_2 x^{-(1+\lambda_2)} + C_3 x^{-(1+\lambda_1)}. \quad (20)$$

б) $n = 2$

$$x^2 y'' + a_1 x y' + a_2 y = q(x)$$

Характеристическое уравнение

$$(2 + \lambda)(1 + \lambda) - a_1(1 + \lambda) + a_2 = 0.$$

Общее решение (λ_1, λ_2 вещественны и различны).

$$y = x^{-(1+\lambda_2)} \{ \int x^{\lambda_2 - \lambda_1 - 1} [\int q(x)x^{\lambda_1} dx + C_1] dx + C_2 \}.$$

Решение однородного уравнения

$$y = C_1 x^{-(1+\lambda_1)} + C_2 x^{-(1+\lambda_2)}.$$

Пример. Решить уравнение

$$x^3 y''' - 3x^2 y'' + 6xy' - 6y = 0.$$

Характеристическое уравнение (см. 18)

$$(3 + \lambda)(2 + \lambda)(1 + \lambda) + 3(2 + \lambda)(1 + \lambda) + 6(1 + \lambda) + 6.$$

Имеет корни $\lambda_1 = -2, \lambda_2 = -3, \lambda_3 = -4$.

Решение однородного уравнения (см. 20)

$$y = C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x.$$

Следствие. Аналогично решается уравнение Лагранжа–Эйлера

$$(\alpha x + \beta)^n y^{(n)} + a_1 (\alpha x + \beta)^{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_n y = q(x).$$

Необходимо заменить в уравнении x^n Эйлера на $(\alpha x + \beta)^n$ и т.д.

3. УРАВНЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Для ЛДУ с постоянными коэффициентами

$$y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + a_2 y^{(n-2)} + \dots + a_n y = q(x), \quad (21)$$

используется интегрирующий множитель $e^{\lambda x}$

$$e^{\lambda x} y^{(n)} + a_1 e^{\lambda x} y^{(n-1)} + a_2 e^{\lambda x} y^{(n-2)} + \dots + a_n e^{\lambda x} y = q(x) e^{\lambda x}. \quad (21')$$

Приводим (21') к виду (2)

$$e^{\lambda x} y^{(n)} + \frac{a_1}{\lambda} (\lambda e^{\lambda x} y^{(n-1)}) + \frac{a_2}{\lambda^2} (\lambda^2 e^{\lambda x} y^{(n-2)}) + \dots + \frac{a_n}{\lambda^n} (\lambda^n e^{\lambda x} y) = q(x) e^{\lambda x}. \quad (21'')$$

Следуя (6), получим характеристическое уравнение

$$1 - \frac{a_1}{\lambda} + \frac{a_2}{\lambda^2} - \dots + (-1)^n \frac{a_n}{\lambda^n} = 0,$$

или

$$\lambda^n - a_1 \lambda^{n-1} + a_2 \lambda^{n-2} - \dots + (-1)^n a_n = 0. \quad (22)$$

Имеем n корней простых или кратных, вещественных или комплексно-сопряженных. Любопытно, что корни (22) отличаются знаком от корней традиционного характеристического уравнения. Повторяя процедуру последовательного интегрирования (21)–(21''), получим общее решение в виде

$$y = e^{-\lambda_n x} \left\{ \int e^{(\lambda_n - \lambda_{n-1})x} [e^{(\lambda_{n-1} - \lambda_{n-2})x} \dots \int q(x) e^{\lambda_1 x} dx \dots] dx \right\} + C_1 e^{-\lambda_1 x} + C_2 e^{-\lambda_2 x} + \dots + C_n e^{-\lambda_n x}. \quad (23)$$

В (23) корни вещественны и различны. В частности, если $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$, то (23) принимает вид

$$y = e^{-\lambda_n x} \left[\int \dots \int q(x) e^{\lambda x} dx^n + C_1 + C_2 x + \dots + C_n x^{n-1} \right]. \quad (24)$$

Пример. Решить уравнение

$$y''' + 6y'' + 12y' + 8y = 3e^{-2x}.$$

Умножим уравнение на множитель $e^{\lambda x}$, приведем его к виду (21'').

$$e^{\lambda x} y''' + \frac{6}{\lambda} (\lambda e^{\lambda x} y'') + \frac{12}{\lambda^2} (\lambda^2 e^{\lambda x} y') + \frac{8}{\lambda^3} (\lambda^3 e^{\lambda x} y) = 3e^{(\lambda-2)x}.$$

Составим характеристическое уравнение

$$1 - \frac{6}{\lambda} + \frac{12}{\lambda^2} - \frac{8}{\lambda^3} = 0$$

или

$$\lambda^3 - 6\lambda^2 + 12\lambda - 8 = 0$$

или

$$(\lambda - 2)^3 = 0.$$

Имеем корень $\lambda = 2$ кратности 3.

Используя (24), получим общее решение

$$y = e^{-2x} [3 \iiint dx^3 + C_1 x^2 + C_2 x + C_3] = e^{-2x} \left(\frac{x^3}{2} + C_1 x^2 + C_2 x + C_3 \right).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. Дифференциальные уравнения. – М., 1998.

УДК 537.533.9, 519.688, 621.385

ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЫ

А.Ю. Байков,
канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: baikov.a@mfua.ru

Аннотация. Рассматривается новый класс математических моделей – дискретно-аналитические модели для описания динамики нелинейных сред. Обсуждаются результаты этого подхода в задаче моделирования динамики электронного пучка в узкой трубе, включая исследование процессов группирования и отбора энергии, реализацию модели в программе расчета мощных клистронов, а также результаты моделирования клистронов с высоким КПД.

Ключевые слова: нелинейные среды, математическое моделирование, электронные пучки, СВЧ-приборы, клистроны.

Abstract. The new class of mathematical models – discrete-analytical models for the nonlinear media dynamics is considered. The electron beam dynamics in a narrow tube model is discussed as the example of this approach. Research of electron beam bunching processes and energy transformation, computer realization of the model and the powerful klystrons with high efficiency projects are discussed too.

Keywords: non-linear media, mathematical modeling, electron beams, microwave devices, klystrons.

1. ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЫ

Многие задачи моделирования как физических, так и социально-экономических процессов формулируются в терминах динамики нелинейной среды. Таковы задачи о течениях в средах, включая турбулентные течения, связанные с ними задачи моделирования атмосферных явлений, климата, последствий экологических катастроф, экосистем, экономических и социальных систем. Например, в [1] рассмотрена

структура власти в государстве как нелинейная среда и смоделирована динамика ее изменения.

Динамика нелинейных сред в настоящее время постепенно формируется как отдельная область науки, сформированная на основе, с одной стороны, физики сплошных сред (включая механику сплошных сред и электродинамику сплошных сред), а с другой стороны – классической нелинейной динамики.

В классической нелинейной динамике решается задача изменения во времени системы из N частиц, каждая из которых имеет k степеней свободы. Для каждой частицы заданы фазовые переменные – k обобщенных координат и k обобщенных скоростей, которые связаны между собой операцией дифференцирования по времени. Распространение этого подхода на химические, биологические, экологические, экономические и т.д. задачи приводит к необходимости рассматривать в качестве таких «частиц», компоненты химической реакции, биологические популяции, продукцию, финансы и т.д. Соответственно «координатами» становятся концентрация вещества, численность популяции, количество продукции и т.д.

Совокупность всех обобщенных координат и обобщенных скоростей в данный момент времени (вектор $\vec{q} = q_i$) – это состояние системы. Задача динамики – описать эволюцию состояния системы во времени, т.е. найти вектор-функцию $\vec{q}(t)$, называемую фазовой кривой или траекторией системы, зная вектор $\vec{q}_0 = \vec{q}(0)$ – начальное состояние системы.

Связь между \vec{q}_0 и $\vec{q}(0)$ задается оператором (фазовым потоком [2]), обычно представляющим собой систему обыкновенных дифференциальных переменных (СОДУ) 1-го или 2-го порядка. Рассмотрим фазовый поток в виде СОДУ 2-го порядка:

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} = F_i(q_j, \frac{dq_m}{dt}, t). \quad (1)$$

Индексы i, j, m пробегают значения от 1 до kN . Для физических классических точечных частиц система уравнений (1) получается из 2-го закона Ньютона.

Таким образом, с математической точки зрения задача классической динамики сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений вида (1), для ее решения есть стандартные, хорошо отработанные и достаточно эффективные методы [3].

Задача значительно усложняется, если в систему уравнений (1) входят нелокальные зависимости. Например, в правую часть системы

могут войти некоторые функционалы $I_k = I_k[q_s(t)]$, для нахождения которых нужно знать фазовую траекторию системы. В этом случае для решения задачи потребуется дополнительная итерационная процедура.

Задачи физики сплошных сред тоже можно рассматривать с точки зрения взаимодействующих частиц, но частицы при этом необходимо считать бесконечно малыми (дифференциальными). Система таких «частиц» представляет собой континуум – среду. Соответственно, динамика такой системы описывается либо дифференциальными уравнениями в частных производных, либо интегродифференциальными уравнениями.

В физике сплошных сред применяются 2 эквивалентных подхода.

Первый из них связан с применением переменных Эйлера (\vec{r}, t) , в этом случае искомым является поле скоростей среды в зависимости от координат и времени, т.е. $\vec{v}(\vec{r}, t)$. Этот подход является традиционным, наибольшее количество задач в физике сплошных сред решено именно в переменных Эйлера. На эти же переменные ориентированы основные численные методы (МКР, МКЭ и т.д., [4]).

Второй подход основан на применении переменных Лагранжа [5], по сути совпадающих с фазовыми переменными классической динамики. Отличие заключается в том, что количество частиц из конечной величины превращается в континуум, соответственно, для идентификации частицы приходится использовать не дискретный номер, а непрерывную лагранжеву переменную (вообще говоря, векторную). В качестве такой переменной обычно выбирается начальный вектор $\vec{r}_0 = \vec{r}(t)|_{t=0}$. Набор значений \vec{r}_0 является уникальным для каждой частицы и не меняется при ее движении. Траектории частиц среды представляются в виде $\vec{r} = \vec{r}(t, \vec{r}_0)$, при этом все операторы, входящие в фазовый поток, должны действовать в пространстве $\{\vec{r}_0\}$.

Динамика нелинейной среды – это область, возникающая как пересечение классической нелинейной динамики и физики сплошных сред.

Наиболее естественной постановкой задачи в динамике нелинейной среды является ее постановка в переменных Лагранжа – в этом случае сохраняется ее преемственность с классической динамикой.

Задачи динамики нелинейной среды решаются с помощью тех или иных компьютерных вычислительных процедур, в первую очередь – на основе методов конечных разностей и методов конечного элемента [4]. Одной из главных проблем при этом является очень большая вычислительная сложность таких методов, особенно при наличии дополнительных итерационных процедур. Это приводит к тому, что при моделиро-

вании сложных систем каждый вычислительный эксперимент требует большого времени, даже на суперкомпьютерах.

В настоящей работе рассматривается обзор результатов применения нового класса вычислительных методов – дискретно-аналитических методов – для одной задачи динамики нелинейной среды – динамики интенсивного электронного потока в мощных клистронах.

2. ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ (ОБЩАЯ ФОРМУЛИРОВКА)

Рассмотрим сначала дискретно-аналитическую модель нелинейной среды в общем виде.

В уравнениях динамики (1) особую роль играет время, т.к. рассматривается именно эволюция системы во времени. Т.е. время является «эволюционной переменной». Однако может оказаться, что удобно рассматривать эволюцию системы не во времени, а по отношению к какой-то другой величине. Например, при исследовании процессов в клистроне в качестве эволюционной переменной удобно взять продольную координату частицы, а время рассматривать как неизвестную функцию. Поэтому далее вместо времени t будем рассматривать произвольную эволюционную переменную ξ .

Будем считать, что динамика каждой частицы среды относительно эволюционной переменной определяется уравнениями вида (1). С учетом сделанных замечаний эта система запишется в виде

$$\frac{\partial^2 \vec{q}(\xi, \vec{s})}{\partial \xi^2} = \vec{F}_{(\xi, \vec{s})} \left(\vec{q}(\xi, \vec{s}), \frac{\partial \vec{q}(\xi, \vec{s})}{\partial \xi}, \xi, I_p[\vec{q}(\xi, \vec{s}), \vec{s}, \xi] \right), \quad (2)$$

где $\vec{q}(\xi, \vec{s})$ – обобщенная траектория частицы, определяемой лагранжевыми переменными \vec{s} , в зависимости от эволюционной переменной ξ , а $\vec{F}_{(\xi, \vec{s})}$ – оператор (вообще говоря, интегродифференциальный), действующий в пространстве (ξ, \vec{s}) , $I_p[\vec{q}(\xi, \vec{s}), \vec{s}, \xi]$ – некоторые функционалы. Размерность векторов \vec{q} , \vec{s} и \vec{F} (размерность задачи) равна числу степеней свободы для каждой частицы; для обычной физической среды это либо 3, либо 2, либо 1. Величины \vec{q} имеют смысл координат, но могут не совпадать с ними. Т.к. они определяют структуру среды, назовем их структурными переменными.

Вычислительная сложность задачи быстро растет с увеличением размерности среды, поэтому очень важно добиться уменьшения размерности без существенного ухудшения адекватности математической

модели. Это можно сделать, исходя из соображений симметрии, однородности и изотропности, т.е. из некоторой структурной инвариантности. Следует отметить, что в задачах движения среды такая структурная инвариантность почти никогда не бывает строгой, можно лишь говорить о некоторой «приблизительной» и «мягкой» инвариантности. Наиболее универсальный способ учета такой инвариантности – усреднение по соответствующей структурной переменной.

Процесс создания дискретно-аналитической модели состоит из следующих этапов.

П.1. Запись общих уравнений, описывающих рассматриваемую среду, с полной (максимальной) размерностью.

П.2. Понижение размерности путем усреднения по некоторым структурным переменным.

П.3. Запись полученных (усредненных) уравнений в лагранжевых координатах и приведение их к виду (2).

П.4. Выбор эволюционной переменной, по которой наилучшим образом реализуются последовательные шаги. Соответствующее преобразование уравнений.

П.5. Нахождение приближенного аналитического решения для одного шага по эволюционной переменной. Под аналитическим решением при этом понимается выражение через элементарные функции, специальные функции и квадратуры.

П.6. Компьютерная реализация модели.

Краеугольным камнем этого алгоритма является п.5 – это наиболее сложная и наименее формализуемая часть метода.

Отметим также п.3. Переход к лагранжевым координатам после усреднения можно интерпретировать как рассмотрение движения некоторых объектов «усредненных частиц» с уравнениями движения вида (2). Реализацию этого подхода для электронного пучка в узкой трубе мы рассмотрим далее.

3. ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК В УЗКОЙ ТРУБЕ

Задача о трансформации электронного пучка в узкой трубе возникает, в первую очередь, при моделировании мощных многорезонаторных клистронов [6] и других систем с протяженными ускоренными электронными пучками, фокусируемыми продольными магнитными полями, например, промышленных ускорителей частиц, рентгеновских излучателей и т.д., высоковольтных вентильных устройств и т.д.

Рассмотрим реализацию дискретно-аналитического подхода для этого класса задач.

П.1. Исходная система, описывающая электронный пучок, движущийся внутри узкого полого цилиндрического канала (трубы) с металлическими стенками в фокусирующем магнитном поле, имеет вид [7]:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{e}{m} (\vec{E}_{nz} + [\vec{v} \times \vec{B}]) \quad (3)$$

$$\vec{p} = \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

$$\vec{E}_{nz} = -grad \int_{-\infty}^{+\infty} G_3(\vec{r}, \vec{r}') \cdot \rho(\vec{r}', t) d^3 r' \quad (5)$$

$$G_3(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r_T} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (2 - \delta_m^0) \cdot e^{-\frac{\sigma_k |z-z'|}{r_T}} \cdot \frac{J_m(\sigma_k \frac{r'}{r_T}) \cdot J_m(\sigma_k \frac{r}{r_T})}{\sigma_k \cdot [J_{m+1}(\sigma_k)]^2} \cos(m(\varphi - \varphi')) \quad (6)$$

где \vec{p} – импульс электрона, e , m – заряд и масса электрона, \vec{E}_{nz} – электрическое поле, создаваемое электронами пучка (поле пространственного заряда), \vec{v} – скорость электрона, \vec{B} – индукция внешнего магнитного поля, c – скорость света, $G_3(\vec{r}, \vec{r}')$ – трехмерная функция Грина для трубы, $\rho(\vec{r}, t)$ – плотность пространственного заряда в зависимости от координат и от времени, r_T – радиус трубы, δ_i^j – символ Кронекера, σ_k – k -ый корень функции Бесселя $J_0(x)$, (z, r, φ) – цилиндрические координаты радиус-вектора \vec{r} .

Пп. 2–3. Проведем усреднение по азимуту и по радиусу. В результате этой процедуры получается следующее уравнение [8]:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\beta_{rel} \frac{e}{m} \int_{-\infty}^{\infty} G(u) \cdot \frac{\partial}{\partial z} \rho(z+u, t) du, \quad (7)$$

где

$$G(u) = \frac{2r_T}{\epsilon_0} \sum_{k=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{\sigma_k |u|}{r_T}\right) \cdot \left(\frac{J_1(\sigma_k \alpha)}{J_1(\sigma_k)}\right)^2 \frac{1}{\sigma_k^3} \quad (8)$$

– усредненная одномерная функция Грина, z – усредненная по азимуту и радиусу координата электронов пучка, $\alpha = r_n/r_T$ – отношение радиуса пучка к радиусу трубы.

Уравнение (7) имеет вид (2), поэтому, как было отмечено, его можно интерпретировать как уравнение движения «усредненных частиц» – продольных дифференциальных элементов пучка [8].

Хотя производная по времени в уравнении (8) записана с помощью значка d , это, по своему смыслу, – частная производная, т.к. $z = z(t, t_0)$ – функция двух переменных – времени t и лагранжевой переменной t_0 . Значок d использован для того, чтобы отличить лагранжеву производную от эйлеровой.

П. 4. Выбор эволюционной переменной. Необходимо выбрать ее таким образом, чтобы реализация последовательных шагов по этой переменной происходила наиболее просто и естественно. Для клистронов такой переменной является продольная координата z , т.к. электронный пучок в клистроне проходит последовательность труб дрейфа и зазоров резонаторов – их можно рассматривать как «большие пространственные шаги», которые, возможно, потребуются разбить на более мелкие. В этом случае время прибытия данной усредненной частицы в некоторую плоскость z становится функцией $t = t(z, t_0)$, которую будем называть функцией прибытия.

Уравнение (7) приобретает вид

$$\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \beta_{rel} \frac{e}{m} \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^3 \int_{-\infty}^{\infty} G(z-z') \cdot \frac{\partial}{\partial z'} \rho(z', t) dz'. \quad (9)$$

Для уравнения (10) ставится стандартная задача Коши.

П. 5. В настоящее время получены 3 группы приближенных аналитических решений уравнения (9).

5-1. Линейное аналитическое решение [8–10] получается в приближении малой модуляции плотности заряда. Это решение не имеет ограничений по длине шага, оно может быть записано как в переменных $t(z, t_0)$, так и в переменных $z(t, t_0)$. Наиболее простой вид это решение имеет в переменных $z(t, t_0)$ для однородного пучка,двигающегося с постоянной скоростью v_0 и получающего в момент времени $t = t_0$ возмущение скорости $v_{var1}(t_0)$. Это решение можно записать в виде [8]:

$$z(t, t_0) = v_0 \cdot t + \frac{1}{2\Omega_p} \int_{t_0 - \Omega_p t}^{t_0 + \Omega_p t} v_{var1}(s) ds, \quad (10)$$

$$\text{где } \Omega_p^2 = \beta_{rel} \frac{e j_0}{m v_0^3} \cdot \frac{4r_T^2}{\varepsilon_0} \sum_{k=1}^{n_s} \left(\frac{J_1(\sigma_k \alpha)}{J_1(\sigma_k)} \right)^2 \frac{1}{\sigma_k^4} \quad (11)$$

– параметр пространственного заряда.

В работах [8–10] показано, что известные из литературы аналитические выражения для трансформации гармонически модулированного пучка (см. [11], [12]) можно рассматривать как частный случай выражения (10). С другой стороны, из выражения (10) вытекают и другие решения, которые ранее в литературе не были описаны, например, трансформация короткого импульсного возмущения скорости [8].

Решение (10) с большой точностью описывает начало процесса группирования, т.е. хорошо подходит для моделирования первой трубы дрейфа клистрона, в том числе для нестандартных режимов скоростной модуляции (многочастотный режим и т.п.). При этом величина пространственного шага не ограничена, можно в качестве такого шага взять всю трубу дрейфа.

5-2. Приближение замороженного пучка (ПЗП). Это решение получено в работах [8], [13], [14] для условий, соответствующих процессу группирования пучка во всех трубах дрейфа клистрона, начиная со второй. Решение получено на основе медленности изменения плотности заряда в системе координат, связанной с пучком. Величина пространственного шага h при этом не может быть слишком большой, т.к. на большом шаге предположение о «замороженности» плотности заряда перестает выполняться. Проведенные оценки и тестовые расчеты показали, что оптимальная величина пространственного шага в безразмерных единицах, т.е. величина $\frac{\omega \cdot h}{v_0}$, где ω – частота СВЧ-колебаний,

составляет примерно 0,2 rad. Погрешность решения при этом не превышает 0,001.

ПЗП – решение может быть записано в разных видах, которые приведены и обсуждены в работах [8], [15].

5-3. Метод кинематического шага (МКШ). Получению этого решения посвящена отдельная статья «Решение уравнения группирования интенсивного электронного пучка в узкой трубе методом кинематического шага», опубликованная в этом номере журнала. Там же проведено сравнение с ПЗП-решением.

4. ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК В ЗАЗОРЕ РЕЗОНАТОРА

Исходная система уравнений, описывающая трансформацию многолучевого электронного пучка в зазоре резонатора, имеет вид аналогичной системе (3)–(5) со следующими корректировками.

1) В уравнении (3) к полю пространственного заряда $\vec{E}_{из}$ добавится СВЧ поле резонатора \vec{E}_- . После усреднения по сечению это поле даст дополнительный член в уравнение (7), который запишется в виде [7]:

$$E_-(z, t) = \frac{u(t) \cdot \psi(z)}{d}, \quad (12)$$

где $u(t)$ – СВЧ-напряжение на зазоре, $\psi(z)$ – функция, определяющая распределение поля по зазору, d – протяженность зазора.

2) Функция Грина (6) изменится. Вообще говоря, для многолучевого клистрона вид функции Грина достаточно сложен и сильно зависит от конфигурации электронно-оптической системы (от числа лучей, от взаимного расположения параллельных труб и т.д.). Но, учитывая малую протяженность зазора, можно использовать приближенную функцию Грина, исходя из следующих двух крайних случаев. Для однолучевого клистрона с тонкими зазорами можно считать, что функция Грина продолжает определяться выражением (6). Для многолучевого клистрона с большим количеством лучей можно взять функцию плоскопараллельного диодного промежутка – в виде треугольника [16]. Наиболее общая аппроксимация функции Грина зазора получается как линейная комбинация этих двух функций с коэффициентами, зависящими от продольной координаты z .

3) СВЧ-напряжение на $u(t)$ зазоре представляется в виде ряда Фурье, в котором, как правило, учитывается только одна, основная гармоника (остальные подавляются). Комплексная амплитуда этой гармоники определяется амплитудой конвекционного тока пучка и импедансом резонатора. Но конвекционный ток может быть найден только после расчета прохождения пучка через зазор, т.к. он зависит от группировки пучка в зазоре. Таким образом, амплитуды гармоник конвекционного тока и гармоник СВЧ-напряжения является функционалами, обозначенными в уравнении (2) как $I_p[\vec{q}(\xi, \vec{s}), \vec{s}, \xi]$. Наличие таких функционалов делает неизбежной итерационную процедуру для решения неразрывной пары задач – задачи о трансформации электронного пучка в зазоре резонатора и задачи о возбуждении резонатора электронным пучком.

Подробно построение дискретно-аналитической модели зазора резонатора и многозазорной резонаторной системы рассмотрено в [7], [16], [18].

Отметим, что можно настраивать модель зазора, варьируя параметры, к которым относятся величина пространственного шага (количество парциальных зазоров), вид распределения СВЧ-поля по зазору, тип итерационной процедуры и некоторые другие модельные параметры. Усложнение модели приводит к повышению точности, но и увеличивает время расчета. Варьируя указанные параметры, можно добиться оптимального сочетания точности и быстродействия.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЩНЫХ КЛИСТРОНОВ С ВЫСОКИМ КПД

Дискретно-аналитическая модель клистрона была реализована в виде комплекса программ – сначала KlyP [18]–[19], а затем KlyPWin [20], [25]–[27], в котором обеспечены возможности работы с деревом проектов, представления и анализа графической информации. В частности, в пакете есть возможность исследования процессов группирования и отбора энергии (фазовые траектории, графики распределения скорости и функции прибытия и т.п.), анализа и итоговых функциональных характеристик прибора (АЧХ, амплитудная характеристика, фазовая характеристика и т.д.).

В комплекс KlyPWin входит также блок оптимизации, реализующий 2 метода многопараметрической оптимизации – метод зондирования [21] и метод перебора с масштабированием [22].

Дискретно-аналитическая модель позволяет проводить большое количество расчетов за короткое время, расчет одной АЧХ на компьютере со средними параметрами составляет от долей секунды до нескольких секунд в зависимости от настройки модели. При оптимизации для нахождения одного локального экстремума требуется несколько тысяч расчетов АЧХ. Для нахождения «достаточно хорошего» экстремума, обеспечивающего высокий КПД, количество расчетов увеличивается до нескольких десятков и даже сотен тысяч. Что же касается глобального экстремума, то, по проведенным оценкам, количество вычислений АЧХ для его нахождения может превышать несколько миллионов. Дискретно-аналитическая модель делает реальным проведение такого количества расчетов и, таким образом, позволяет ставить и решать за-

дачу о глобальном экстремуме КПД в заданной полосе для прибора с заданной конфигурацией.

В настоящее время рассчитаны клистроны с достаточно высоким КПД в 70–80% [23–24]. Полученные решения являются достаточно хорошими локальными экстремумами, но, по всей видимости, ни одно из них не является глобальным экстремумом.

Для поиска глобального экстремума должна быть сформулирована специальная методика, работа в этом направлении началась.

Так, в работах [25–27] приведены результаты глобальной оптимизации двухрезонаторных клистронов и получены универсальные кривые зависимости максимального КПД от коэффициента усиления для различных клистронов, смоделированных на основе реальных электронно-оптических систем и реальных резонаторов. Показано, что максимальный КПД двухрезонаторного клистроны составляет 42–46% при оптимальном коэффициенте усиления 16–18dB.

В работе «Моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в трехрезонаторном клистроне дециметрового диапазона», опубликованной в настоящем номере журнала, аналогичные исследования проведены для одного варианта трехрезонаторного клистроны.

6. ВЫВОДЫ

Сформулирован общий подход построения дискретно-аналитической модели динамики нелинейной среды, состоящий из 6-и пунктов.

Показана реализация этого подхода для решения задачи моделирования мощных клистронов с высоким КПД.

Показано, что на основе дискретно-аналитической модели может быть поставлена и решена задача проектирования клистроны с максимально возможным КПД, т.е. задача о глобальном максимуме КПД клистроны.

Рассмотренный подход может быть полезен и при решении других задач динамики нелинейной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М., 2005.
2. Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. – М., 2003.

3. Рябенский В.С. Введение в вычислительную математику. – М., 1994.
4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М. – СПб., 2000.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М., 1988.
6. Артюх И.Г., Байков А.Ю., Петров Д.М. Высокоэффективные пролетные клистроны. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной Дню радио. – Москва. Май 1997.
7. Байков А.Ю. Компьютерное моделирование мощных и сверхмощных резонаторных СВЧ-приборов // Информационно-измерительные и управляющие системы №4, Т. 8, 2010. С. 36–46.
8. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Математическая модель трансформации электронного пучка в узкой трубе // Журнал технической физики. 2012, №6. С. 90–100.
9. Байков А.Ю., Грушина О.А. Реакция электронного пучка в узкой трубе на полигармонические и непериодические возмущения // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе / Труды международной научно-практической конференции. Том 1 – М., МФЮА, 2009. – С.97–100. Электронная версия: <http://conf.mfua.ru>
10. Байков А.Ю., Грушина О.А. Распространение продольных возмущений интенсивного электронного пучка в узкой трубе // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов в 3-х томах. Т.2. Нанопизика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. – М., 2010.
11. Plasma frequency reduction factors in electron beams Branch, G. M.; Mihran, T. G. IRE Transactions on Electron Devices, vol. 2, issue 2, pp. 3–11. Abstract not Available. DOI: 10.1109/T-ED.1955.14065
12. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М., 1973.
13. Байков А.Ю., Грушина О.А. Аналитическое решение задачи группирования электронного пучка в режиме большой модуляции плотности // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова. Серия: научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXV. – М., 2010. С. 339–342.
14. Байков А.Ю., Грушина О.А. Исследование процесса группирования электронного пучка в клистроне на основе ПЗП-решения. // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе/ Труды всероссийской научно-практической конференции. – М.: МФЮА, 2010. С. 132–138. Электронная версия: <http://conf.mfua.ru>

15. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Влияние пространственного заряда на процесс группирования в клистроне в рамках «приближения замороженного пучка» // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1. С. 68–77.

16. Нетребко Н.В., Николаев И.П., Полякова М.С., Шмальгаузен В.И. Электричество и магнетизм. – М., 2006.

17. Байков А.Ю. Математическое моделирование мощных и сверхмощных резонаторных приборов О-типа // Труды Международной научно-практической конференции «Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе». – Москва. Май. 2005.

18. Байков А.Ю., Петров Д.М. Дискретно-аналитическая модель клистрона. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию изобретения радио. – Москва. Май. 1995.

19. Байков А.Ю., Ильясов Х.Х., Петров Д.М. KLYP – новая быстродействующая программа расчета клистрона. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». – Саратов. Октябрь. 1994. С. 7–8.

20. Байков А.Ю., Ежиков В.Б. Редактируемый интерфейс ввода-вывода данных для вычислительной модели, включающей многопараметрическую оптимизацию // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2011, №1. С. 173–182.

21. Байков А.Ю., Петров Д.М. Использование ЛПт-оптимизации для синтеза параметров мощных вакуумных резонаторных СВЧ-приборов О-типа. Тезисы докладов LX научной сессии, посвященной Дню радио. – Москва. 17–19 мая 2005 г., С. 165–169.

22. Байков А.Ю., Ежиков В.Б. Метод перебора с масштабированием в задачах одномерной оптимизации // Труды Международной научно-практической конференции «Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе». – М., 2010. С. 53–57.

23. Байков А.Ю., Петров Д.М. Мощные широкополосные клистроны с высоким КПД (методика синтеза и результаты). Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». – Саратов. Сентябрь 1996, ч. 1. С. 22–23.

24. Байков А.Ю., Петров Д.М. Проблемы создания мощных и сверхмощных клистронов с высоким КПД. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». – Саратов. 7–9 сентября, 1998. т. 1. С. 56–58.

25. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Компьютерное моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторном клистроне // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1. С.77–84.

26. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в сверхмощном импульсном двухрезонаторном клистроне сантиметрового диапазона // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012. Аннотации докладов в 3-х томах. Т. 3. Конференция «Методы математической физики и математическое моделирование физических процессов». Секция «Математическое моделирование физических процессов». – М., 2012. С. 155.

27. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н. Исследование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторных клистроны // Журнал технической физики. 2013, №4 (в печати).

УДК 537.533.9, 519.688, 621.385

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ГРУППИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В УЗКОЙ ТРУБЕ МЕТОДОМ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ШАГА

А.Ю. Байков,
канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: baikov.a@mflua.ru

О.А. Грушина,
аспирантка,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
E-mail: obkv@mail.ru

М.Н. Стриханов,
д-р физ.-мат. наук, проф., ректор,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
E-mail: MNStrikhanov@mephi.ru

Аннотация. Для основного уравнения группирования электронного пучка в узкой трубе, решенного ранее в «приближении замороженного пучка» (ПЗП), получено новое решение в приближении, названном «методом кинематического шага» (МКШ). Новое решение соответствует неявной вычислительной схеме и поэтому должно обладать большей устойчивостью при моделировании клистрона с многозазорными электродинамическими системами.

Ключевые слова: математическое моделирование, электронные пучки, СВЧ-приборы, клистроны.

Abstract. The new solution of the electron beam bunching equation in the narrow tube is obtained. This equation was solved early «frozen bunch approach» (FBA). Now this equation is solved in the approach called by kinematic step method «KSM». The new solution corresponds to the implicit computing scheme and consequently should possess bigger stability when modeling klystron with multigap electrodynamic systems.

Keywords: mathematical modeling, electron beams, microwave devices, klystrons.

В работах [1–11] развита дискретно-аналитическая модель группирования электронного пучка в узкой трубе, позволяющая моделировать и проектировать мощные и сверхмощные клистроны с КПД = 80% и выше.

В этих работах исходная система уравнений, описывающая интенсивный электронный пучок, сведена к одному интегродифференциальному уравнению движения «усредненных частиц», имеющему вид

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\beta_{rel} \frac{e}{m} \int_{-\infty}^{\infty} G(u) \cdot \frac{\partial}{\partial z} \rho(z+u, t) du, \quad (1)$$

$$\text{где } G(u) = \frac{2r_T}{\varepsilon_0} \cdot \sum_{k=1}^{n_s} \exp\left(-\frac{\sigma_k |u|}{r_T}\right) \cdot \left(\frac{J_1(\sigma_k \alpha)}{J_1(\sigma_k)}\right)^2 \frac{1}{\sigma_k^3} \quad (2)$$

– одномерная функция Грина, z – усредненная по азимуту и радиусу координата электронов пучка, $\alpha = r_b / r_T$ отношение радиуса пучка к радиусу трубы, $\beta_{rel} = \sqrt{1 - v_0^2 / c^2}$, e , m – заряд и масса электрона, v_0 – невозмущенная скорость пучка, ε_0 – диэлектрическая постоянная, $J_1(x)$ – функция Бесселя, σ_k – k -ый корень функции Бесселя $J_0(x)$, u – переменная интегрирования, имеющая смысл усредненной координаты относительно текущего значения, $\rho(z, t)$ – плотность пространственного заряда в зависимости от усредненной координаты и от времени, n_s – количество учитываемых членов ряда (в [7] показано, что достаточно $n_s = 2$).

Уравнение (1) было решено в «приближении замороженного пучка» (ПЗП) [7], получены аппроксимации этого решения в виде ряда и в виде асимптотического разложения [9], соответствующие формулы реализованы в виде процедур программного комплекса KlyP [8–12], проведены тестовые расчеты, показавшие сочетания высокой скорости и точности [9–11], получены общие зависимости для связи КПД с коэффициентом усиления в двухрезонаторном клистроне [11].

Но, несмотря на высокую эффективность ПЗП-решения, оказалось, что возможны такие схемы построения клистронов и такие режимы работы, в которых это приближение работает плохо. Например, для сложного каскада, включающего многозазорную резонаторную систему, итерационная процедура для расчета наведенного тока и СВЧ-напряжений в зазорах может не сходиться, этот эффект тем сильнее, чем больше зазоров включает многозазорная система и чем больше ее общая электрическая длина. Вместе с тем системы с многозазорными

резонаторами являются перспективными конструкциями для создания мощных широкополосных клистронов в сантиметровом и миллиметровом диапазоне. Поэтому адекватное моделирование таких систем является весьма актуальной задачей.

Для моделирования трансформации электронного пучка в многорезонаторных системах, а также для расчета других аналогичных систем, предъявляющих высокие требования к устойчивости вычислительной процедуры, предложен другой, отличный от ПЗП способ решения уравнения (1), близкий к неявным вычислительным схемам, названный «Методом кинематического шага» (МКШ), который и рассматривается в данной работе.

МЕТОД КИНЕМАТИЧЕСКОГО ШАГА

Для решения задачи о группировании электронного пучка необходимо найти функцию прибытия $t(z, t_0)$, имеющую смысл времени прибытия данной усредненной частицы в плоскость z, t_0 , – идентификатор усредненной частицы, имеющий смысл времени прохождения этой частицей начальной плоскости $z = 0$.

Преобразуем уравнение (1), записав его относительно функции прибытия. Это можно сделать на основе дифференциального соотношения

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial t}{\partial z}\right)^3} \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right).$$

Уравнение (1) принимает вид

$$\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \beta_{rel} \frac{e}{m} \left(\frac{\partial t}{\partial z}\right)^3 \int_{-\infty}^{\infty} G(z-z') \cdot \frac{\partial}{\partial z'} \rho(z', t) dz'. \quad (3)$$

В уравнении (3) проведена замена переменной интегрирования u на переменную $z' = z + u$.

Для уравнения (3) поставим задачу Коши.

$$\begin{cases} t|_{z=z_1} = t_1(t_0) \\ \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{1}{v_1(t_0)} \end{cases}. \quad (4)$$

Функция Грина G описывает кулоновское взаимодействие усредненных частиц друг с другом. Этот эффект является поправочным к основному эффекту – модуляции плотности за счет модуляции скорости. Поэтому его можно учесть в рамках метода последовательных приближений.

Найдем функцию $t^{(0)}$ прибытия в нулевом приближении, считая, что кулоновское взаимодействие усредненных частиц друг с другом отсутствует, т. е. $G = 0$. Уравнение (3) примет вид

$$\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0, \quad (5)$$

а решение задачи (5), (4) запишется в виде

$$t^{(0)}(z - z_1, t_0) = t_1(t_0) + \frac{z - z_1}{v_1(t_0)}. \quad (6)$$

Выражение (6) представляет искомую функцию прибытия в нулевом приближении – кинематическое решение уравнения (3).

В соответствии с методикой построения дискретно-аналитической модели [2] будем искать аналитическое решение для одного шага, т. е. в пределах $z_1 \leq z \leq z_1 + \Delta z$, где Δz – величина шага. Соотношение (6) при $z = z_1 + \Delta z$ можно рассматривать как предварительный «кинематический» шаг.

Перейдем к следующему приближению, т. е. найдем $t(z, t_0)$, подставив выражение (6) в правую часть уравнения (3).

Для этого необходимо найти выражение для плотности пространственного заряда $\rho(z', t)$ в кинематическом приближении.

Воспользуемся тем, что плотность заряда – периодическая функция времени и разложим ее в ряд Фурье

$$\rho(z', t) = \sum_{k=1}^{\infty} (A_k(z') \sin(k\omega t) + B_k(z') \cos(k\omega t)), \quad (7)$$

где

$$A_k(z') = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \rho(z', t) \sin(k\omega t) d(\omega t), \quad (8)$$

$$B_k(z') = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \rho(z', t) \cos(k\omega t) d(\omega t). \quad (9)$$

В силу закона сохранения заряда $\rho dt = j_0 \frac{dt_0}{v}$ [5], где j_0 – плотность тока невозмущенного пучка (в сечении $z=0$).

После такой замены дифференциалов выражения (8), (9) преобразуются к следующему виду

$$A_k(z') = \frac{j_0}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\sin(k\omega t(z', t'_0))}{v(z', t'_0)} d(\omega t'_0), \quad (10)$$

$$B_k(z') = \frac{j_0}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\cos(k\omega t(z', t'_0))}{v(z', t'_0)} d(\omega t'_0). \quad (11)$$

Подставив соотношения (10), (11) в выражение (7), а затем результат вместе с выражением (2) в уравнение (3), получим

$$\frac{\partial^2 t(z, t_0)}{\partial z^2} = \frac{1}{v_1^3(t_0)} \int_{-\pi}^{\pi} d(\omega t'_0) \cdot \sum_{k=1}^{n_s} \frac{\tilde{\Omega}_s^2}{v_1^2(t'_0)} \cdot R_s, \quad (12)$$

где $\tilde{\Omega}_s^2 = \frac{2}{\pi} \beta_{rel} \frac{e j_0 \omega r_T}{m \epsilon_0 \sigma_s^3} \frac{1}{\sigma_s} \frac{J_1(\sigma_s \alpha)}{J_1(\sigma_s)}$, (13)

$$R_s = \sum_{k=1}^{\infty} k I_{ks} \quad (14)$$

$$I_{ks} = \int_{-\infty}^{\infty} dz' \exp\left(-\frac{\sigma_s |z' - z|}{r_T}\right) \sin(k\omega(t^{(0)}(z', t'_0) - t^{(0)}(z, t_0))). \quad (15)$$

Интеграл (15) берется, после его вычисления получаем

$$I_{ks} = \frac{2\sigma_s v_1^2(t'_0)}{r_T \omega^2} \frac{1}{k^2 + \frac{\sigma_s v_1^2(t'_0)}{r_T^2 \omega^2}} \sin\left(k\omega\left(t_1(t_0) - t_1(t'_0) + \Delta z \left(\frac{1}{v_1(t_0)} - \frac{1}{v_1(t'_0)}\right)\right)\right). \quad (16)$$

Просуммируем ряд R_s , входящий в выражение (12). Воспользуемся табличным рядом [13]

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{k^2 + a^2} \sin(kx) = \frac{\pi}{2} \frac{sh((\pi - x)a)}{sh(x)}, \quad (17)$$

при $0 < x < 2\pi$. (18)

Условие (18) для аргумента синуса в выражении (16) может не выполняться. Но всегда можно подобрать такую целую величину m , чтобы это условие выполнялось после прибавления к аргументу синуса величины $2\pi m$.

Будем считать, что для всех значений s , t_0 и t'_0 такая величина $m = m(s, t_0, t'_0)$ найдена. Тогда сумма ряда запишется в виде

$$R_s = \frac{\pi \sigma_s v_1^2(t'_0)}{r_T \omega^2} \frac{sh\left(\frac{\sigma_s v_1(t'_0)}{r_T \omega} \left(\pi + 2\pi m - \omega \left(t_1(t_0) - t_1(t'_0) + \Delta z \left(\frac{1}{v_1(t_0)} - \frac{1}{v_1(t'_0)}\right)\right)\right)\right)}{sh\left(\pi \frac{\sigma_s v_1(t'_0)}{r_T \omega}\right)}. \quad (19)$$

Подставив выражение (19) в выражение (12), получим

$$\frac{\partial^2 t(\Delta z, t_0)}{\partial (\Delta z)^2} = \sum_{s=1}^{n_s} \Omega_s^2(t_0) \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \frac{sh(\alpha_s(t_0, t'_0) + \beta_s(t_0, t'_0) \cdot \Delta z)}{sh(\gamma_s(t'_0))} d(\omega t'_0). \quad (20)$$

В выражении (19) введены обозначения

$$\Omega_s^2(t_0) = 2\beta_{rel} \frac{e j_0}{m \epsilon_0 \sigma_s^2} \frac{1}{J_1(\sigma_s)} \frac{J_1(\sigma_s \alpha)}{J_1(\sigma_s)} \frac{1}{\omega} \frac{1}{v_1^3(t_0)}, \quad (21)$$

$$\alpha_s(t_0, t'_0) = \frac{\sigma_s \cdot v_1(t'_0)}{r_T \cdot \omega} \cdot \left(\pi + 2\pi m - \omega \left(t_1(t_0) - t_1(t'_0)\right)\right), \quad (22)$$

$$\beta_s(t_0, t'_0) = \frac{\sigma_s}{r_T} \cdot \left(1 - \frac{v_1(t'_0)}{v_1(t_0)}\right), \quad (23)$$

$$\gamma_s(t_0, t'_0) = \pi \frac{\sigma_s \cdot v_1(t'_0)}{r_T \cdot \omega}, \quad (24)$$

а также проведена замена в левой части переменной z на переменную $\Delta z = z - z_1$.

Выражение (20) легко дважды интегрируется по Δz . Однако при интегрировании функция $\beta_s(t_0, t'_0)$ попадает в знаменатель. Т.к. эта функция может обращаться в ноль при некоторых значениях t'_0 , в частности, при $t'_0 = t_0$, то в подынтегральном выражении появляется особенность. Анализ выражения показывает, что эта особенность устранимая, избавиться от нее можно соответствующим доопределением функций в точках разрыва.

Введем следующие две вспомогательные всюду гладкие функции:

$$cr(x) = \begin{cases} \frac{sh(x)}{x}, & \text{при } x \neq 0 \\ 1, & \text{при } x = 0 \end{cases}, \quad (24)$$

$$sr(x) = \begin{cases} \frac{cr(x)-1}{x}, & \text{при } x \neq 0 \\ 0, & \text{при } x = 0 \end{cases}. \quad (25)$$

и выразим через них результаты интегрирования по Δz . В результате для производной функции прибытия и для самой функции прибытия получим следующие регулярные выражения:

$$\frac{\partial t(\Delta z, t_0)}{\partial(\Delta z)} = \frac{1}{v_1(t_0)} + \Delta z \cdot \sum_{s=1}^{n_s} \Omega_s^2(t_0) \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \frac{sh\left(\alpha_s(t_0, t'_0) + \frac{\beta_s(t_0, t'_0)}{2} \cdot \Delta z\right)}{sh(\gamma_s(t'_0))} cr\left(\frac{\beta_s(t_0, t'_0)}{2} \cdot \Delta z\right) d(\omega t'_0) \quad (26)$$

$$t(\Delta z, t_0) = t_1(t_0) + \frac{\Delta z}{v_1(t_0)} + \Delta z^2 \cdot \sum_{s=1}^{n_s} 2 \cdot \Omega_s^2(t_0) \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{sh(\alpha_s(t_0, t'_0))}{sh(\gamma_s(t'_0))} cr^2\left(\frac{\beta_s(t_0, t'_0)}{2} \cdot \Delta z\right) + 2 \frac{ch(\alpha_s(t_0, t'_0))}{sh(\gamma_s(t'_0))} sr\left(\frac{\beta_s(t_0, t'_0)}{2} \cdot \Delta z\right) \right) d(\omega t'_0) \quad (27)$$

Выражения (26) и (27) дают решение поставленной задачи.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравним найденные решения (26)–(27) с полученными ранее решениями в ПЗП-приближении [5–9]. Решения (26)–(27) представлены

квадратурами. Это означает, что для нахождения перемещения каждой усредненной частицы на один шаг требуется вычислять интеграл. При этом для каждой частицы нужно находить функцию m , которая может привести к негладкости подынтегрального выражения и, следовательно, к необходимости вычислять интеграл исключительно суммой. Все это приводит к увеличению времени расчетов по сравнению с расчетами в ПЗП-приближении, где перемещение частицы на каждом шаге рассчитывается по аналитическим формулам.

Но, с другой стороны, решения (26)–(27) соответствует неявной вычислительной схеме, т. к. сила пространственного заряда учитывается не только в плоскости z_1 , а на всем промежутке между плоскостями z_1 и $z_1 + \Delta z$. Это должно привести к более устойчивой вычислительной процедуре, проверку устойчивости и эффективности этой процедуры предполагается провести в ходе дальнейшей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байков А.Ю., Петров Д.М. Дискретно-аналитическая модель клистрона. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию изобретения радио. – Москва. Май. 1995.
2. Байков А.Ю. Компьютерное моделирование мощных и сверхмощных резонаторных СВЧ-приборов // Информационно-измерительные и управляющие системы №4, Т. 8, 2010. С. 36–46.
3. Байков А.Ю., Грушина О.А. Реакция электронного пучка в узкой трубе на полигармонические и непериодические возмущения // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе / Труды международной научно-практической конференции. Том 1. – М.: МФЮА, 2009. С. 97–100. Электронная версия: <http://conf.mfua.ru>
4. Байков А.Ю., Грушина О.А. Распространение продольных возмущений интенсивного электронного пучка в узкой трубе // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов в 3-х томах. Т. 2. Нанозифика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. – М., 2010. С. 329.
5. Байков А.Ю., Грушина О.А. Аналитическое решение задачи группирования электронного пучка в режиме большой модуляции плотности // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова. Серия: научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXV. – М., 2010, С. 339–342.

6. Байков А.Ю., Грушина О.А. Исследование процесса группирования электронного пучка в клистроне на основе ПЗП-решения // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе/ Труды всероссийской научно-практической конференции. – М., МФЮА, 2010. С.132–138. Электронная версия: <http://conf.mfua.ru>

7. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Математическая модель трансформации электронного пучка в узкой трубе // Журнал технической физики, 2012, №6. С. 90–100.

8. Грушина О.А. О возможности моделирования мощных клистронов со сверхвысоким КПД. // Тезисы докладов XIV Международной телекоммуникационной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь и наука», ч. 2. – М., НИЯУ МИФИ, 2011. С. 101.

9. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Влияние пространственного заряда на процесс группирования в клистроне в рамках «приближения замороженного пучка» // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1. С.68–77.

10. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Компьютерное моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторном клистроне // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1. С.77–84.

11. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в сверхмощном импульсном двухрезонаторном клистроне сантиметрового диапазона // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012. Аннотации докладов в 3-х томах. Т. 3. Конференция «Методы математической физики и математическое моделирование физических процессов». Секция «Математическое моделирование физических процессов». – М., 2012. С. 155.

12. Байков А.Ю., Ежиков В.Б. Редактируемый интерфейс ввода-вывода данных для вычислительной модели, включающей многопараметрическую оптимизацию // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2011, №1, С. 173–182.

13. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М., 1981. С. 730.

УДК 518.5

УРАВНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ В ПЛП-ПОИСКЕ

*Статников И.Н.,
канд. техн. наук,
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва
E-mail: instant@gmail.com*

*Фирсов Г.И.,
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва
E-mail: firsovgi@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются вопросы оценки точности и помехозащищенности коэффициентов линейной регрессии, построенной по результатам применения метода ПЛП-поиска, уже зарекомендовавшего себя положительно по критерию рационального проведения вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: ПЛП-поиск, эвристические методы оптимизации, метод Монте-Карло, планирование имитационных экспериментов, линейная регрессия.

Abstract. It is examined questions of the estimation of accuracy and noise protection of the coefficients of linear regression, built according to the results of applying the method of PLP- search, of the already recommended itself positively according to the criterion rational conducting of computational experiments.

Keywords: PLP- search, the heuristic methods of optimization, the Monte-Carlo method, planning imitation experiments, the linear regression.

Как известно [1,2], ПЛП-поиск – это метод рационального проектирования объектов искусственной природы, принадлежащий «семейству методов Монте-Карло» [3] и сконструированный на основе планирования ПЛП-последовательностей [4]. Метод используется для анализа математических моделей (ММ) функционирования проектируемых объектов. Использование ПЛП-поиска при анализе ММ наряду со многими его свойствами [2] предусматривает возможность «свертывания» получаемой численной информации путем построения аппроксимирующих регрессионных зависимостей разного вида. В этом случае постановка

задачи выглядит следующим образом. Пусть задана ММ исследуемой и проектируемой динамической системы в виде

$$L(\bar{y}(\bar{\alpha}, t), \bar{\alpha}) = 0, \quad (1)$$

$$\bar{\varphi}(\bar{\alpha}) \leq 0, \quad (2)$$

где L – оператор, действующий на систему уравнений (1) (линейный или нелинейный); $\bar{y}(\bar{\alpha}, t)$ – вектор фазовых координат системы; $\bar{\varphi}(\bar{\alpha})$ – вектор функциональных ограничений на параметры и поведение системы; $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_j)$ – вектор коэффициентов системы (1), (2), соответствующий определенным конструктивным параметрам проектируемого объекта; $G(\bar{\alpha})$ – область допустимых значений параметров в виде J -мерного параллелепипеда

$$\alpha_{j*} \leq \alpha_j \leq \alpha_{j**}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (3)$$

где α_{j*} и α_{j**} – соответственно нижние и верхние граничные значения j -го параметра. И, наконец, задана система K критериев качества (в явном или неявном виде)

$$\{ \Phi_k = \Phi_k(\bar{\alpha}); \bar{\alpha} \in G(\bar{\alpha}), k = \overline{1, K} \} \quad (4)$$

Необходимо, используя результаты проведенного математического моделирования, построить регрессионные зависимости

$$\hat{\Phi}_k = \hat{\Phi}_k(\bar{Q}, \alpha_1, \dots, \alpha_m), \quad (5)$$

того или иного вида, где: $m \leq J$ – число варьируемых параметров (3), оказывающих с заданной вероятностью P_3 влияние на минимизацию или максимизацию значений критериев качества (4), а \bar{Q} – вектор коэффициентов регрессионной зависимости (5).

Для дальнейшего изложения заявленной темы напомним, что в ПЛП-поиске основным конструкционным элементом для проведения вычислительных экспериментов (ВЭ) являются матрицы планируемых экспериментов (МПЭ), параметрами которых являются N_0 – общее чис-

ло ВЭ, равное числу строк МПЭ, и J – число варьируемых параметров α_j ($j = \overline{1, J}$), равное числу столбцов МПЭ. При этом важнейшими параметрами построения МПЭ и статистической обработки результатов ВЭ также являются: M_j – количество уровней (сечений), на которые разбивается каждый варьируемый параметр α_j (разработаны два варианта построения МПЭ: $M_j = \text{const}$ (планирование с фиксированным числом уровней) и $M_j = \text{var}$ (разноуровневое планирование)); H – число значений критерия в i -ом сечении j -го варьируемого параметра (объем выборки), если $M_j = \text{const}$ и $H = H_{ij}$, если $M_j = \text{var}$. В свою очередь, для каждого из указанных вариантов МПЭ предусмотрены и такие случаи [5]:

$$\alpha_j \in (\alpha_{j*}, \alpha_{j**}); \alpha_j \in [\alpha_{j*}, \alpha_{j**}]; \quad (6)$$

$$\alpha_j \in (\alpha_{j*} + \varepsilon_j, \alpha_{j**} - \varepsilon_j); \alpha_j \in (\alpha_{j*} - \varepsilon_j, \alpha_{j**} + \varepsilon_j),$$

где α_{j*} и α_{j**} – соответственно нижняя и верхняя границы интервала варьирования j -го параметра, а $0 < \varepsilon_j \ll 1$.

Рассмотрим уравнение линейной регрессии в ПЛП-поиске

$$\hat{y}(\bar{\Theta}, \bar{\alpha})_T = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 \alpha_1 + \dots + \hat{\theta}_m \alpha_m \quad (7)$$

Здесь $\bar{\Theta}$ – вектор коэффициентов уравнения (7), а угольнички над буквами означают, что в уравнении реально стоят оценки величин коэффициентов $\hat{\theta}_j$, а не их истинные значения. Вывод формул оценок (8) уравнения (7) подробно описан в [1]:

$$\hat{\theta}_0 = \frac{M^2(3J+1)-1}{MH(M^2-1)} \sum_{m=1}^{N_0} \Phi_m - \frac{6M}{H(M^2-1)} \sum_{m=1}^{N_0} \Phi_m \sum_{p=1}^J \alpha_{mp}, \quad (8)$$

$$\hat{\theta}_j = \frac{6M}{H(M^2-1)} \left[2 \sum_{m=1}^{N_0} \Phi_m \alpha_{mj} - \sum_{m=1}^{N_0} y_m \right], \quad j = \overline{1, J}.$$

Следует заметить, что для вывода аналитических зависимостей (8) методом наименьших квадратов (МНК) были использованы приближения при вычислении ряда выражений. Например, для подсчета сумм типа $\sum_{i=1}^{N_0} \prod_j \alpha_{ij}^{t_j}$ принято при $M_j = \text{const} = M$, что

$$\sum_{i=1}^{N_0} \prod_j^{J_m} \alpha_{ij}^{t_j} \approx N_0 E \left(\prod_{ij}^{J_m} \alpha_{ij}^{t_j} \right). \quad (9)$$

Здесь: в (9) $E(\bullet)$ – математическое ожидание величины $\left(\prod_{ij}^{J_m} \alpha_{ij}^{t_j} \right)$ в одной серии, t^j – показатель степени, в которую возводится параметр α_{ij} ($t^j = 1, 2, \dots$); в одной серии $i = \overline{1, M}$, а число серий равно $H = N_0 / M$. Как и обычно для метода Монте–Карло, среднеквадратичное отклонение ошибки $\sigma(\delta_j)$ между левой правой частями равенства (9) обратно пропорционально $\sqrt{N_0}$. Анализ построенных зависимостей $\sigma(\delta_j)$ от M и H для конкретных t_j и j в единичном гиперкубе показал, что величина $\sigma(\delta_j)$, начиная с некоторых значений H , мало меняется; существенное ее уменьшение наблюдается лишь при переходе к большему числу экспериментов M в одной серии, что объясняется тем, что МПЭ в ПЛП-поиске соответствуют очень большим значениям критерия D – оптимальности [1,5]. Заметим, что указанные свойства МПЭ сохраняются и при разноуровневом планировании, но скорость сходимости $\sigma(\delta_j)$ к минимальным значениям ниже, чем в случае $M_j = \text{const}$.

Реальные возможности уравнения (7) в смысле достигаемой точности проверялись на тестовых линейных функциях $f_{m,k}(\bar{\alpha})$ без «шума» и с ним, где в качестве «шума» использовалась «добавка» равномерно распределенных по вероятности псевдослучайных чисел в интервале $(-\beta, \beta)$ с заранее вычисляемой дисперсией этих чисел $D = (2\beta)^2/12 = \beta^2/3$. Точность аппроксимации проверялась по сумме двух критериев: среднеквадратичному отклонению $s_1(\bar{\alpha})$ между функциями $f_{m,k}(\alpha)$ и $(\Theta, \bar{\alpha})$ и среднему значению модуля отклонений между этими функциями $s_2(\bar{\alpha})$, т.е., сумма S равнялась:

$$S = c_1 s_1(\bar{\alpha}) + c_2 s_2(\bar{\alpha}), \quad (10)$$

где c_1 и c_2 – веса значимости выбранных критериев точности. В предположении, что $c_1 + c_2 = 1$, и что эти критерии равноценны (сугубо индивидуальное допущение), формула (10) принимает простой вид:

$$S = 0,5(s_1(\bar{\alpha}) + s_2(\bar{\alpha})).$$

В ходе экспериментальных исследований тестовых функций подтвердилась роль параметра α , введенного в [1] как критерия, мини-

мизирующего или сводящего к нулю количество одинаковых строк в МПЭ, если выполняются следующие неравенства:

$$2/M^{J-1} \leq \alpha \leq 10^{-J} \quad \text{при } M_j = \text{const} \quad (11)$$

и

$$2/(M^*)^{J-1} \leq \alpha \leq 10^{-J} \quad \text{при } M_j = \text{var}, \quad (12)$$

где $M^* = J / \sum_{j=1}^J 1/M_j$ – среднее гармоническое количество уровней варьируемых параметров.

По поводу тестовых функций скажем лишь то, что в них подбирались различные сочетания коэффициентов (положительные и отрицательные, рациональные и иррациональные, разнопорядковые), а в двух экспериментах выбранные коэффициенты обеспечили отрицательные значения средней величины выборки, что предоставило возможность уточнить свойства алгоритма построения вектора Θ в уравнении (7). Анализ результатов подтверждает роль параметра α и при решении задачи аппроксимации экспериментальных данных уравнением линейной регрессии: чем ближе значения этого параметра к левой границе неравенств (11) и (12) при соблюдении самого левого граничного условия, тем выше точность аппроксимации. Кроме того, анализ показал, что для большинства исследованных функций критерии S_k достигают лучших значений при разноуровневом планировании, чем при $M_j = \text{const}$ при приблизительно одинаковых величинах α . Этот факт объясняется неодинаковым (вероятностным) влиянием варьируемых параметров на величины S_k . Поэтому, при исследовании ММ с дальнейшим прицелом на построение регрессионных зависимостей, возможна существенная экономия ВЭ при следующей тактике: сначала с помощью ПЛП-поиска проводится небольшой вычислительный эксперимент (несколько сотен ВЭ), затем устанавливается и ранжируется степень вероятностного влияния на те или иные критерии, а после назначается вектор количеств уровней варьируемых параметров $\bar{M} = (M_1, \dots, M_J)$, что позволит при общем (суммарном [1]) числе ВЭ, более меньшем, чем если бы проводить вычислительный эксперимент «вслепую», достигнуть желаемой точности аппроксимации.

Очень важна, сама по себе, и точность значений составляющих вектора Θ , особенно, при наличии на входах аппроксимируемой функции шумов. Для ответа на этот вопрос проводились следующие ВЭ.

При построении МПЭ для каждой функции к значениям варьируемых параметров α_j добавлялись шумы β_j , равномерно распределенные по вероятности в интервале $(-\beta_j, \beta_j)$ при условии, что $|\beta| \ll 1$, т.е., элементы строки $\alpha_{s,j}$ в МПЭ равнялись $\alpha_{s,j} = \alpha_j + \beta_j$. Далее, считали отношение среднеквадратичных отклонений матриц $\{\alpha_{ij}\}$ и $\{\beta_{ij}\}$: $otn = \sigma(\beta) / \sigma(\alpha)$. Для ряда значений otn и при различных α по матрицам $\{\alpha_{ij}\}$ и $\{\alpha_{s,ij}\}$ восстанавливались оценки коэффициентов $\hat{\theta}_j$ и $\hat{\theta}_{s,j}$ для уравнения (7). По этим оценкам производились вычисления относительных погрешностей δ_j между значениями $\hat{\theta}_{Tj}$ из уравнения (7) и $\hat{\theta}_{s,j}$, и относительных погрешностей между $\hat{\theta}_j$ и $\hat{\theta}_{s,j}$ по формулам:

$$\delta_j = \left| \frac{\hat{\theta}_{Tj} - \hat{\theta}_{s,j}}{\hat{\theta}_{Tj}} \right| \text{ и } \delta_{s,j} = \left| \frac{\hat{\theta}_j - \hat{\theta}_{s,j}}{\hat{\theta}_j} \right|. \quad (13)$$

Если в тестовой функции $\hat{\theta}_{T0}$ то указанные погрешности считались по формулам:

$$\delta_j = \left| \frac{\hat{\theta}_j}{\hat{\theta}_{s,j}} \right| \text{ и } \delta_{s,j} = \left| \frac{\hat{\theta}_j - \hat{\theta}_{s,j}}{\hat{\theta}_{s,j}} \right|. \quad (14)$$

Результаты расчетов по формулам (13) и (14) усреднялись для вычислительного эксперимента

$$\bar{\delta} = \frac{1}{J+1} \sum_{j=0}^J \delta_j \text{ и } \bar{\delta}_s = \frac{1}{J+1} \sum_{j=0}^J \delta_{s,j} \quad (15)$$

и эти величины $\bar{\delta}$ и $\bar{\delta}_s$ рассматривались как функции двух параметров otn и α . Анализ изменения величин (15) для при различных значениях α показал, что точности $\bar{\delta}$ и $\bar{\delta}_s$ подчиняются той же зависимости от параметра α , что и общие критерии точности аппроксимации: чем лучше выполняются неравенства (11) и (12), тем выше эти точности. Также видно, что при $M_j = \text{var}$ для одних и тех же значений α , что и при $M_j = \text{const}$, исследуемые точности могут оказаться выше: этот эффект уже объяснен выше. Кроме того, получено, что при одних и тех же значениях α точности $\bar{\delta}_s$ всегда выше точностей $\bar{\delta}$. Этот эффект обязан способу построения формул (8) – методу МНК, который всегда является дополнительным фильтром от помех. Резюмируя изложенный материал, полагаем что формулы (8) линейной аппроксимации результатов

ВЭ, полученных на ММ, при соблюдении описанных рекомендаций обеспечивают наперед заданную точность, если установлен сам факт линейной зависимости конструктивных параметров от предъявляемых критериев. Это позволяет во многих случаях перейти от сложных дифференциальных зависимостей к простым (например, алгебраическим) и использовать последние как предварительные при проектировании объекта, а иногда и как окончательные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статников И.Н., Андреев Е.В. ПЛП-поиск – эвристический метод решения задач математического программирования. – М., 2006.
2. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Решение задач проектирования динамических систем интеллектуальным методом ПЛП-поиска // Вестник Московского финансово-юридического университета. 2012. № 1. С. 28–33.
3. Бусленко Н.П., Голенко Д.И., Соболев И.М. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Под ред. Ю.А. Шрейдера. – М., 1962.
4. Соболев И.М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. – М., 1969.
5. Ермаков С.М., Бродский В.З., Жиглявский А.А. и др. Математическая теория планирования эксперимента // Под ред. С.М.Ермакова. – М., 1983.

УДК 330.46

БИДЕМПФЕРНАЯ МОДЕЛЬ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Г.И. Кийко,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
Московский государственный технический университет "МАМИ"
E-mail: gkijko@mail.ru

В.А. Триндюк,
аспирант,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: trindjukvladimir@mail.ru

Аннотация. В статье приведена бидемпферная модель робастного взаимосвязанного управления отраслью и фирмой, осуществляющей свою деятельность в данной отрасли, при наличии интервальной неопределенности параметров и невозможности измерения ряда координат.

Ключевые слова: робастное управление в экономике, интервальная неопределенность параметров, наблюдатель Люенбергера.

Abstract. An article presents a design of a model of robust bi-damper interconnected control of industry and firm which is operating in the industry with interval uncertainty for several parameters and impossibility to measure some coordinates.

Keywords: robust control in economy, interval uncertainty for several parameters, Luenberger observer.

Робастное управление, т.е. управление, гарантирующие живучесть системы даже в самых неблагоприятных ситуациях, особенно актуально для экономических систем, т.к. фирмы существуют в постоянно агрессивной среде рынка и вынуждены каждый день искать способы увеличения доходов и сокращения расходов в условиях сильной неопределенности. В период кризиса эта неопределенность еще более увеличивается. Любой самый незначительный фактор, даже слух о нем, может привести в конечном итоге к банкротству фирмы [3–4]. В таких условиях наиболее эффективным становится способ управления, гарантирующий выживание фирмы, пусть даже и ценой упущенных выгод.

С учетом того, что кризисы в современной рыночной экономике закономерное явление, предлагаемый в статье метод весьма актуален.

Рассмотрим двухдемперную модель предприятия или фирмы, которая описывает особенности реального производства (рис. 1) в условиях олигополии.

Здесь большим прямоугольником I_c обозначена конкурентная среда рассматриваемой фирмы с нормированным объемом инвестиций, а меньшим прямоугольником i_s – конкретная фирма. Колебания состояния экономики компенсируются гасителями (демперами и мультипликаторами) отрасли и отдельной фирмы, входящей в отрасль. Компенсация колебаний потока производства ускоряется посредством входных управляющих воздействий $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

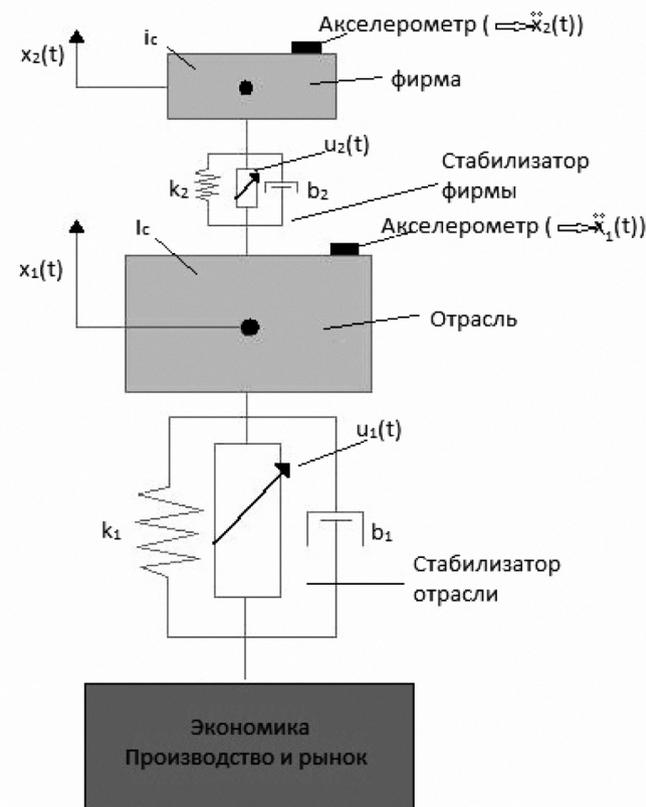


Рис. 1. Бидемпферная модель управления экономическими процессами

Запишем систему дифференциальных уравнений для рассматриваемой модели:

$$\begin{cases} I_c x''_1(t) = \\ = -(k_1 + k_2)x_1(t) + k_2x_2(t) - (b_1 + b_2)x'_1(t) + b_2x'_2(t) + c[u_1(t) + u_2(t)], \\ i_s x''_2(t) = k_2x_1(t) - k_2x_2(t) + b_2x'_1(t) - b_2x'_2(t) + cu_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

Здесь

I_c – нормированный объем инвестиций конкурентной среды;

i_s – нормированный объем инвестиций для рассматриваемой фирмы;

k_1 и k_2 – коэффициенты спроса;

b_1 и b_2 – коэффициенты издержек;

c – коэффициент усиления управляющих воздействий;

$x_1(t)$ – поток изделий в отрасли, шт.;

$x_2(t)$ – поток изделий в фирме (мощность конвейера), шт.;

$x'_1(t) = \frac{dx_1(t)}{dt}$ – скорость изменения потока изделий в отрасли, шт./с;

$x'_2(t) = \frac{dx_2(t)}{dt}$ – скорость изменения потока изделий в фирме, шт./с;

$x''_1(t) = \frac{d^2x_1(t)}{dt^2}$ – ускорение изменения потока изделий в отрасли, шт./с²;

$x''_2(t) = \frac{d^2x_2(t)}{dt^2}$ – ускорение изменения потока изделий в фирме, шт./с²;

$u_1(t)$ – управляющие воздействия на отрасль;

$u_2(t)$ – управляющие воздействия на предприятия.

Зададим переменные пространства состояний:

$$\begin{cases} x_1(t) = x_1(t), \\ x_2(t) = x_2(t), \\ x_3(t) = x'_1(t), \\ x_4(t) = x'_2(t), \end{cases}$$

Тогда можно переписать дифференциальные уравнения, описывающие процесс производства, в виде динамической системы в пространстве координат (2):

$$\begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \\ x'_3(t) \\ x'_4(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1+k_2}{I_c} & \frac{k_2}{I_c} & -\frac{b_1+b_2}{I_c} & \frac{b_2}{I_c} \\ \frac{k_2}{i_s} & -\frac{k_2}{i_s} & \frac{b_2}{i_s} & -\frac{b_2}{i_s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{c}{I_c} & -\frac{c}{I_c} \\ 0 & \frac{c}{i_s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Таблица 1

Значения параметров модели

| № | Обозначение | Диапазон изменений | Среднее значение | Единицы измерения |
|---|-------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | I_c | От 1 000 до 2 000 | 1500 | \$ |
| 2 | i_s | От 100 до 150 | 125 | \$ |
| 3 | k_1 | Постоянная величина | 40 000 | \$/ с ² |
| 4 | k_2 | Постоянная величина | 5000 | \$/ с ² |
| 5 | b_1 | Постоянная величина | 4000 | \$/ с |
| 6 | b_2 | Постоянная величина | 500 | \$/ с |
| 7 | c | Постоянная величина | 1000 | – |
| 8 | u_1 | Переменная величина | Подлежит определению | \$/ шт. / с ² |
| 9 | u_2 | Переменная величина | Подлежит определению | \$/ шт. / с ² |

Систему (2) можно переписать в матричной форме в виде (3):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}x(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \\ x(t_0) = x_0, \end{cases} \quad (3)$$

Наша задача состоит в синтезе оптимального управления при отсутствии информации об инвестициях в конкретный момент времени, причем к управлению предъявляется требование, чтобы оно качественно обрабатывало любую ситуацию из заданных диапазонов изменения параметров, т.е. на управление накладывается требование робастности. Такое управление для исходного объекта мы будем синтезировать на робастной модели (6). Диапазоны изменения инвестиционных вливаний выбраны эмпирически. Возмущениями назовем отклонения инвестиций от своих средних значений. Оптимальность синтезированного управления будем оценивать по качеству переходных процессов (ам-

плитуда и скорость затухания колебаний) и квадратичному функционалу качества [1]:

$$J(x, u) = \frac{1}{2} x^T(T) S x(T) + \frac{1}{2} \int_0^T \{x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)\} dt, \quad (4)$$

где S – решение стационарного уравнения Риккати-Лурье:

$$S A^* + A^{*T} S - S B^* R^{-1} B^{*T} S + Q = 0, \quad (5)$$

где матрицы A^* и B^* – наилучшие с точки зрения качества переходных процессов [2] при заданных диапазонах изменения инвестиций, т.е. робастная модель объекта имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} x(t) = A^* x(t) + B^* u(t), \\ x(t_0) = x_0, \end{cases} \quad (6)$$

Матрицы Q и R возьмем для простоты единичными.

В данной статье для упрощения изложения мы опускаем изложение способа нахождения матриц A^* и B^* , а сразу воспользуемся его результатами:

$$A^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -22.5 & 5 & -2.25 & 0.5 \\ 50 & -33.333 & 5 & -3.333 \end{pmatrix}, \quad B^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 5 & -1 \\ 0 & 6.667 \end{pmatrix}.$$

По этим матрицам строим оптимальное робастное управление.

Однако будем исходить из условия, что нам недоступны для измерения скорости изменения потоков производства фирмы и отрасли в конкретный момент времени. Поэтому для координат $x_3(t)$ и $x_4(t)$ объекта дополнительно построим наблюдатель Люенбергера, чтобы иметь возможность оперировать в дальнейшем полученными для них оценками.

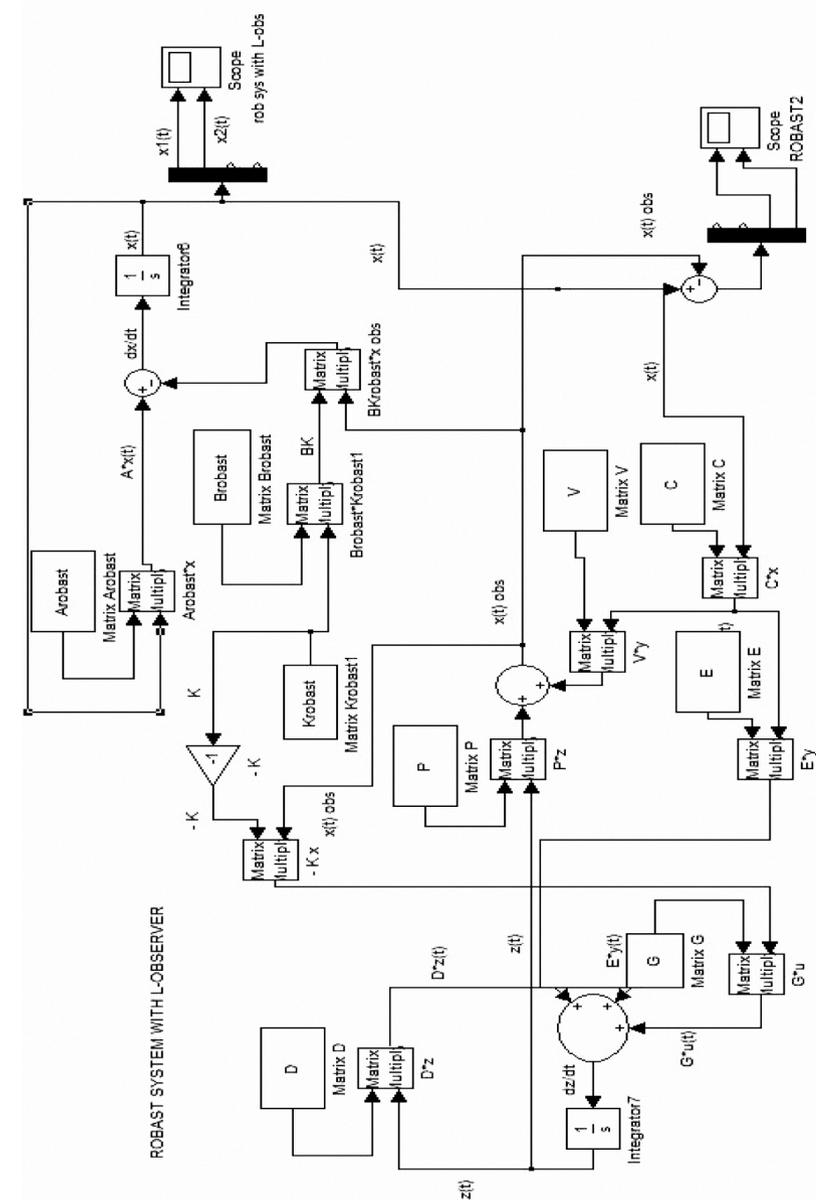


Рис. 2. Схема синтеза оптимального робастного управления с помощью наблюдателя Люенбергера

Изложенный подход к решению поставленной задачи реализует схема в среде Matlab/

Тем самым решена поставленная задача о нахождении оптимального робастного управления фирмой в условиях олигополии в случае, когда известны лишь допустимые диапазоны инвестиций, но не их точные значения в конкретные моменты времени и когда невозможно своевременно и точно отслеживать скорости изменения потоков изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.Н. Алгоритмическое конструирование систем управления с неполной информацией. Учебное пособие – М., 2004.
2. Афанасьев В.Н. Математическая теория конструирования систем управления: Учеб. для вузов / В.Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. – 3-е изд., испр. и доп. – М., 2003.
3. Горчаков А.А., Орлова И.В. Компьютерные экономико-математические модели. – М., 1988.
4. Маркин Ю.П. Математические методы и модели в экономике. – М., 2007.
5. Чарльз Генри Эдвардс, Дэвид Э. Пенни Дифференциальные уравнения и проблема собственных значений: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. – 3-е изд. – М., 2007.
6. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к.т.н. В. Г. Потемкина – М., 2003.
7. Экономико-математические методы и модели / Под ред. Макарова С.И. – М., 2008.

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.3

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ СВЯЗИ НА ТРАНСПОРТНОМ УРОВНЕ ПЕРЕДАЧИ

Г.М. Антонова,
д-р техн. наук,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: gmant@ipu.ru

Аннотация. Рассматривается имитационная модель, позволяющая учесть динамический характер сети связи для повышения степени адекватности модели процессам, происходящим при передаче сообщений в реальной среде на транспортном уровне протоколов передачи данных. Приводится алгоритм моделирования и результаты моделирования фрагмента сети.

Ключевые слова: имитация, моделирование, динамические системы.

Abstract. Telecommunications simulation is considered. It allows take into account dynamical character of object and increases an adequacy to processes of real data transfer at transport layer of network Protocols. Algorithm for simulation and simulation results of part of telecommunications system is demonstrated.

Keywords: simulation, modeling, dynamical systems.

В современном имитационном моделировании известны два метода продвижения модельного времени: метод модельных событий и метод фиксированного шага [1]. Первый метод предполагает проверку значений ограничений, изменение входных параметров и расчет выходных параметров по мере наступления ключевых событий, определяющих содержание модели. Изменение модельного времени происходит скачками разной длины, от события к событию. Второй метод не требует выделения ключевых событий и предполагает выполнение действий с параметрами модели в фиксированные моменты времени, наступающие через постоянный интервал времени Δt . Динамический характер объекта можно учесть путем построения моделей, в которых реализована привязка к моментам изменения модельного времени некоторых параметров, определяющих переменный во времени характер моделируемо-

го объекта. Это позволит учесть, например, изменения структуры сети связи, вызванные перегрузкой или неисправностями некоторых узлов сети. Можно представить сеть связи как последовательность реализаций ориентированного графа и менять эти реализации через промежутки времени, кратные Δt , согласно методу фиксированного шага, или по мере наступления выбранных ключевых событий. Таким событием может быть, например, событие увеличения средней вероятности ошибки на символ, событие возникновения неисправности в аппаратуре сети, событие обрыва в сети и т.п. [2–4].

Для протоколов транспортного уровня известны аналитические результаты моделирования процесса передачи сообщений в сети, заданной как система массового обслуживания. Одна из последних моделей [5] определяет состояние сети с помощью таких параметров, как вероятность отсутствия очереди в узле-отправителе при отправке сегмента сообщения, вероятность наличия очереди в узле-отправителе при отправке сегмента сообщения, длина тракта передачи от источника к адресату, вероятность искажения сегмента в прямом направлении передачи, вероятность искажения сегмента в обратном направлении передачи и др. С помощью аппарата марковских цепей удается определить оптимальное значение тайм-аута ожидания подтверждения в условиях детерминированного тракта. Однако аналитическая модель не позволяет учесть существующие помехи в сети связи. Аналитические результаты не удается получить при произвольном законе распределения моментов поступления сообщений или сложном законе распределения ошибки на символ в канале связи. Имитационное моделирование допускает описание отдельных каналов сети связи не только путем моделирования различных известных законов распределения, но и с помощью экспериментальной статистики ошибок, т.е. выполнить проверку и оценить вероятность доставки сообщения в условиях, приближенных к реальным.

Для коротковолнового радиоканала с замираниями такое моделирование фрагмента системы связи выполнено в [2–4]. Сеть связи представлена ориентированным графом [2]. Обозначены начальная и конечная вершины, движение сообщений осуществляется из начальной вершины в конечную, исключается движение в обратном направлении и образование циклов. В каждой отдельной ветви моделируется четырехпараметрический закон распределения вероятности ошибки на символ или закон Накагами [6]. Маршрут движения по сети выбирается после оценки помеховой обстановки (отношения «сигнал–шум») в

каждой ветви, исходящей из текущего узла. Передача сообщения происходит по той ветви, в которой промоделированная вероятность отношения «сигнал–шум» максимальна. Эта модель позволила оценить вероятность доставки сообщения для адаптивной сети связи по коротковолновым радиоканалам с замираниями. Для описания структуры сети выбирается матрица исходящих ветвей сети для всех узлов, вектор значений количества ветвей, исходящих из заданной вершины, вектор номеров узлов, в которых заканчиваются ветви сети, и др.

Если использовать серию структур фрагмента сети связи, то необходимо менять описания, т.е. менять соответствующие матрицы и векторы. Переменные состояния ветвей и узлов сети моделируются в отдельных подпрограммах, что увеличивает адекватность модели, поскольку модели отдельных узлов и ветвей могут выбираться независимо и нет необходимости накладывать ограничения на их выбор. Предлагаемый принцип описания динамического характера сети связи как серии «фотографических снимков» реализован в простой модели, показывающей влияние изменений структуры на выбор маршрута передачи информации. Рассмотрим пример описания фрагмента сети связи, показанного на рис. 1. Для формализации обработки данных сведения о структуре фрагмента сгруппированы в виде табл. 1 с пронумерованными в первом столбце строками.

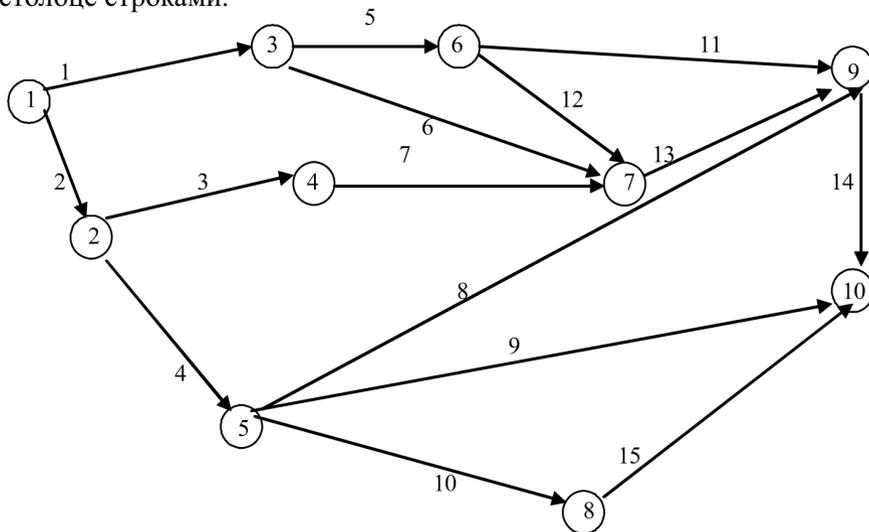


Рис. 1. Фрагмент сети связи

Во втором столбце приведен вектор, названный $OKBET(n)$. Номер строки этого вектора соответствует номеру ветви фрагмента сети. Значения элементов вектора показывают номер узла, в котором заканчивается ветвь. В третьем, четвертом и пятом столбцах показана матрица каналов $MK(m, n)$. Количество строк в ней должно быть на 1 меньше числа узлов (вершин), а количество столбцов соответствовать максимальному числу исходящих из узлов ветвей. В строках матрицы $MK(m, n)$ показаны номера ветвей, исходящих из узла, номер которого равен номеру строки матрицы. Например, в первой строке стоит последовательность значений 1, 2, 0. Это значит, что из первого узла выходят ветви с номерами 1 и 2. Других ветвей нет, поэтому в пятом столбце указан 0. В шестом столбце размещается вектор $JMAX(m)$. Для него номер строки соответствует номеру узла фрагмента сети. Значения элементов вектора показывают количество ветвей, исходящих из узла.

Таблица 1

Сведения о структуре фрагмента сети связи

| № | OKBET | MK | MK | MK | JMAX |
|----|-------|----|----|----|------|
| 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 4 | 0 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 0 | 2 |
| 4 | 5 | 7 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 3 |
| 6 | 7 | 11 | 12 | 0 | 2 |
| 7 | 7 | 13 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 9 | 15 | 0 | 0 | 1 |
| 9 | 10 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 8 | | | | 0 |
| 11 | 9 | | | | |
| 12 | 7 | | | | |
| 13 | 9 | | | | |
| 14 | 10 | | | | |
| 15 | 10 | | | | |

Алгоритм моделирования предполагает последовательный просмотр вершин сети для выбора маршрута с учетом помех в канале передачи данных. Матрица $MK(m, n)$ позволяет определить исходящие ветви, а вектор $JMAX(m)$ позволяет организовать цикл просмотра по всем исходящим ветвям. Вершина, в которую попадет передаваемое сообщение, определяется по вектору $OKBET(n)$. Структурная схема алгоритма моделирования приведена на рис. 2.

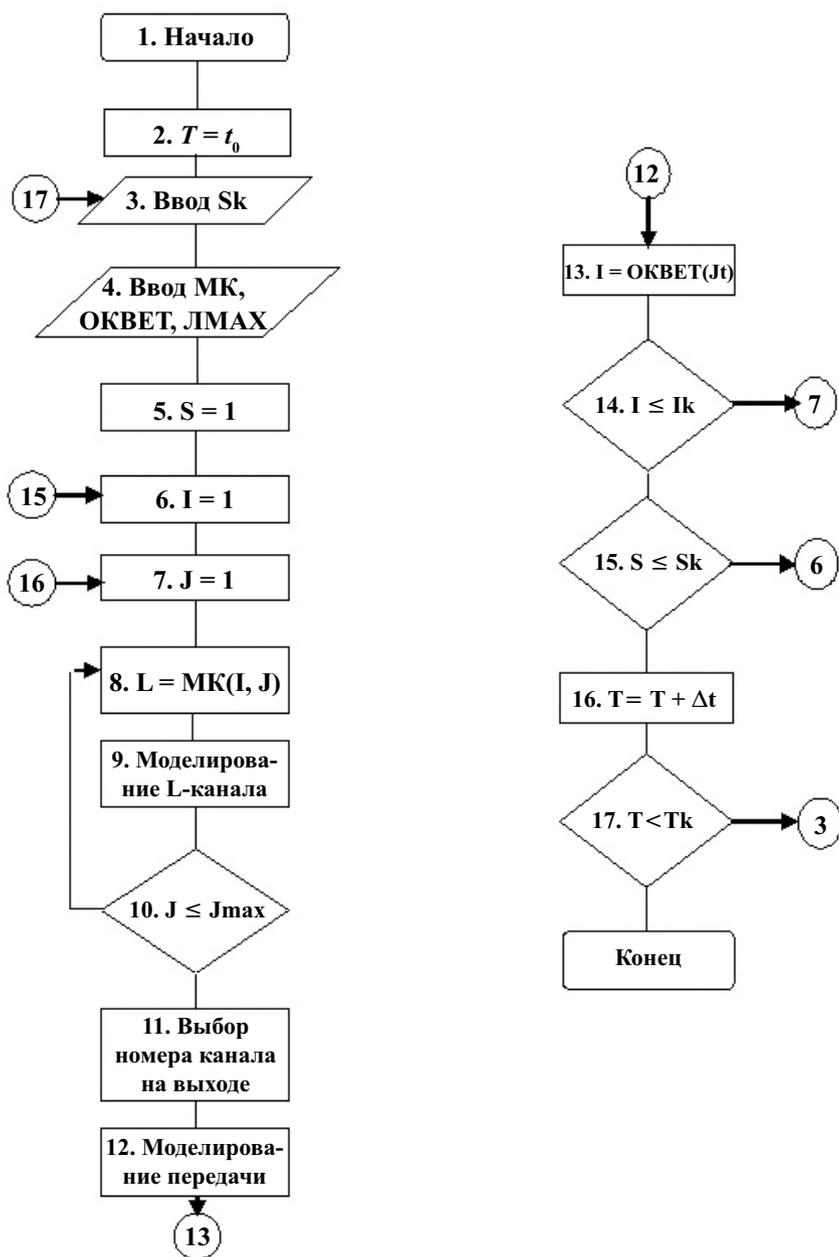


Рис. 2. Структурная схема алгоритма моделирования

Алгоритм моделирования содержит блоки моделирования измерений по оценке состояния канала передачи данных (моделирование L -ветви), выбора номера ветви для дальнейшей передачи (выбор номера канала на выходе), моделирования передачи данных в отдельной ветви (моделирование передачи).

Моделируется передача Sk сообщений, текущий номер сообщения – S . Номер текущей вершины – I , номер конечной вершины – Ik . Обозначение J показывает номер ветви графа. Величина Jt обозначает ветвь, по которой ведется передача данных

В табл. 2 показаны результаты моделирования десяти состояний сети, содержащей 16 вершин, и приведены номера вершин, по которым передаются сообщения в каждом из промоделированных состояний.

Таблица 2

Результаты моделирования

| 1 var $T = t_0$ | 2 var $T = t_0 + \Delta t$ | 3 var $T = t_0 + 2\Delta t$ | 4 var $T = t_0 + 3\Delta t$ | 5 var $T = t_0 + 4\Delta t$ | 6 var $T = t_0 + 5\Delta t$ | 7 var $T = t_0 + 6\Delta t$ | 8 var $T = t_0 + 7\Delta t$ | 9 var $T = t_0 + 8\Delta t$ | 10 var $T = t_0 + 9\Delta t$ |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 7 | 6 | 7 | 7 |
| 10 | 10 | 11 | 10 | 9 | 9 | 10 | 9 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 13 | 14 | 13 | 14 | 15 | 13 | 15 | 14 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования показывают, что предлагаемый алгоритм позволяет организовать взаимодействие имитационных моделей и процедур подготовки данных о переменной структуре фрагмента сети, представленного ориентированным графом, отразить динамические изменения в структуре ветвей и узлов графа. Содержимое матриц и векторов динамически вводится в память в процессе моделирования. Алгоритм увеличивает степень адекватности описания сети связи, позволяет промоделировать возмущающие воздействия в сети и сделать прогноз поведения сети при увеличении нагрузки и изменении условий передачи.

Расширение возможностей предлагаемого метода моделирования динамических свойств сети связи можно выполнить, если сделать изменения модельного времени передачи информации и изменения структуры фрагмента сети связи независимыми, т.е. подчинить закон изменения элементов фрагмента сети внешним обстоятельствам, как это и происходит в реальных системах. Для этого необходимо провести разделение процедур имитации передачи сообщений и процедур ввода элементов описания сети.

В рамках структурной схемы алгоритма необходимо добавить отдельный цикл управления изменением сети и ввести процедуру считывания параметров сети из внутренних файлов, содержимое которых изменяется независимо от процедуры моделирования передачи сообщений. Очевидно, что придется контролировать изменение модельного времени при имитации процесса передачи и интервалы изменения состояния сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука. – М., 1978.
2. Антонова Г.М. Моделирование передачи данных по коротковолновым радиоканалам с замираниями, Деп. в Информ-прибор: ДР4892-пр90, 1990.
3. Антонова Г.М., Титов А.П. Моделирование информационных потоков в электронном государстве / Труды 5-й Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Том 2. – СПб., 2011.
4. Антонова Г.М., Титов А.П. Моделирование систем передачи данных для решения задач электронного государства / Труды Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию социально-экономических систем. – М., 2012.
5. Кокшенов В.В. Выбор тайм-аута для подтверждения управляющей процедуры протокола транспортного уровня в однозвенном детерминированном тракте с очередями / В сб. Материалы 10-й Всерос. науч.-практ. конфер. с междунар. участием. – Томск, 2011, ч.1.
6. Nakagami M. The m distribution a general formula of intensity Distribution of rapid fading. Statistical Methods in Radio Wave Propagation. – New-York, 1960.

УДК 378.02

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ВЕБ-КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

*М.А. Николаев,
аспирант,
Физико-энергетический институт, г. Обнинск
E-mail: M.A.Nickolaev@gmail.com*

Аннотация. Представляемая работа посвящена теоретическим и практическим вопросам создания вычислительного веб-комплекса (отраслевого или корпоративного сайта), предназначенного для решения задач теплофизической оптимизации ЯЭУ.

Ключевые слова: информационная система, веб-комплекс, расчетный сервер.

Abstract. The presented work is devoted to theoretical and practical aspects of creating a web computing complex (branch or corporate site), designed for solving optimization thermophysical AMP.

Keywords: information system, web-complex, calculation server.

Статья посвящена вопросам создания вычислительного веб-комплекса (сайта), предназначенного для решения задач теплофизической оптимизации ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Теоретический аспект рассматриваемой задачи заключается в следующем:

- разработка унифицированной архитектуры и технологии (программных шаблонов) накопления и интеграции различных вычислительных кодов как веб-приложений и веб-сервисов, обеспечивающих удаленный доступ к вычислительным ресурсам;
- инфологический анализ структуры данных и алгоритмов в задачах теплофизической оптимизации ЯЭУ для проектирования соответствующих унифицированных баз данных и программных шаблонов;
- разработка и реализация посредством указанной технологии ряда методик многопараметрической оптимизации ЯЭУ.

Практическая цель разработки состоит в организационно-технологическом усовершенствовании процедур теплофизической оптимизации ЯЭУ, обеспечивающим:

- организацию вариантных проектных расчетов с сохранением исходных данных и результатов в базе данных;
- удаленный доступ специалистов к вычислительным ресурсам, методическим материалам и стандартам;
- согласованность исходных данных в рамках конкретного проекта;
- накопление материалов по истории и версиям проекта;
- постоянную доступность обновлений программ и баз данных непосредственно после актуализации;
- упрощение валидации и верификации программных продуктов на основе сравнительных расчетов в едином информационном пространстве;
- обеспечение доступа к «унаследованному» программному обеспечению;
- использование всеми пользователями общего сертифицированного и верифицированного массива библиотек констант и стандартных справочных данных;
- автоматическую сверку исходных данных для гарантированной согласованности результатов, получаемых различными группами расчетчиков в рамках одного проекта;
- доступ заинтересованной общественности к методикам и результатам обоснования инновационных проектов в сфере ядерной энергетики;
- дистанционное обучение методикам теплофизической оптимизации ЯЭУ.

Очевидно, реализация перечисленных возможностей дает новое качество в организации и эффективности любых проектных расчетов. Теплофизическая оптимизация выбрана для первоочередной реализации как главная задача проектирования ядерных энергетических установок, определяющая их экономичность, безопасность и эксплуатационную эффективность. Теплофизический анализ отдельных проектов является частью технико-экономического моделирования в сфере энергетики. В настоящее время существует большое количество моделей развития энергетики и отдельных ее направлений. Часть из этих моделей реализована в соответствующих программных кодах. Модели различаются наборами используемых критериев, параметров и показателей (экономические, технические, термодинамические, социальные), степенью детальности описания предметной области, используют для анализа различные экономико-математические методы. Разнообразие моделей, методик и программ, применяемых различными группами специалистов для технико-экономического анализа в сфере энергетических прогнозов, создает проблему обоснования адекватности и согласованности

получаемых оценок. Такое обоснование можно провести только при условии совместного использования различных методик и программных комплексов при анализе конкретного проекта или сценария прогноза.

Необходимость учета большого числа независимых проектных переменных, проведение вычислений на базе различных программных кодов, первоначально не ориентированных на интегрированный согласованный расчет, необходимость сопоставления большого объема экспериментальных и расчетных данных создают организационные и вычислительные проблемы, связанные с получением гарантированно адекватных результатов моделирования и оптимизации.

В настоящее время появилась возможность усовершенствования организации проектных расчетов на основе концепции единого информационного пространства (ЕИП), в котором пользователи работают удаленно посредством веб-доступа. Эволюционно развивающееся единое информационное пространство проекта, реализованное в виде интернет-сайта (вычислительного веб-комплекса – ВВК), охватывает константные базы данных, методики и коды проектных расчетов, позволяет накапливать исходные данные и результаты вариантных расчетов для последующего анализа и сопоставления, предоставляет возможность добавления или реализации новых программных кодов.

Представляется, что «вычисления в интернете» должны стать одним из главных инструментов проектных расчетов. Это обусловлено объективной потребностью в переходе от удаленного доступа к удаленной обработке информации посредством кодов, локальная инсталляция которых нецелесообразна в силу эпизодической востребованности, излишней громоздкости или нехватки локальных ресурсов.

Не менее основательная мотивация развития вычислительных (моделирующих) веб-комплексов состоит в том, что они решают задачу сохранения и развития отраслевых знаний. Размещая на веб-сервере вычислительные ресурсы, ориентированные на поддержку проектных расчетов, мы обеспечиваем доступ к рабочему инструментарию той или отрасли науки и техники, получаем инструмент содержательного обучения специалистов соответствующего профиля и инструмент развития средств проектирования. Последнее обеспечивается компонентной архитектурой веб-технологий, предполагающей эволюционное наращивание фактографического и функционального содержания сайта. Эволюция фактографического и функционального наполнения вычислительного веб-сайта отражает развитие соответствующей отрасли знаний и на определенном

этапе приводит к возможности «интеллектуального саморазвития» сайта как усилиями специалистов, обнаруживающих при работе с фактами и алгоритмами, хранящимися на сайте, проблемные области и точки роста, так и путем применения программных средств «добычи знаний».

Все компоненты, необходимые для создания вычислительных веб-комплексов, доступны как открытое программное обеспечение. Накоплен определенный опыт создания ВВК [1–3]. С 2008 года интенсивно обсуждается и развивается концепция «облачных вычислений», трактуемая программное обеспечение как услугу, доступную на сервере провайдера через стандартный браузер. В простейшем случае – это веб-калькуляторы различной тематической направленности, позволяющие оперативно выполнять некоторые вычисления непосредственно в экранной форме браузера. Например, в работе [4] описана организация вычислений на сайте отдела патентов.

Более продвинутый уровень «облачных вычислений» – предоставление платформы, обеспечивающей как накопление, так и разработку программных продуктов, а также организацию сложных долговременных расчетов с сохранением результатов в базах данных. Создание таких тематических платформ в масштабах предприятия или отрасли является наиболее перспективным в плане обеспечения проектных, управленческих и научно-образовательных задач. Здесь целью является не достижение какой-либо экономии (обычная трактовка направленности облачных вычислений), а организация совместной работы для получения адекватных результатов в комплексных проектных расчетах.

Реализация указанных функций представляется естественным дополнением или развитием технологий PDM (Product Data Management – управление данными об изделии). Системы PDM обеспечивают совместную работу над проектными документами, но не менее востребовано проведение совместных согласованных расчетов (вычислительных экспериментов) различными группами специалистов. Например, конструктор в ЕИП проекта задает геометрию и материальный состав изделия, а теплофизик на основе этих данных определяет возможные температурные режимы, оперативно предоставляя результаты моделирования конструктору для внесения необходимых изменений. Еще более важен удаленный доступ в реальном времени к средствам моделирования, когда разные группы экспертов должны выполнить оперативный анализ и прогнозирование какой-либо эксплуатационной ситуации, например, на АЭС.

Системная организация ВВК может развиваться и модифицироваться по мере увеличения числа и масштаба задач, поддерживаемых сервером, на основе стандартных унифицированных решений [5–6]. В настоящее время завершено проектирование информационной архитектуры (базы данных) веб-комплекса. Разработаны основные пользовательские интерфейсы и унифицированный интерфейс для взаимодействия с ранее созданными консольными программами теплофизического расчета. Решены вопросы визуализации результатов расчетов средствами веб-браузера. Дальнейшая работа связана с инфологическим анализом, алгоритмической унификацией и программной реализацией на серверных языках опубликованных в научно-технической литературе (в частности, [7–10]) методик теплофизических расчетов и оптимизации применительно к различным типам ЯЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очков В.Ф., Яньков Г.Г. «Облачный» сервис по свойствам рабочих тел и материалов атомной энергетики. Автоматизация и ИТ в энергетике. – М., 2012.
2. Г. А. Тарнавский, С. Б. Жибинов, А. В. Алиев и др. Интернет-центр компьютерного моделирования в научных исследованиях и прикладном проектировании // Проблемы информатики. 2009. № 1.
3. Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач: Труды Всероссийской научной конференции. – М., 2008.
4. Юферов А.Г., Александров Е.С., Николаев М.А. Шаблон сайта отдела патентов. Препринт ФЭИ – 3207. – Обнинск, 2012.
5. Паршин Д.А., Юферов А.Г., Комиссаров С.А. Веб-интерфейс для Центра обработки данных. Препринт ФЭИ -3208. Обнинск, 2012.
6. Создание Web-решений высокой доступности на основе Microsoft Windows 2000 Server. – М., 2002.
7. Долгов В.Н. Оптимизация параметров судовых ядерных энергетических установок. – Л., 1980.
8. Кокорев Б.В., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. – М., 1990.
9. Рекомендации, правила, методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования энергетических установок. РТМ 1604.062-90. Физико-энергетический институт. – Обнинск, 1991.
10. Усынин Г.Б., Карабасов А.С., Чирков В.А. Оптимизационные модели реакторов на быстрых нейтронах. – М., 1981.

УДК 519.876.5

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ОТНОШЕНИЙ

*Н.В. Гришина**канд. техн. наук, доцент,**Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва**E-mail: Grishina.N@mfua.ru*

Аннотация. Задачей данной статьи является выявление нового подхода к обеспечению информационной безопасности субъекта информационных отношений как элемента единого информационного поля, в котором данный субъект реализует свои бизнес-процессы.

Ключевые слова: информационная безопасность, субъект информационных отношений, имитационное моделирование.

Abstract. The objective of this paper is to identify a new approach to information security subjects of information relations as part of a unified information space in which the entity exercises its business processes.

Keywords: information security, subjects of information relations, simulation.

В настоящее время обеспечение информационной безопасности (ИБ) обычно рассматривается как обеспечение защиты информации и информационной безопасности отдельных субъектов. Однако современные исследования доказывают необходимость более широкого взгляда на проблему информационной безопасности и рассмотрения новых факторов, имеющих влияние на субъект и его информационные потоки.

Выделим основные аспекты, обеспечивающие современное понимание проблем обеспечения информационной безопасности:

1. Происходящий в последние годы переход от рассмотрения проблем защиты информации к изучению проблем информационной безопасности. Это связано со смещением акцентов с вопросов обеспечения безопасности информации к проблемам информационной безопасно-

сти. То есть, помимо собственно защиты информации предприятий, организаций и фирм защиту этих субъектов информационных отношений от негативного воздействия информации, а также обеспечения требуемого качества информации, т. е. ее достоверности, надежности, релевантности, времени получения и т.п.

Рассмотренный подход был обоснован А.И. Алексенцевым, развит другими исследователями и в настоящее время является достаточно широко признанным, в частности, предлагаемым в современных учебных пособиях для студентов по специальностям «Организация и технология защиты информации» и «Комплексная защита объектов информатизации».

2. Переход от эмпирических подходов в области защиты информации и информационной безопасности к системно-концептуальным методам и от разработки новых средств защиты к методике построения на их основе комплексных систем защиты информации.

Многими современными исследователями в области задач информационной безопасности рассматривается как само понятие комплексности защиты информации и обеспечения информационной безопасности, так и проблемы комплексного построения систем защиты информации. Это связано с требованием создания единой концепции и применения системного подхода при проектировании и организации процессов обеспечения информационной безопасности.

3. Следующим направлением является изучение угроз информационных рисков и информационной безопасности для субъектов информационных отношений. Это направление включает в себя, в свою очередь, две составляющие: управление информационными рисками в целях обеспечения информационной безопасности в целом; анализ различных видов угроз защищаемой информации, включающий изучение источников, причин, обстоятельств и условий дестабилизирующего воздействия на информацию, а также каналов и методов несанкционированного доступа к ней. Вопросы общей теории информационных и, шире, коммерческих рисков, могут рассматриваться как отдельное направление исследований, включающее системный анализ межотраслевого института риска, который может исследоваться как с позиции права, так и экономики, и психологии в целях формирования единого понятия риска, удовлетворяющего требования различных точек зрения и специалистов разного профиля.

В настоящее время управление информационными рисками признается одним из важнейших вопросов обеспечения информационной

безопасности, а информационная сфера главным источником рисков бизнеса.

4. Большое значение придается также изучению временных и вероятностных характеристик процессов реализации угроз, а также разработке методики оценки эффективности применения комплексной системы противодействия угрозам на основе анализа рисков. При этом, однако, при оценках угроз большинство специалистов сосредотачивается на оценках рисков, связанных с неисправностями и ошибками информационных систем и персонала внутри предприятия, не учитывая других факторов, приведенных в п. 1.

5. В настоящее время проявляется тенденция создания целостных моделей угроз в рамках системного подхода и многофакторной оценки различных составляющих угроз, таких как причины обстоятельства и условия дестабилизирующего воздействия на информацию, источники, виды и способы такого воздействия, каналы и методы несанкционированного доступа к информации. Угрозы при этом подразделяются по видам, происхождению, предпосылкам возникновения, источникам проявления.

Изучение подходов к понятию угрозы, классификации угроз, показателей уязвимости, к которой может привести реализация конкретных угроз, моделирование оценки возникающего ущерба являются предметом внимания многих специалистов в области изучения проблем информационной безопасности. Анализ подхода к угрозам отечественными исследователями был начат с конца 1980-х – начала 1990-х гг. и может быть признан одной из первых и важнейших проблем обеспечения безопасности информации в период зарождения основ теории и методологии защиты в работах российских авторов.

Однако при этом приоритетное внимание уделяется анализу внутренних угроз безопасности информации, оставляя открытыми многие вопросы моделирования и оценки угроз информационной безопасности, возникающих при взаимодействии субъектов информационных отношений.

Несмотря на признание необходимости включения в общую модель обеспечения информационной безопасности бизнеса внешней среды, в том числе, важности ее мониторинга, анализа, накопления и обобщения знаний об окружении, причинно-следственных связях и отношениях, уделяется недостаточное внимание информационным рискам, возникающим при взаимодействии субъектов информационных отношений.

То есть, единое информационное пространство, в котором проис-

ходит взаимодействие отдельных субъектов информационных отношений, практически не принимается во внимание. Так же как и анализ конкурентной среды как поля для взаимодействия субъектов информационных отношений, нуждающихся в обеспечении информационной безопасности и анализ методов борьбы с конкурентной разведкой, который должен являться обязательной составляющей процессов обеспечения информационной безопасности при взаимодействии субъектов в конкурентном пространстве.

Рассмотрение информационного пространства с точки зрения взаимодействия субъектов информационных отношений приводит к представлению его в виде сложной системы процессов различной природы.

Проблемы обеспечения безопасности субъектов информационных отношений должны рассматриваться как многосоставные. Необходим анализ целого ряда факторов, среди которых:

- организационно-правовая составляющая – ряд аспектов, позволяющих сформировать концепцию информационной безопасности каждого из субъектов, включенного в информационную среду, а также реализовать на базе этой концепции комплекс организационных мер как основу комплексной системы защиты информации и создать нормативно-методическую базу, обеспечивающую их реализацию;

- техническая составляющая – совокупность инженерно-технических, программно-аппаратных и иных технических мер, средств и ресурсов, позволяющих реализовать принятую предприятием концепцию информационной безопасности.

Достижение целей деятельности субъекта информационных отношений осуществляется посредством совместной деятельности работников. Для обеспечения необходимого уровня взаимодействия между всеми участниками информационных отношений необходимо координировать эту деятельность и согласовывать ее, в том числе с проблемами обеспечения информационной безопасности субъектов.

Внешние отношения охватывают связи партнеров, конкурентов, клиентов и других субъектов информационного пространства между собой, включая государственные правоохранительные, контролирующие и другие органы, предприятия и учреждения.

Внутренние отношения – это связи, возникающие в рамках конкретного субъекта информационных отношений, образующиеся с момента приема сотрудника на работу и определяющие организацию служебного (внеслужебного) времени, выплату денежного содержания,

установление льгот и гарантий, увольнение сотрудника, а также связи с предприятием после увольнения.

Эти внутренние отношения могут существенно влиять на состояние единой конкурентной информационной среды, в которой происходит взаимодействие субъектов.

Эффективным инструментом анализа сложной системы может быть имитационное моделирование процессов, происходящих в ней. Здесь объектом моделирования будет единое информационное пространство, включающее субъекты информационных отношений и процессы взаимодействия между ними. При этом анализируются вопросы защиты информации, защиты от информации, обмена информацией, с целью обеспечения непрерывности бизнес-процессов субъекта.

Модель единого информационного пространства должна учитывать наиболее значимые факторы и процессы предметной области, быть адекватной предметной области, позволять отслеживать динамику изменения любого показателя во времени.

Целями моделирования могут быть:

- Анализ взаимодействия субъектов информационных отношений.
- Анализ возможных воздействий на субъект со стороны злоумышленника.
- Оценка и прогноз состояния субъекта информационных отношений (оценка текущей стратегии ИБ, определяемой набором используемых регуляторов).
- Анализ функционирования субъекта информационных отношений, определение возможных путей влияния на ситуацию (подбор потенциальных регуляторов).
- Сравнение различных вариантов развития субъекта, обусловленных альтернативными управленческими решениями (выбор между несколькими регуляторами и их различными сочетаниями).
- Оценка стоимости реализации различных сценариев стратегии ИБ и планирование расходов на обеспечение ИБ субъекта с целью обеспечения непрерывности бизнес-процессов.

ВЫВОДЫ:

1. На современном этапе необходимо оценивать информационную безопасность субъекта информационных отношений как элемента единого информационного пространства.

2. Имитационное моделирование процессов взаимодействия субъектов единого информационного пространства позволит проанализировать процессы взаимодействия субъектов, определить риск потери информации, риск получения неполной или недостоверной информации, риск получения дезинформации, риск использования информации другим субъектом, а также выявить и исследовать влияние различных факторов, определяющих качество организации и функционирования механизмов, обеспечивающих информационную безопасность субъектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексенцев А.И. Понятие и структура угроз защищаемой информации // Справочник секретаря и офис-менеджера. №6. 2003.
2. Андрианов В.В. Обеспечение информационной безопасности бизнеса. – М., 2011.
3. Гришина Н.В., Русецкая И.А. Анализ взаимодействия субъектов информационных отношений // Прикладная информатика. №3. 2012.
4. Носова Н.С. Конкурентная стратегия компании, или Маркетинговые методы конкурентной борьбы. – М., 2010.

УДК. 004.056.53

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*И.И. Медведев,
канд. техн. наук,
Воронежский институт МВД России
E-mail: medigor@yandex.ru*

Аннотация. В статье предлагаются и рассматриваются программно-технологические методы защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра и прослушивания.

Ключевые слова: компьютерная информация, меры защиты, методы защиты компьютерной информации, программно-технологический метод защиты компьютерной информации.

Abstract. The article proposes and discusses software-technological methods to protect computer information from unauthorized access.

Keywords: computer information, security measures, methods of protection a computer information, software-technological methods to protect computer information.

Достаточно часто возникает необходимость защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра или прослушивания. Для этого применяют различные меры. В [1] дается классификация мер, направленных на защиту информации: правовые, организационные и технические меры. В технической литературе встречаются и другие классификации, различающиеся между собой. Вот пример одной из наиболее развернутых классификаций мер защиты компьютерной информации: правовые, морально-этические, технологические, организационно-административные, физические, технические (аппаратные и программные). В технической литературе также часто вместо термина «меры» используют термин «методы».

В данной работе речь пойдет о программно-технологических методах защиты компьютерной информации. Применение именно такого термина, по мнению автора, обосновано следующими аргументами.

При программных методах защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра или прослушивания применяются специально разработанные программы, которые позволяют установить парольный доступ к файлу, папке, диску или даже к персональному компьютеру в целом и (или) разграничить полномочия пользователей. В последние годы применяются также различные программы, использующие методы стеганографии, при которых остается в тайне сам факт существования скрытой информации, которая прячется в различных медиафайлах. Следует отметить, что может применяться также и криптографическая защита информации, но она выделена в самостоятельный метод [2].

Отметим, что применение программных методов защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра (прослушивания) предполагает умение пользователей работать с этим специальным программным обеспечением, в противном случае требуется соответствующее обучение. Кроме этого, определенные затраты требуются и на приобретение этого специального программного обеспечения.

В то же время применение программных методов не гарантирует абсолютную защиту от несанкционированного доступа и просмотра, поскольку непрерывно разрабатываются и совершенствуются программы по преодолению такой защиты.

Технологические методы защиты информации, в их традиционном понимании и применении в настоящее время, включают различного рода технологические решения и приемы, направленные на снижение вероятности совершения сотрудниками ошибок и нарушений. Это, например, использование процедур двойного ввода ответственной информации, санкционированное проведение ответственных операций, проверка соответствия реквизитов исходящих и входящих сообщений в системах коммуникации. Относительно термина «технология» отметим, что он имеет разные трактовки и трактуется как в широком смысле, так и в узком смысле [3]. Однако, по мнению автора, наиболее точным является следующее толкование этого термина: «Технология включает в себя методы, приемы, режим работы, последовательность операций и процедур, она тесно связана с применяемыми средствами, оборудованием, инструментами, используемыми материалами» [4]. Другими словами, технологическая защита подразумевает методику использования каких-то известных действий, связанных с организацией работы с защищаемой информацией, что вплотную приближает ее к организационно-административным мерам (методам), но не делает их эквивалентными.

Следует подчеркнуть, что программно-технологические методы защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра отличаются от чисто программных или технологических методов. При программно-технологических методах для защиты компьютерной информации применяются методы и приемы (т.е. соответствующая технология), использующие различные известные функции программных продуктов, предназначенные и направленные разработчиками не специально на прямую защиту информации, с которой работают эти программные продукты, а на выполнение каких-то других задач при работе с информацией. Другими словами, программно-технологические методы защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра (прослушивания) представляют собой совокупность технологических операций (действий пользователя) с использованием известных функций программного продукта, работающего с защищаемой информацией, для осуществления цели защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра (прослушивания). Т.е. в этом случае технологические операции тесно связаны с программным продуктом, предназначенным для работы с информацией данного вида.

Все вышеуказанное, по мнению автора, дает основание выделить программно-технологические методы защиты от несанкционированного просмотра (прослушивания) компьютерной информации в отдельную категорию.

Приведем несколько примеров применения программно-технологических методов защиты компьютерной информации от несанкционированного просмотра (прослушивания).

Для защиты текстовой информации (наиболее распространенный вид информации), подготовленной в текстовом редакторе MS Word, от просмотра посторонними пользователями можно применить один из очень простых приемов, использующий все известные функции текстового редактора MS Word – окрашивание текста в различные цвета. Если текст документа окрасить в белый цвет (цвет фона листа редактора MS Word, устанавливающийся в редакторе по умолчанию), то он становится «невидимым». Такой простой метод может легко применить любой пользователь персонального компьютера. Однако, несмотря на такой простой метод, текстовая информация защищается достаточно хорошо. Так, защищенная текстовая информация, содержащаяся в 5 из 10 представленных файлов, подготовленных в текстовом редакторе MS Word, осталась непрочитанной абсолютным большинством пользова-

телей (50 из 55 человек), участвующих в эксперименте, проведенном автором [5].

Этот простой метод можно разнообразить, например, так:

1. Окрашивать в белый цвет текст, требующий защиты, помещая его в конце документа, а в начале документа помещать текст, не требующий защиты, оставляя его черным, т.е. видимым.

2. Невидимый (белый) текст размещать между строк видимого текста. При этом размер букв невидимого текста следует устанавливать минимальным (1 кегль).

3. Невидимый (белый) текст размещать в колонтитулах.

4. Невидимый (белый) текст размещать в рисунках, размеры которых затем следует уменьшать до минимально возможных. Можно также «вкладывать» один рисунок в другой.

Могут применяться и другие приемы и способы, а также несколько приемов и способов вместе. Отметим, что количество программно-технологических приемов и способов достаточно велико, тем более что они могут применяться в различных комбинациях.

Как известно, кроме текстовых документов, подготовленных в текстовом редакторе MS Word, часто используются документы, подготовленные в табличном редакторе MS Excel. Здесь также можно использовать указанные выше программно-технологические методы.

В качестве примера применения программно-технологических методов для защиты звуковой компьютерной информации можно указать следующие приемы:

- уменьшение громкости звука на 50–60 дБ с использованием известной функции соответствующего звукового редактора;

- размещение в начале звуковой дорожки какой-либо звуковой информации, доступной для прослушивания, а затем защищаемой информации с уменьшенной громкостью на 50–60 дБ;

- использование функции «реверс» как только для защищаемого участка дорожки, так и для всей дорожки;

- использование функций компрессора и максимайзера и др.

Указанные приемы, также как в случае с текстовой информацией, основаны на известных функциях программ, работающих со звуковой информацией – звуковых редакторах. Отметим, что при защите звуковой информации количество программно-технологических приемов и способов также велико, тем более, если учесть, что они могут применяться в различных комбинациях.

Рассмотрим еще один программно-технологический метод защиты компьютерной информации, который может быть применен как для защиты текстовой или табличной информации, так и для защиты аудио- и видеоинформации. При этом методе используется «игра» с расширениями файлов.

Как известно, при создании файла ему присваиваются имя и расширение, причем обычно имя файлу дает пользователь, а расширение присваивается автоматически программой, в которой создается этот файл. Следует иметь в виду, что расширение является не обязательным элементом наименования файла, но желательным, так как именно по расширению файла компьютер определяет какая программа, из имеющихся на компьютере, должна быть запущена для работы с этим файлом. Если расширение отсутствует или имеет неправильный формат, то работа с файлом невозможна.

Таким образом, при использовании данного метода для защиты компьютерной информации пользователь должен заменить «свое» расширение файла на «чужое», которые своим файлам присваивают другие программы.

В заключение следует указать, что степень защиты конкретной компьютерной информации определяется видом примененных программно-технологических методов, их сложностью и количеством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об информации, информационных технологиях и о защите информации. Закон РФ от 27.07.2006. № 149-ФЗ.
2. ГОСТ Р 50922-2006. Национальный стандарт РФ. Защита информации. Основные термины и определения.
3. Словари и энциклопедии на Академике. [Электронный ресурс]. – URL: <http://dic.academic.ru/>.
4. Национальная философская энциклопедия: Технология. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.term.ru/dictionary/906/word/tehnologija>.
5. Медведев И.И. Об одном способе повышения информационной безопасности систем управления и связи ОВД // Международная научно-практическая конференция «Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии». 28–29 июня 2012 г. Воронежский институт МВД России. – Воронеж, 2012.

УДК 004.77

ОБ ИНТЕРНЕТ-РИСКАХ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СЕТЕЙ

*В.В. Арутюнов,
д-р техн. наук,
Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва
E-mail: warut698@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрена статистика компьютерных преступлений за последние десять лет, современные виды угроз для пользователей со стороны сети Интернет (с классификацией интернет-рисков для детей), различные типы интернет-зависимости.

Ключевые слова: защита информации, компьютерные преступления, информационная безопасность, угрозы информации, интернет-зависимость.

Abstract. The article presents the statistics of computer crimes in the last 10 years, the modern types of threats to users from the Internet (with the classification of Internet-risks for children), different types of Internet-addiction.

Keywords: data security, computer crimes, information security, threat information, Internet-addiction.

Стремительное развитие и проникновение за последнее десятилетие сети Интернет и современных информационных технологий (ИТ) во все сферы жизнедеятельности общества и индивидуумов привело к резкому увеличению числа пользователей глобальной сети: в 2011 г. их число в мире превысило 2 млрд, а в России – 50 млн (в апреле 2012 г. – 70 млн). При этом ряд исследователей отмечают [1, с. 34], что в 2005 г. в России наступила эпоха так называемого Интернета-2, когда и многие фирмы, и пользователи уже не представляют своей ежедневной деятельности без Интернета. Этот факт имеет и обратную, не столь положительную сторону: уязвимость современных информационных систем (ИС) и компьютерных сетей, к сожалению, не уменьшается.

По данным «Лаборатории Касперского», список стран, с территории которых осуществляется наибольшее количество хакерских атак,

по итогам 2010 г. выглядел следующим образом: США (27,57%), Россия (22,59%), Китай (12,84%) и Нидерланды (8,28%).

Только в 2005–2006 гг. было зафиксировано более 2 млн случаев компьютерного нападения на защищаемые ФСБ России ресурсы органов государственной власти РФ, в том числе свыше 300 тыс. атак на интернет-представительство Президента Российской Федерации.

По данным ассоциации интернет-экспертов при Carnegie Mellon University только в США в 2003 г. было совершено более 137 тыс. компьютерных преступлений, суммарный ущерб от которых составил 215 млрд долл. В 2004 г. эта сумма увеличилась до 411 млрд долл. А в 2011 г. ущерб, нанесенный только «цифровой крепости» Пентагона, насчитывавшей в 2010 г. около 15 тыс. компьютерных сетей и более 7 млн компьютеров, оценивался уже в триллион долларов.

В России в 2003 г. органами МВД было зафиксировано более 7 тыс. компьютерных преступлений, подпадающих в основном под действие статей 272–274 Уголовного кодекса РФ; в 2004 г. – уже около 15 тыс., в 2009 г. – более 17 тыс.

Если в США раскрывается более 80% таких преступлений, то в России раскрываемость подобных противоправных действий рекордно мала; например, в случае DDoS-атак выявляется примерно 1% злодеяний.

Угрозы со стороны сети для индивидуумов, фирм и других организаций можно свести к следующим основным, приводящим к возникновению интернет-рисков при работе пользователей в сети Интернет:

- использование классических компьютерных вирусов, троянских программ, интернет-червей, вредоносного программного обеспечения;
- неправомерные действия со стороны специалистов с использованием ИС;
 - спам;
 - DDoS-атаки;
 - финансовое мошенничество с использованием ИС.

Приведем некоторые факты.

В 2011 г. компьютерные вирусы «справляли» двойной юбилей. 60 лет назад в 1951 г. легендарный математик Д. фон Нейман доказал возможность создания таких программ. Спустя 30 лет в 1981 г. появился первый вредоносный программный компонент. В настоящее время о вирусах в России и в мире знают уже даже школьники младших классов. Следует отметить, что если в начале XXI века каждую неделю в мире появлялось около 500 новых вирусов, то в 2008 г. ежеднев-

но – минимум 2000. При этом среди стран мира 1-е место в этой сфере вирусописательства занимает КНР, затем следуют Бразилия и Россия, на 4-м – Турция. Меньше всего пишут вирусов в Индии и Японии.

Если в начале XXI века в мире было известно несколько сот тысяч вирусов, то в 2012 г. их количество превысило 9 млн. В их числе и так называемый «вирус № 666», пагубно влияющий на психофизиологическое состояние ~30% пользователей. Этот вирус выдает на экран особую цветовую комбинацию, приводящую человека в состояние гипнотического транса, и вызывает подсознательное его восприятие, резко меняющее функционирование сердечно-сосудистой системы человека вплоть до блокирования сосудов головного мозга.

В наше время вирусы проникли и в смартфоны: число их уже перевалило за тысячу.

Ниже перечислены основные характерные черты, которые наиболее четко проявились за последние годы в распространении вирусов:

- активное использование всевозможных уязвимостей в различных операционных системах и программном обеспечении;
- использование в одном вирусе нескольких разновидностей: «стелс», полиморфных, «троянов»;
- создание гигантской сети «зомби-машин», позволяющих проводить массовые атаки и рассылки копий вируса;
- рассылка сообщений по электронной почте с целью привлечения пользователей на зараженные сайты;
- фактическое выделение троянских прокси-серверов в отдельный класс, тесно связанный в том числе с рассылкой спама;
- рассылка вирусов в виде архивов (например, Bagle, NetSky);
- рассылка вирусов в виде закрытых паролем архивов с указанием пароля в тексте письма либо в виде картинки (Bagle);
- активное использование социального инжиниринга.

Доля неправомерных действий со стороны сотрудников с использованием ИС, по различным оценкам, составляет 60–70 % от числа всех угроз.

По данным российской Национальной коалиции против спама, уже в 2005 г. письма спамеров составляли до 70% объема электронной почты в мире – это 20 млрд писем ежедневно. По некоторым оценкам, ущерб во всем мире от действий спамеров только в 2005 г. достиг 9–10 млрд долл., а в России – 300–400 млн долл. Согласно данным отчета (2008 г.) Marshal Threat Research and Content Engineering (TRACE) каждый час в мире рассылается около 7,8 млрд писем, содержащих спам.

Все чаще DDoS-атаки в сети (Distributed Denial of Service – распределенная атака типа «отказ в обслуживании») становятся инструментом политического давления и устранения конкурентов. Заказчик едва ли много заработает, например, на поломке сайта; основная цель DDoS-атаки – помешать получать деньги жертве атаки, сделав невозможным доступ к электронным ресурсам системы жертвы для легитимных пользователей.

В настоящее время к наиболее распространенным преступлениям в России в сфере ИТ относят мошенничества, совершенные с использованием средств вычислительной техники в кредитно-финансовой сфере, – они зафиксированы в трети регионов России. Ущерб от этих преступлений ежегодно превышает десятки миллиардов рублей. В 2010 г. в России ежедневно происходило 60–70 случаев взлома интернет-банкинга. Если в 2004 г. только в результате мошенничества с кредитными картами российские банки понесли убытки в размере 20 млн долл., то в 2010 г. злоумышленники вывели с российских счетов уже ~ 2,5 млрд долл.

Среди интернет-рисков для детей российский Фонд развития Интернет по результатам многолетних опросов школьников и родителей выделяет пять категорий [2, с. 41].

На первом месте коммуникационные – они связаны с общением в Интернете. Многие дети жалуются на агрессию по отношению к себе, оскорбления от других пользователей, домогательства. На втором месте компьютерные вирусы; на третьем – контентные (порнография, распространение наркотиков, пропаганда ненависти, жестокости и экстремизма). Далее идут потребительские риски, когда под различными предложениями детей вынуждают подключаться к платным услугам. И, наконец, на пятом – интернет-зависимость. Эта зависимость была обнаружена еще в 1990-х годах XX века как новый вид психического расстройства. Как выяснилось, сетевая зависимость у представительниц прекрасного пола встречается практически в два раза чаще, чем у представителей противоположного пола [3, с. 116]. По результатам исследований в 2012 г. интернет-зависимыми признано 10% населения земного шара, при этом 70% из них – представительницы слабого пола.

Психиатры выделяют пять типов интернет-зависимости: *киберсекс (любовь к порносайтам), виртуальные знакомства, игры на деньги, ролевые онлайн-игры и интернет-серфинг (бездумное перелистывание страниц)*.

На одном из ежегодных совещаний Американской психологической ассоциации была рассказано о женщине, которая развелась со своим мужем, чтобы у нее больше времени оставалось на Интернет. Когда муж предъявил ультиматум: «либо компьютер, либо я», дама выбрала компьютер. А в России в 2012 г. сын зарезал мать, которая мешала ему играть в «стрелялки».

Психологи ставят больных, страдающих сетевой зависимостью, на одну доску с алкоголиками и наркоманами. Для больных сетевой зависимостью в Америке была создана специальная служба психологической помощи.

Как отмечают российские и зарубежные эксперты, идеально «чистый» Интернет, лишенный рисков, практически невозможен. Но можно пытаться максимально снизить их. Для этого необходимо реализовать комплекс мер: создание фильтров в поисковых системах, о чем должны позаботиться в первую очередь их владельцы; возможна организация фильтров негативного интернет-контента на государственном уровне; необходимо широкое развитие и внедрение антивирусных технологий; активная реализация функций родительского контроля (например, при использовании антивирусного программного продукта Kaspersky Internet Security) и, конечно, надо учить детей правильному общению и работе в сети Интернет.

Как научить элементарным навыкам безопасности при работе во Всемирной паутине, сегодня знают далеко даже не все школьные преподаватели информатики. Каждый преподаватель пытается использовать в повседневной работе в сети в основном собственные знания и представления о Всемирной паутине, которые часто далеки от современных. Проблема, как считают многие педагоги и специалисты, в том числе в отсутствии образовательной программы по интернет-технологиям на государственном уровне.

Что касается вузов, то в них целесообразно предусмотреть преподавание на факультетах информатики специального курса по современным методам и средствам снижения интернет-рисков при работе в сети или, как это предлагалось в работе [4, с. 24], курса «Современные инновационные технологии». В рамках этого курса необходимо знакомить студентов с основами защиты информации при использовании Национальной программной платформы, семантических технологий, облачных вычислений, современных мобильных компьютерных платформ, а также с инновационными технологиями проведения общественной экспертизы государственно значимых решений [5, с. 95].

ЛИТЕРАТУРА

1. Земсков А.И., Шрайберг Я.Л. Электронная информация и электронные ресурсы. – М., 2007.
2. Аргументы и факты. № 24. 2012.
3. Арутюнов В.В. Типология и особенности современных коммуникаций в работе библиотек. – М., 2009.
4. Арутюнов В.В. Опыт реализации специальных курсов по информационным технологиям и защите информации. НТИ, сер. 1, № 3. 2012.
5. Инновационные технологии проведения общественной экспертизы государственно значимых решений в общественных слушаниях с применением «высоких» технологий: учебно-методическое пособие / Л.А. Василенко, Г.Г. Гришина, А.Н. Павлов, Т. Е. Сафонова и др. / Под ред. Л.А. Василенко, Т. Е. Сафоновой. – М., 2010.

УДК 004.732.0569(075.8)

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ДОМЕНАХ ИНТЕРНЕТ**

В.Д. Ларичев,
д-р юрид. наук, профессор, главный научный сотрудник,
ВНИИ МВД РФ, г. Москва

Г.Е. Шепитько,
д-р техн. наук, профессор кафедры защиты информации,
Московский финансово-юридический университет МФЮА

Аннотация. В статье обсуждается возможность использования зарубежного опыта для введения регулирования сети Интернет в России.

Ключевые слова: национальный домен, регулирование услуг Интернета, правовая защита, авторское право, детская порнография.

Abstract. The possibility of using foreign experience for the introduction of regulation of the Internet in Russia is discussed.

Keywords: national domain, regulation of Internet service, legal protection, copyright, child pornography.

Многие законопослушные пользователи Интернета в России высказывают недовольство правовым беспределом в этой коммуникационной сети: авторы книг и аудио-видеопроизведений – контрафактом; бизнесмены – отсутствием гарантий защиты транзакций от мошенничества; политики – грязными методами информационной войны, обычные граждане – потоком спама; родители – незащищенностью их детей в Интернете. Фантазеры предрекают печальное будущее государств из-за последствий интернетизации [2, с. 4]. Однако представители органов государственной власти РФ с оглядкой на реакцию западной прессы не торопятся наводить порядок на этом правовом поле.

В дискуссиях вокруг Интернета специалисты сталкиваются с большим количеством демагогов, которые говорят о зоне, свободной от всякого регулирования и контроля, оперируют такими терминами как гласность, свобода слова, свобода доступа к информации, а на самом деле потакают нарушителям. Пользователи имеют право на защиту от агрессивного контента, от зло-

умышленников всех мастей, которым до сих пор уютно в этом нерегулируемом пространстве Интернет. Защищаться и быть защищенным от всей этой накипи – неотъемлемое конституционное право человека и гражданина.

Целью данной работы является демонстрация возможности регулирования национальных доменов РФ на основе зарубежного опыта.

В качестве общего подхода к регулированию отношений в сети Интернет целесообразно установить принцип: все, что запрещено или ограничено в обычных отношениях, должно быть запрещено или ограничено в киберпространстве.

Во Франции одно из самых точно сформулированных и жестких законодательств по отношению к контрафактному использованию объектов авторских и смежных прав в Интернете.

В 2000 г. Сенат Франции утвердил законопроект, предписывающий провайдерам сообщать сведения об авторах сайтов любому заинтересованному третьему лицу под страхом тюрьмы. Согласно закону, все авторы сайтов, размещаемых на французских серверах, должны представлять свои личные данные провайдерам до того, как сайт появится в сети. За предоставление неполных или неверных сведений о себе они будут наказаны тюремным заключением на полгода.

С 2010 г. французские власти получили право на полную прослушку трафика, а также на оповещение по электронной почте тех, кто активно скачивает из сети пиратские программы и мультимедийный контент в файлообменных сетях. Закон предусматривает, что «пираты», игнорирующие предупреждения по электронной почте, могут потерять доступ к сети сроком на год, кроме того в ряде случаев предусмотрен штраф до 300 тыс. евро или даже тюремное заключение.

Известно, что французский опыт идентификации пользователей перенимает Германия. «Закон о защите авторских прав» (Urheberrechtsgesetz) вступил в силу в 2007 г. Параграф 106 Закона об авторском праве ФРГ («Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte – UrhG») предусматривает тюремное заключение сроком до трех лет или денежное наказание тому, кто без разрешения правообладателя копирует из Интернета какую-либо медиапродукцию.

В США обсуждается Международное соглашения по борьбе с контрафактной продукцией (англ. The Anti-Counterfeiting Trade Agreement (ACTA)). Указанное соглашение позволит работникам таможи досматривать ноутбуки, MP3-плееры и сотовые телефоны на предмет хранения в них файлов, связанных с нарушением закона об авторском праве.

В условиях российской действительности можно обезопасить себя от интернет-воровства интеллектуальной собственности в том случае, если вы открыли свой сайт, написали книгу, рассказ или, например, загрузили фотографию:

- установите знак Копирайт Copyright © ;
- для защиты своего сайта зарегистрируйте его название в виде товарного знака (товарной марки);
- передайте на депонирование отсканированные страницы текста, изображения, внешнего вида оформления сайта или иной контент, и получите Свидетельство о регистрации прав (Роспатент, Российское авторское общество и др.);
- заключите лицензионный договор с автором или несколькими авторами контента. Таким образом, вы автоматически становитесь правообладателем;
- разместите на сайте пользовательское соглашение.

Особую опасность представляет бурно растущая преступность в сфере электронной коммерции [1, с. 32]. Все больше граждан пользуется интернет-банкингом, имеет электронные счета. Они хотят иметь четкую законодательную гарантию, что все их транзакции будут защищены. При этом отказ от анонимности продавцов и покупателей во многом предотвратит интернет-мошенничество.

Анонимность пользователей, которые знакомятся с (потенциально) незаконным контентом, может быть сохранена. Однако их IP-адреса должны регистрироваться, чтобы сделать возможным судебное преследование подозреваемых.

Регистрация в белорусской зоне Интернета доменных имен первого порядка позволяет контролировать деятельность предприятий электронной торговли. Кроме того, в случае возникновения претензий покупатели смогут обратиться не в виртуальный магазин, а непосредственно к его владельцам. Согласно закону, например, поставщиков интернет-услуг обязали осуществлять идентификацию абонентских устройств при оказании интернет-услуг, вести учет и хранение сведений об абонентских устройствах, а также сведений об оказанных интернет-услугах.

В части проведения информационных войн в Интернете произошло знаковое событие: Соединенные Штаты Америки выделили в 2011 г. 25 млн долл. на помощь пользователям Интернета, на которых оказывают давление авторитарные режимы.

Особую опасность представляет «астротерфинг» – создание искусственного общественного мнения. Анонимность Интернета дает компаниям и правительствам блестящие возможности для астротерфинга – фальшивых массовых кампаний, создающих впечатление, будто масса народу требует определенного политического курса, либо выступает против него.

Концепция проекта, разработанного Европейской комиссией, предусматривает не только блокирование контента, запрещенного законом и угрожающего национальной безопасности, но также будет производиться полное блокирование содержания, которое считается спорным или нежелательным [4, с. 1].

В модельном законе СНГ указано, что Национальный регистратор принимает такие правила регистрации доменных имен второго уровня в национальном сегменте Интернета, которые позволяли бы аннулировать регистрации доменных имен, нарушающих национальное законодательство или публичный порядок других государств либо используемых администратором домена для осуществления деятельности, запрещенной национальным законодательством стран СНГ. В частности, статья 13 гласит: Государство принимает законодательные и иные меры в целях противодействия использованию Интернета в противоправных целях. В указанных целях государство устанавливает обязанность операторов услуг Интернета хранить информацию о пользователях и об оказанных им услугах не менее 12 месяцев и предоставлять сведения по запросу судебных и (или) правоохранительных органов [6, с. 4].

Представляется разумным требование ряда должностных лиц Министерства печати РФ приравнять сайты Интернета к средствам массовой информации [5, с. 40], например, при более 1000 посещениях их в сутки.

Кроме того, посетители пунктов коллективного пользования Интернетом будут, вероятно, предъявлять паспорт. На такой шаг пошли в Франции и Германии. Потому что соображения безопасности оказались важнее некоторых неудобств для посетителей.

По оценкам компании «Яндекс», уже сегодня 60–70% писем электронной почты представляют собой спам. Получение спама приводит пользователей российского Интернета к убыткам, превышающим 200 млн долл. в год. Только частные Интернет-пользователи России ежегодно платят совокупный «налог на спам» порядка 120 млн долл.

Группа депутатов от «Единой России» внесла на рассмотрение нижней палаты парламента новую редакцию закона о рекламе, в которой предлагала предусмотреть материальную ответственность в виде

штрафа за рассылку спама без согласия получателя (в США по свежепринятому антиспамерскому законодательству спамеров штрафуют на миллионы и даже на миллиарды долларов). Поправка была отправлена на доработку после рассмотрения экспертами.

Необходимо регламентировать механизм ограничения доступа к информации по требованию пользователя путем введения обязательной защиты от спама в поисковых системах, национальных доменах и сайтах, а не перекладывать эту проблему только на пользователей.

Решения Европейского совета 2000/375/ЖНА от 29 мая 2000 г. и 2004/68/ЖНА от 22 декабря 2003 г. направлены на противодействие сексуальной эксплуатации детей и детской порнографии в Интернете. Оба предназначены для развития сотрудничества между государствами-участниками, кроме того, во втором документе описано минимально необходимое национальное законодательство по данному вопросу. Среди прочего, здесь указывается, что ответственность за безопасный доступ детей к Интернету несет непосредственно глава учебного заведения.

Государства – члены Евросоюза возлагают на себя обязательства удалять любую детскую порнографию, размещенную на их соответствующих территориях, а также сотрудничать с другими государствами, в которых такой контент размещается, на международном уровне.

Закон «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» Госдума и Совет Федерации РФ приняли еще в конце 2010 г. В июле 2012-го Совет Федерации на заседании верхней палаты парламента одобрил новый Федеральный закон, известный как «черный список сайтов». Теоретически он направлен на ограничение доступа подрастающего поколения к материалам, пропагандирующим наркоманию, педофилию и суициды, а также к другой информации, отрицательно влияющей на их здоровье и развитие. Предполагается создать «черный список», куда попадут сайты с детской порнографией, с пропагандой употребления, изготовления, сбыта наркотических средств и экстремистскими материалами. Решение о включении сайта в единую базу интернет-угроз будет принимать Роскомнадзор. «Закон о защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию», в части ограничения доступа к противоправной информации в Интернете вступил в силу 1 ноября 2012 г. Он предусматривает возможность блокировки сайтов по IP-адресам.

Практический интерес для пользователей представляет «Контентная фильтрация» – технология, обеспечивающая отсеивание порнографии, вирусов и спама. Одно из основных средств такой фильтрации – файр-

волы. Фильтрацией занимаются многие коммерческие компании в России и за рубежом – например, некоторые поисковые системы работают с включенными по умолчанию так называемыми «семейными фильтрами» (при желании их можно отключить).

Примером услуги по защите клиентов подключенных к сети «Демос-Интернет» и для использующих каналы доступа в Интернет от других провайдеров является в России «Чистый. Веб» [7, с. 1].

Для защиты российских пользователей от угроз в Интернете может быть предложена многоуровневая контентная фильтрация:

- первый уровень (внешний периметр Интернета) – международные и отечественные поисковые системы;
- домены первого уровня (РФ и RU) с использованием web-архивов для защиты авторских прав;
- домены второго уровня и ниже (сайты ведомств, организаций, предприятий);
- рабочие места пользователей.

Таким образом, в части регулирования национальных доменов мы отстаем от развитых стран по причине отсутствия должного правового обеспечения. Необходима, в первую очередь, воля государственной власти для преодоления этого отставания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларичев В.Д., Шепитько Г.Е., Яковлев А.Я. и др. Преступления, совершаемые с использованием электронных платежных документов // Законодательство и экономика. 2002, № 1.
2. Давидов М.И. Интернет и мир завтра, послезавтра. – Самара, 2009.
3. «Пиратство» в Германии. [Электронный ресурс] URL: <http://faq.germany.ru/Computers.db/items/53.html>
4. «Чистый Интернет» — угроза свободе Интернета? [Электронный ресурс] URL: <http://itogi-2012.ru/?p=3325>
5. СМИ и Интернет: проблемы правового регулирования / В.Н. Моныхов. – М., 2003.
6. Модельный Закон «Об основах регулирования Интернета». [Электронный ресурс] URL: http://www.russianlaw.net/law/general/t73/?print=news_view.tpl
7. Сетевая и информационная безопасность. [Электронный ресурс] URL: <http://security.demos.ru/>

УДК: 519.685

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ ВИДЕОМОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

А.Н. Алфимцев,
канд. техн. наук, доцент, Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
E-mail: alfim@bmstu.ru

Д.А. Локтев,
аспирант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
E-mail: loktevdan@yandex.ru

А.А. Локтев,
д-р физ.-мат. наук, доцент,
Московский государственный университет путей сообщения
E-mail: aaloktev@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается задача проектирования и реализации пользовательского интерфейса для управления мультикомпонентной системой видеомониторинга. Разработанные программные модули учитывают возможность влияния оператора-пользователя на различных этапах эксплуатации комплекса видеомониторинга и возможность встраивания системы безопасности предприятия или отдельно взятого объекта в более крупную систему обеспечения безопасности на транспорте, объектах инфраструктуры, зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: адаптивный пользовательский интерфейс, онтологический подход, графический интерфейс, окно-контейнер, система видеомониторинга.

Abstract. We consider the problem of designing and implementing the user interface, for control of multicomponents system of video monitoring. The developed software modules take into account the possible influence of the operator of the user at different stages of the operation of the monitoring and the ability to embed security system of the enterprise or single object within a larger system of ensuring safety of transport, infrastructure objects, buildings and constructions.

Keywords: adaptive user interface, the ontological approach, graphical interface, window container, system of the video monitoring.

В данной статье делается попытка учесть многие вопросы взаимодействия различных модулей в составе единой системы безопасности [1–2], которые позволяют проводить обработку информации в автоматическом или полуавтоматическом режиме на рабочем месте пользователя, администратора или специалиста службы безопасности [3]. Существенное внимание уделяется подпрограммам получения изображения подвижных и неподвижных объектов, как в помещении, так и вне его, формализация его с помощью постоянно обновляемой базы данных; визуального распознавания с помощью вычислительных алгоритмов, реализованных на языке написания сценариев; создания клиентских и серверных приложений, которые могли бы обрабатывать поступающую информацию и экспортироваться на другие рабочие станции компьютерной сети предприятия или внешних контрагентов [4–5]; создания шаблонов ситуационного интерфейса, которые могут модернизироваться под изменяющиеся задачи и объекты распознавания [6–7]. Отличительной особенностью настоящей работы также является и то, что полученные алгоритмы являются не только средством решения поставленных задач [8], но и самостоятельными объектами исследования, для которых определяются вычислительная сложность, оптимальность [9], сложность программной реализации на межсистемных платформах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Система контроля и управления доступом (СКУД) включает: считывающие устройства, устройства преграждающие управляемые, управляющее программное обеспечение, контроллеры и т.д. Одним из основных элементов такой системы являются процедуры и алгоритмы идентификации, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. На устройства распознавания объектов могут влиять условия окружающей среды, наличие очков, контактных линз, фоновых шумов, все это может привести к некорректному считыванию устройством информации. Поэтому наибольший интерес представляет распознавание и прослеживание объекта по всему его маршруту следования. Технологии распознавания лица хорошо работают со стандартными видеокамерами, которые транслируют данные и управляются персональным компьютером.

Для оценки возможностей средств наблюдения основными параметрами являются: фокусное расстояние, угол поля зрения и изображения, светосила, разрешение, частотно-контрастная характеристика.

В основе используемой в работе методики распознавания образов заложен алгоритм adaptive boosting (адаптивное усиление) или сокращенно AdaBoost [8]. Смысл алгоритма заключается в том, что если имеется набор эталонных объектов и множество простых классификаторов, то на основе их синтеза можно составить один более совершенный и мощный классификатор. При этом в процессе составления или обучения финального классификатора акцент делается на эталоны, которые распознаются «хуже».

AdaBoost вызывает слабый классификатор в цикле, после каждого вызова обновляется распределение весов D_t , которые отвечают важности каждого из объектов обучающего множества. На каждой итерации веса любого неверно классифицированного объекта возрастают, таким образом, новый классификатор «фокусирует свое внимание» на этих объектах и минимизирует взвешенную ошибку классификации:

$$h_t = \arg \min_{h_j \in H} \varepsilon_j, \text{ здесь } \varepsilon_t = \sum_{i=1}^m D_t(i) [y_i \neq h_j(x_i)], \quad (1)$$

ε_t – взвешенная ошибка классификатора h_t , если $\varepsilon_t \geq 0,5$, то выполнение алгоритма прекращается.

После этого строится результирующий классификатор

$$H(x) = \text{sign} \left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \right), \quad (2)$$

в котором $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \frac{1-\varepsilon_t}{\varepsilon_t}$.

Таким образом, после выбора оптимального классификатора h_t для распределения D_t , объекты x_j , которые классификатор h_t идентифицирует корректно, имеют веса меньше, чем объекты, идентифицируемые некорректно. Следовательно, когда алгоритм тестирует классификаторы на распределении D_{t+1} , он будет выбирать классификатор, который лучше идентифицирует объекты, неверно распознаваемые предыдущим классификатором. Для построения отдельных классификаторов используются примитивы Хаара [9].

Для управления описанными модулями в составе единой системы видеомониторинга предлагается использовать одну из разновидностей гра-

фического пользовательского интерфейса, WIMP-интерфейс («window, icon, menu, pointing device» – окно, значок, меню, манипулятор).

В общем случае, любое средство для создания графического интерфейса должно решать две главные задачи: сокращать цикл разработки (обладать производительностью) и обеспечивать защиту инвестиций в проект (минимизировать доработки) [2]. Для этого к таким интерфейсам предъявляются следующие требования: поддержка информационной технологии работы пользователя с программным продуктом; гибкость; мобильность; удобство сопровождения; многократное использование элементов экранных изображений (схем). При этом предлагается учитывать характеристики пользователей в качестве критериев интерфейсной адаптации [3–4]. Для максимальной производительности пользователя интерфейс должен быть удобным или эргономичным [5–6]. Эргономика интерфейса определяется очень простым способом: чем больше действий пользователь во время работы может выполнять одним устройством, тем он эргономичнее. Для создания пользовательского интерфейса необходимо продумать диалоги и задачи пользователя, WIMP-интерфейс, формирование текстов программы, применяемые графические сцены, а также связь разрабатываемого интерфейса с прикладной программой.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Подход, использующий онтологии для представления используемых при проектировании интерфейса понятий, позволяет более подробно и качественно описать проектируемый пользовательский интерфейс для дальнейшего его перевода в программный код, чем другие методологии. При применении онтологического подхода к автоматизации профессиональной деятельности необходимо выделить системы понятий, использующиеся специалистами рабочей группы при проектировании пользовательского интерфейса.

Структура системы понятий WIMP-интерфейсов состоит из множества элементов интерфейса [6]. Каждый элемент интерфейса определяется своим типом, множеством параметров, событий и функций. Основными элементами интерфейса, предназначенными для группировки элементов в связанные группы и представленные в виде прямоугольных областей экрана, являются элементы интерфейса типа «окно-контейнер». Элементы интерфейса, предназначенные для опе-

раций ввода/вывода данных и вызова команд, принадлежат типу «элемент управления», тип «вспомогательный элемент» используется для описания элементов интерфейсов двух предыдущих типов. С каждым элементом интерфейс связывается множество его событий, определяемых именем и множеством параметров. События определяют реакции элемента интерфейса при его взаимодействии с пользователем. Для описания множества возможных действий над элементом интерфейса используются функции. Каждая функция определяется именем, множеством параметров и типом возвращаемого значения.

Наиболее эффективным средством представления информации являются графические методы ее отображения, при этом используются графические сцены, которые состоят из базового графического изображения, простых и составных фрагментов и примитивов. Базовое графическое изображение (база) – произвольный графический рисунок, схема, эскиз и т.д., разбитый на фрагменты и являющийся основой для нанесения на него различных вспомогательных изображений. База имеет свою систему координат и локальное время заданного формата. Особую значимость эти атрибуты приобретают при описании маршрутов движения объектов (примитивов) по базе. База имеет следующие атрибуты: имя, образ, точка отсчета, формат времени. Примитив – вспомогательное изображение, наносимое на базовое изображение, для добавления нового графического объекта на сцену. После нанесения примитива на базу он может передвигаться по заданному маршруту и изменять свое изображение при пересечении каких-либо областей других примитивов. Примитив имеет следующие атрибуты: имя, свойства, координаты.

Любой диалог пользователя с программным средством ведется в соответствии с некоторым сценарием, который зависит от типа пользователей, их требований, функций прикладной программы и является, соответственно, компонентом пользовательского интерфейса. Система понятий, связанная со сценарием диалога, определяет множество возможных состояний диалога и действий, которые выполняются в каждом состоянии. Состояние диалога определяется событием, которое возникает в элементе интерфейса. Действия задают последовательность инструкций, которые выполняются в ходе реакции на событие.

При использовании онтологического подхода выделяются следующие системы понятий, в терминах которых осуществляется проектирование пользовательского интерфейса:

1) Модель онтологии системы понятий диалога (ОСПД) описывает структуру терминов системы понятий диалога в виде связей между ними.

2) Модель онтологии задач пользователя (ОЗП) описывает задачи, которые он может решить с помощью программного средства.

3) Модель онтологии WIMP-интерфейсов состоит из двух частей: элементы интерфейса типа «окно-контейнер» предназначены для группировки элементов интерфейса в семантически связанные группы; события элементов интерфейса $Events_i = \{Event_{ij}\}$ задают множество возможных реакций элемента интерфейса на события, возникающие в ходе взаимодействия с пользователем.

4) Модель онтологии для формирования текстов, которая позволяет строить и использовать текстовые фрагменты в пользовательском интерфейсе.

5) Модель онтологии графических статических и динамических сцен на плоскости, при описании этой модели используются следующие типы переменных: Z – множество всех целых чисел; N – множество всех натуральных чисел; R – множество всех действительных чисел; $Strings$ – множество всех строк; $Images$ – множество всех графических рисунков; $Colors$ – множество всех цветов; $Coords = \{(X, Y): X, Y \in Z\}$ – множество всех координат; $Bool$ – логический тип; $LineTypes$ – множество всех толщин линий; $Figures$ – множество всех геометрических фигур.

6) Модель онтологии сценария диалога (ОСД) – описывает начальное окно, которое появляется на экране монитора после запуска программного средства, структуру реакций на события, типы конструкций, доступных при описании реакций на события, типы инструкций, доступных при описании реакций на события, а также стандартные функции диалога.

7) Модель онтологии связи интерфейса с прикладной программой описывает структуру программных интерфейсов $Interfaces$, используемых при взаимодействии интерфейса и прикладной программы.

На рис. 1 схематически показана структура визуализации на основе онтологического подхода.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

На основе предложенной методики были разработаны и реализованы следующие компоненты интерфейса:

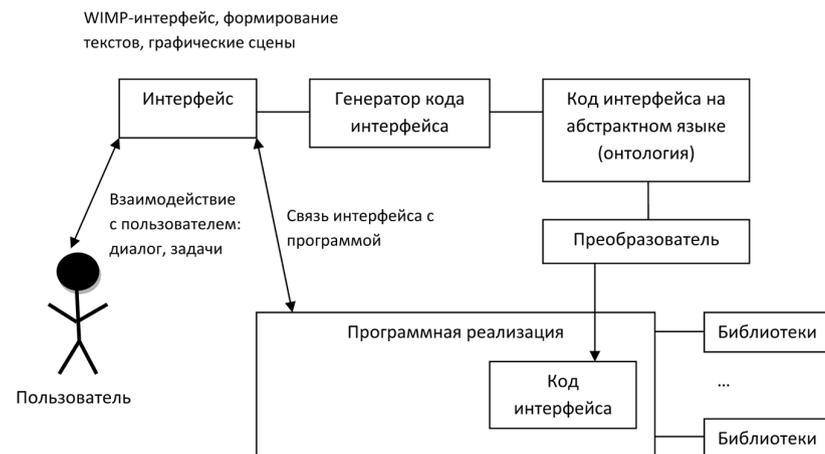


Рис. 1. Визуализация на основе онтологического подхода

1. Охраняемая территория делится на сектора, причем здание входит в отдельный сектор.

2. Представлено здание в 3D виде. Наружные камеры по фасадам, внутренние – по этажам. Можно выбрать или указателем, или путем ввода в командную строку номера интересующего участка.

3. Этаж с подсветкой номеров помещений-участков и номеров камер. Здесь же нужно, чтобы был показан уровень доступа в каждое помещение (возможно, подсветка по периметру).

4. Возможна организация картинок с камеры по помещениям и по маршрутам (вход – лифт – туалет, комната охраны – вход и т.д.).

5. Рабочие режимы, которые подстраиваются под охрану, в одном окне с сигнализацией об опасности, даже если окно закрыто.

6. При получении картинка с отдельной камеры распознанные и нераспознанные объекты выделяются по-разному. Показываются параметры нахождения объекта (время, где был (какими камерами был определен или номер помещения-участка)).

7. Когда появляется картинка с одной камеры или с нескольких, то работает режим распознавания. Возможно, несколько режимов: наблюдения, распознавания, анализа (сравнения), когда выводятся различные данные об объектах, в том числе и за предыдущие даты.

8. После работы с изображением одиночной камеры появляется возможность работы с БД.

9. В большинстве окон и модулях возможно ручное и автоматическое распознавание и вообще работа.

10. Ведется журнал log-данных всех происшествий, всех перемещений распознанных объектов (или отмеченных), а также всех действий оператора-охранника.

11. В случае нераспознавания объекта отдельные кадры съемки сохраняются, объект отмечается и передается от камеры к камере.

В первом окне (рис. 2) показан вид всей охраняемой территории: здания и окружающей его территории, который разбит на пронумерованные сегменты, причем здание относится к отдельному сегменту. Перейти в другое окно возможно с помощью кнопки «Перейти в другое окно» и дальнейшего ввода номера нужного окна в командную строку и нажатия «Enter» либо с помощью кнопок «Назад ←», «Вперед →».

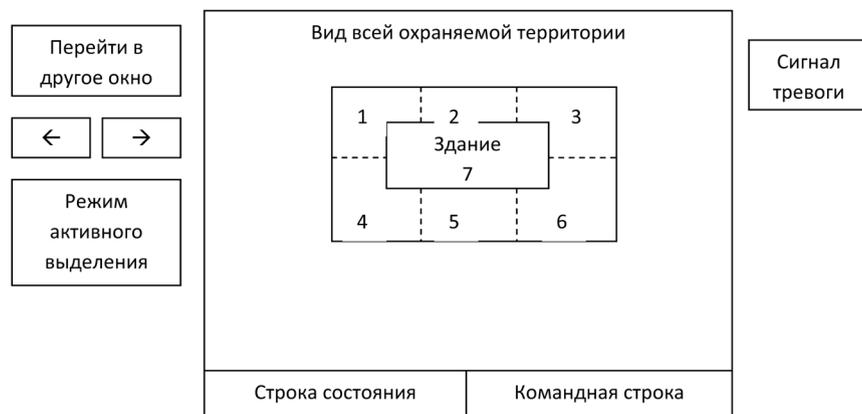


Рис. 2. Первое окно

Во втором окне представлен вид здания либо в нормальном режиме, либо в режиме моделирования (рис. 3), либо в режиме прозрачности.

В третьем показывается план выбранного ранее этажа здания с камерами. Возможно перейти к просмотру по камерам, по комнатам, по маршрутам. В четвертом окне (рис. 4) представлено множество камер в выбранной ранее комнате либо по выбранному ранее маршруту. После перехода на просмотр отдельной камеры применяется метод распознавания Виола-Джонса с применением примитивов Хаара.

Далее возможно 4 варианта развития событий:

1-й вариант: человек распознан как известный, при этом возможно выбрать любого из известных по номеру (если их несколько), просмотреть данные об этом человеке и управлять его доступом к помещениям.

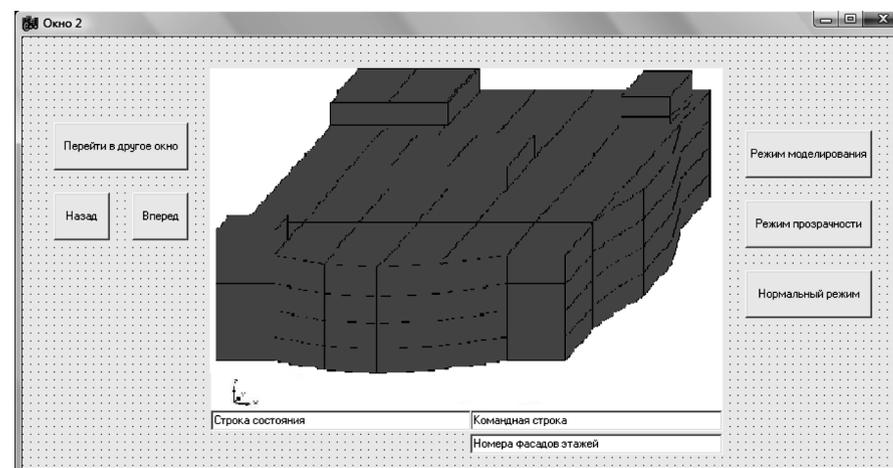


Рис. 3. Второе окно – режим моделирования здания



Рис. 4. Четвертое окно

2-й вариант: если человек распознан как неизвестный, то возможно выбрать любого из неизвестных по номеру (если их несколько), изменить освещение в комнате для попытки распознать его как известного либо внести в БД.

3-й вариант: есть входящие и не входящие в БД лица, при этом можно выбрать внесенные и не внесенные в БД объекты по номеру, изменить освещение, посмотреть данные об известном человеке (рис. 5).



Рис. 5. Пятое окно – распознанные и нераспознанные лица вместе

4-й вариант: распознавания не происходит, т.е. либо никаких объектов в поле зрения камеры нет, либо невозможно провести распознавание объекта. В этом случае возможно изменить освещение и попытаться распознать еще раз либо посмотреть соседние камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения исследований был рассмотрен состав и основные функции систем контроля и управления доступом, математически описанная используемая в данной работе методика, основанная на алгоритме распознавания образов adaptive boosting, который использует примитивы Хаара. Были перечислены требования к созданию пользовательских интерфейсов и задачи, которые они должны решать. На основе рассмотренного онтологического подхода к разработке человеко-машинного интерфейса и принципов построения пользовательских интерфейсов был спроектирован комплекс визуального распознавания объектов.

В работе был создан комплекс приложений, отвечающих за человеко-машинный интерфейс, который позволяет достаточно свободно вирту-

ально перемещаться пользователю по зданию от камеры к камере. Для тестирования приложения визуального распознавания объектов был использован видеоряд, полученный на конференции, проходившей в Московском государственном строительном университете. В ходе тестирования были распознаны многие объекты в виде лиц участников, были выполнены основные операции при работе с базами данных. Все вышеперечисленное позволяет надеяться на то, что система будет протестирована и в других условиях, а затем использована в жилых и общественных зданиях, объектах инфраструктуры и транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов О. Альтернативные интерфейсы // Компьютерное обозрение. №4, 1999.
2. Алфимцев А.Н., Девятков В.В. Интеллектуальные мультимодальные интерфейсы. – Калуга, 2011.
3. Костюк В.И., Ходаков В.Е. Системы отображения информации и инженерная психология – Киев, 1977.
4. Зинченко В.П., Моргунов Е.Б. Введение в практическую эргономику. – М., 1990.
5. Артемьева И.Л. Многоуровневые математические модели предметных областей // Искусственный интеллект, Т. 4, 2006.
6. Грибова В.В., Тарасов А.В. Модель онтологии предметной области «Графический пользовательский интерфейс» // Информатика и системы управления, №1(9), 2005.
7. Грибова В.В., Клещев А.С. Концепция разработки пользовательского интерфейса на основе онтологии // Вестник ДВО РАН, 2005. №6.
8. Bardram J. Collaboration, Coordination, and Computer Support: an activity theoretical approach to the design of Computer Supported Cooperative Work, Ph.D. thesis, University of Aarhus, 1998.
9. Langley P. User modeling in adaptive interfaces // Proc. of the Seventh Intern.Conf on User Modeling. 1997. P. 357–370.

УДК 004.931

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ

К.Н. Колюцкий,
 Московский финансово-юридический университет МФЮА
 E-mail: kolucki.k@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность оценки информативности признаков распознавания на основе нейросетевого решения. Приведены структура нейронной сети и особенности алгоритма, оценивающего информативность.

Ключевые слова: обучающая выборка, образец, функция активности.

Abstract. In article the possibility of an assessment of efficiency of signs of recognition on the basis of a neural network is considered. The structure of a neural network and feature of the algorithm estimating efficiency are resulted.

Keywords: training sample, the sample, function of activity.

В любой системе распознавания, где используется управляемое обучение, можно выделить два основных модуля: модуль обучения и модуль распознавания (классификации). В принципе, для любой модели модуль распознавания представляет собой некоторое решающее правило, найденное на этапе обучения системы. Например, для модели распознавания, основанной на нейронной сети, оно представляет собой правило, определяющее прямой проход по сети с учетом, найденных на этапе обучения коэффициентов матриц сети. Качество распознавания, обеспечиваемое модулем распознавания, определяется возможностями конкретной модели распознавания и степенью соответствия обучающей выборки (обучающего множества) реальным объектам внешнего мира. Чтобы система обладала свойством обобщения, набору учебных данных необходимо уделять большое внимание. Обучающая выборка для системы классификации, как правило, состоит из совокупности коллекций образцов, каждая из которых представляет определенный распознаваемый класс.

Рассмотрим в качестве примера систему, классифицирующую легальных пользователей некоторой корпоративной сети. С точки зрения систе-

мы каждый пользователь – это класс распознавания, который состоит из отдельных представителей этого класса (сеансов пользователя). На предварительном этапе обучения строится обучающая выборка – совокупность коллекций образцов, причем каждый образец представляет собой набор характеристик (значений) некоторых признаков, определенных для всей совокупности образцов. Т. е. под образцом будем понимать набор признаков, соответствующих некоторому сеансу легального пользователя. Вопрос оценки информативности признаков достаточно актуален, т. к. при низком качестве распознавания необходимо или искать другое решающее правило, или искать более информативную совокупность признаков.

Для оценки информативности признаков можно воспользоваться следующим нейросетевым решением. Предлагается структура сети, состоящая из следующих слоев:

- входной слой, распределяющий признаки к слою образцов;
- слой образцов, в котором представлены все образцы из обучающей выборки;
- слой классов распознавания;
- выходной слой – слой признаков, содержащий найденные оценки информативности.

Структура сети представлена на рис. 1.

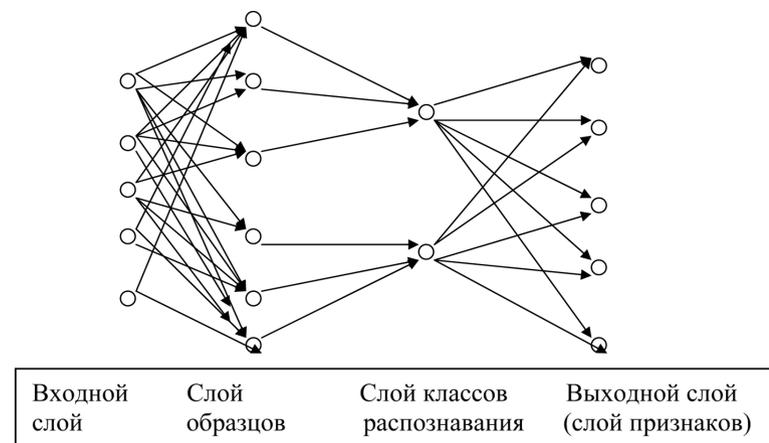


Рис. 1. Структура сети

Процедура оценки информативности будет заключаться в формировании выходного слоя в результате однократного последовательного предъявления

сети всех образцов обучающей выборки. Входной слой и слой образцов образуют полносвязную структуру. Размерность входного слоя определяется количеством признаков распознавания. Размерность слоя образцов определяется количеством образцов в обучающей выборке. Весовые значения связей, входящих в каждый элемент слоя образцов, устанавливаются равными значениям признаков соответствующего образца. Задача слоя образцов произвести оценку близости набора признаков на входе сети с каждым образцом слоя. Для этого функция активности каждого элемента слоя образцов представляет собой отношение $|x_i - y_i| < d$, где x_i – значение признака из входного слоя, y_i – весовое значение соответствующей связи слоя образцов, d – значение порога. Величина d для каждого признака предварительно находится по определенному алгоритму, оптимизирующему значение порога на основании анализа всей обучающей выборки. Функция активности элемента слоя образцов возвращает 1, если отношение $|x_i - y_i| < d$ истинно. Слой образцов имеет связи со слоем классов только элементами, непосредственно принадлежащими соответствующему классу. По этим связям элементам слоя классов передается 1, если истинно соответствующее отношение $|x_i - y_i| < d$. Каждый элемент слоя классов суммирует все единицы и распределяет их по выходному слою признаков. Каждый элемент выходного слоя соответствует определенному признаку и представляет собой вектор, каждый компонент которого накапливает «голоса», отданные признаком за определенный класс. В результате прямого прохода через сеть всей обучающей выборки на выходе будет сформирована матрица, строками которой являются признаки распознавания, а столбцами классы обучающей выборки. Анализ этой матрицы позволит оценивать информативность, как отдельных признаков, так и их сочетаний. Допустим, некоторый элемент выходного слоя сети имеет следующие значения компонентов:

| | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| n_1 | n_2 | n_3 | n_4 | n_5 |

Можно считать, что признак выделяет i -й класс, если $\frac{n_i}{\sum n_j} \geq k$, где n_i – значение i -го компонента, n_j – значение j -го компонента, $i \neq j$, k – некоторый критерий выделения класса (0,9–1,0). В дальнейшем система будет обучаться по найденной информативной совокупности признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М., 2001.
2. Тарков М.С. Нейрокомпьютерные системы. – М., 2010.

ФИЗИКА, ТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 66.01/07(075.8):532.533

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИКИ МНОГОФАЗНЫХ СРЕД С ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С УЧЕТОМ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

*А.К. Некрасов,
канд. физ.-мат. наук, доцент, Московский государственный
машиностроительный университет (МАМИ)
E-mail: nekrasov55@yandex.ru*

*Е.И. Некрасова,
канд. техн. наук, доцент,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: nekrasov55@yandex.ru*

Аннотация. В статье приведены математическая модель и результаты численного моделирования движения гетерогенной вязкой несжимаемой среды с твердыми сферическими дисперсными частицами в условиях нестационарной свободной тепловой конвекции, вызываемой тепловым воздействием на боковой стенке двумерной полости и вводом в нее твердых сферических частиц. Целями являются: учет влияния межфазного взаимодействия частиц и несущей среды на скорости движения несущей среды и дисперсных частиц, на траектории движения и на распределение их в объеме полости.

Ключевые слова: гидродинамика, математическое моделирование, дисперсные потоки, метод конечных разностей, нестационарный теплообмен.

Abstract. Offered results of modeling of movement of the heterogeneous viscous incompressible environment with firm spherical disperse particles in conditions of non-stationary free thermal convection, to caused constants on time thermal influence on one of lateral walls of a bidimensional cavity and input in settlement area of firm spherical particles are resulted. The purposes are: revealing of influence of interphase interaction of disperse particles and the carrying environment for absolute and relative speeds of movement of the carrying environment and disperse particles, construction of trajectories of their movement and distribution of particles in volume of the heterogeneous environment.

Keywords: hydrodynamics, numerical modeling, disperse flows, method of finite differences, non-stationary heat transfer.

Движение неоднородных многофазных сред с различного рода частицами при свободной тепловой конвекции широко распространено в природе, технике и различных технологиях. Во многих случаях движение вызывается тепловыми и механическими воздействиями на дисперсные среды, которые усложняют гидродинамику и могут оказывать существенное влияние на интенсивность протекающих в этих гетерогенных средах тепло- и массообменных процессов и химических превращений [1]. При исследовании таких многофазных сред одной из важнейших является проблема нестационарного динамического взаимодействия между дисперсной фазой и несущей вязкой несжимаемой средой при их относительном движении в неоднородных по пространству и переменных во времени полях скорости, температуры и концентрации.

В подавляющем большинстве работ, посвященных математическому моделированию механики дисперсных потоков, используются средние по объему однородные или известные из опытов неоднородные объемные или массовые концентрации дисперсных частиц [2]. Реальные же распределения дисперсных частиц в объеме несущей среды, а, следовательно, и их концентрация, непосредственно определяются их динамическим взаимодействием при относительном движении. Поэтому они, как правило, не являются однородными и должны определяться из совместного расчета относительного движения несущей среды и дисперсных частиц.

Для решения подобных задач плодотворным является метод [3–4], согласно которому векторное уравнение движения дисперсной частицы в лагранжевой системе координат решается совместно с уравнениями движения сплошной несущей среды в эйлеровой системе координат. Связь частицы со сплошным потоком учитывается через локальные компоненты напряжения, что составляет оригинальность данного подхода к изучению динамики дисперсной фазы.

В настоящей работе данный подход получил дальнейшее развитие применительно к математическому моделированию свободной тепловой конвекции гетерогенной среды с дисперсными частицами при учете межфазного взаимодействия на динамику несущей среды при постоянных по времени тепловых воздействиях на стенках.

Рассматривается движение гетерогенной вязкой несжимаемой среды с твердыми сферическими монодисперсными частицами, обусловленное нестационарной свободной тепловой конвекцией, вызываемой

постоянным по времени тепловым воздействием на одной из боковых стенок двумерной полости и движением твердых сферических частиц, вводимых в полость. Целями являются: определение абсолютной и относительной скоростей движения несущей среды и дисперсных частиц, вычисление и построение траекторий их движения и определение распределения частиц в объеме гетерогенной среды в различных условиях. Силы присоединенных масс, Бассэ, термофореза, а также взаимодействие частиц между собой и стенками полости не учитывались. Частицы, коснувшиеся стенок полости, исключаются из расчета и удаляются из полости. Теплообмен между дисперсными частицами и несущей средой не учитывался. Расчетная область (рис. 1) представляет собой длинную горизонтальную полость с квадратным сечением размером $L \times L$, которая заполнена несущей вязкой несжимаемой средой плотностью ρ . Сверху, с заданным темпом по времени и нулевой начальной скоростью, в полость вводятся твердые сферические дисперсные частицы диаметром d_p и плотностью ρ_p . Считаем, что ввод частиц в виде плоской по длине полости струи обеспечивает минимальные градиенты параметров движения двухфазной среды по длине полости. Это позволит получить двумерное движение дисперсной среды в полости и рассматривать задачу в двумерной постановке для квадратного поперечного сечения.

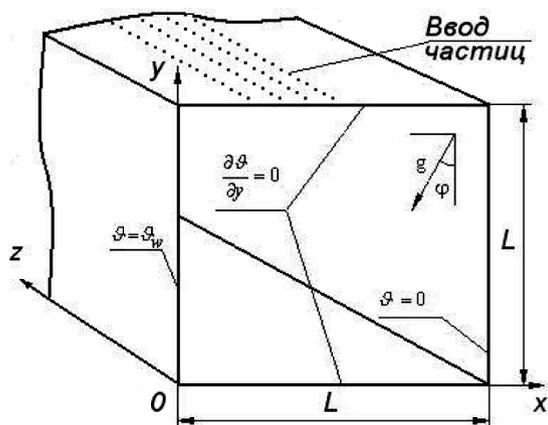


Рис. 1. Расчетная область с тепловыми граничными условиями

В начальный момент времени несущая среда неподвижна и имеет однородную температуру T_0 . В течение всего процесса левая стенка по-

лости поддерживается при постоянной по времени температуре $T_w > T_0$, правая стенка – при постоянной начальной температуре T_0 . Нижняя и верхняя стенки полости теплоизолированы. Для вязкой несжимаемой несущей жидкости на стенках выполняются условия прилипания.

Неоднородные тепловые граничные условия, приведенные на рис. 1, записаны в относительных температурах: $\theta = T - T_0$, $\theta_w = T_w - T_0$.

Для нахождения поля скорости движения несущей вязкой несжимаемой жидкости, абсолютной и относительной скоростей и построения траекторий движения дисперсных частиц в гетерогенной среде применен метод, который основан на совместном решении уравнений для несущей среды, записанных в эйлеровой системе координат, и уравнений для дисперсных частиц, записанных в лагранжевой системе координат. Этот метод подробно изложен в работе [3] и применен для моделирования относительного движения фаз в дисперсных потоках, как при вынужденной [4], так и при естественной конвекции [5].

Описание ламинарного движения вязкой несжимаемой несущей среды при свободной тепловой конвекции выполнено в приближении Обербека–Буссинеска [6] на основе системы нестационарных уравнений Навье–Стокса, неразрывности и энергии. Влияние частиц на течение несущей жидкости учитывается источниками членами в уравнениях Навье–Стокса, определяемыми точечными силами межфазного взаимодействия [7], которые локально распределены в расчетной области и равны силам гидродинамического сопротивления, оказываемым несущей жидкостью на частицы при их относительном движении, отнесенным к единице объема.

В безразмерных переменных относительно соответствующих масштабов (для пространства – L ; для времени – L^2/ν ; для скорости – ν/L ; для давления – $\rho\nu^2/L^2$; для силы межфазного взаимодействия – $\rho\nu^2/L^3$; для температуры – θ_w) векторная запись этой системы уравнений имеет вид:

$$\partial V/\partial t + (V \nabla) V = -\nabla p + \Delta V + nGr\theta - D_p, \quad (1)$$

$$\text{div} V = 0, \quad (2)$$

$$\partial \theta/\partial t + (V \nabla) \theta = Pr^{-1} \Delta \theta, \quad (3)$$

где: V, t, p – соответственно безразмерные вектор скорости несущей среды, время, давление; $Gr = Ga \cdot \theta_w \beta_T$ – критерий Грасгофа; $Ga = gL^3/\nu^2$ –

критерий Галилея; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; g – коэффициент термического расширения, $1/\text{К}$; D_p – безразмерная сила межфазного взаимодействия, отнесенная к единице объема; $Pr = \nu/a$ – критерий Прандтля; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}/\text{с}^2$; $\theta = \mathcal{G}/\mathcal{G}_w$ – безразмерная температура; n – единичный вектор направления силы тяжести.

Краевыми условиями для системы (1)–(3) в двумерной квадратной расчетной области принимались:

$$t = 0: V = 0, \theta = 0, \quad (4)$$

$$\bar{y} = 0; 0 \leq \bar{x} \leq 1, 1: \partial\theta/\partial\bar{x} = 0, V = 0, \quad (5)$$

$$\bar{x} = 0, 0 \leq \bar{y} \leq 1: \theta = 1, V = 0, \quad (6)$$

$$\bar{x} = 1, 0 \leq \bar{y} \leq 1: \theta = 0, V = 0, \quad (7)$$

здесь \bar{x}, \bar{y} – безразмерные координаты по пространству.

Скорости V_{pi} для N_p дисперсных сферических частиц, движущихся в неоднородном поле скорости несущей среды, находятся из решения уравнений движения частиц в двухфазной среде, записанных в лагранжевой системе координат для условий действия различных сил

$$m_{pi} dV_{pi}/dt = F_p + F_G + F_A, \quad i = 1, \dots, N_p \quad (8)$$

где: m_{pi} – масса i -дисперсной частицы, кг; F_p, F_G, F_A – векторы, соответственно, действующих на частицу сил: гидродинамического сопротивления, тяжести и Архимеда, Н.

Сила гидродинамического сопротивления для дисперсных частиц вычисляется по формуле

$$F_p = -0,5C_p \pi r_p^2 \rho_w 2e, \quad (9)$$

где: C_p – коэффициент сопротивления; $r_p = d_p/2$ – радиус дисперсной частицы, м; $w = |V_{omni}|$ – модуль вектора относительной скорости частицы, $\text{м}/\text{с}$; e – единичный вектор направления относительной скорости частицы.

Входящий в соотношение (9) коэффициент сопротивления C_p для твердой сферической частицы, движущейся в несущей жидко-

сти с локальной относительной скоростью при числе Рейнольдса $Re = wd_p/\nu < 1$ определялся по соотношению $C_p = 24/Re$ [1].

Вектор скорости дисперсной частицы V_p представляется в виде суммы векторов скорости сплошной среды V и относительной скорости частицы V_{omni}

$$V_p = V + V_{omni}.$$

Вектор относительной скорости V_{omni} может быть выражен через модуль вектора относительной скорости w и его угол направления α

$$V_{omni} = (w \cos \alpha, w \sin \alpha) = we.$$

Угол α равен углу поворота от орта i оси координат x до вектора e .

В работах [3; 4] показано, что для определения скорости частицы векторное уравнение (8) приводится к двум скалярным нелинейным уравнениям с начальными условиями относительно неизвестных w и α .

Для определения текущих координат и движущейся в пространстве расчетной области дисперсной частицы решались уравнения, также записанные в безразмерном виде

$$dx/dt = U + w \cos \alpha, \quad dy/dt = V + w \sin \alpha$$

с начальными условиями при $t = 0: x = x_0$ и $y = y_0$.

Решение сформулированной задачи получено численно методом конечных разностей. Система уравнений для несущей среды (1)–(7), записанная в переменных вихрь – функция тока – температура, решалась методом переменных направлений [6; 8]. Системы из двух скалярных нелинейных уравнений, для модуля вектора относительной скорости частицы w и угла направления вектора α , решались методом Ньютона.

Математическое моделирование проведено для газозвеси при значении числа Прандтля несущей среды $Pr = 0,7$. Твердая фаза с относительной плотностью частиц $\rho/\rho_p = 0,0005$, что соответствует частицам кварцевого песка, подается для обеспечения двумерного течения с однородным по длине и ширине верхней поверхности полости распределением частиц. Подача частиц в полость производится синхронно по всей поверхности подачи с шагом по времени равным $n_p \Delta t$. Здесь n_p – число шагов интегрирования по времени при численном решении

задачи между подачей в полость очередной порции частиц; Δt – шаг интегрирования по времени. Безразмерный шаг интегрирования по времени в расчетах, результаты которых приводятся ниже, принимался постоянным и равным 0,00002.

На рис.2 приведены расчетные поля температуры (а), векторов скорости несущей среды (б) и распределения дисперсных частиц с векторами скорости (в) при $Gr = 105$, $Pr = 0,7$, $d_p = 10$ мкм, $n_p = 10$. Из рисунка видно, что учет в расчете обратного влияния дисперсных частиц на несущую среду привел к существенной перестройке течения. При сравнении приведенного на рисунке распределения температуры с распределениями температуры при свободной термогравитационной конвекции в квадратной полости вязкой несжимаемой однофазной жидкости, приведенными в работах [6–8], можно видеть, что падающие дисперсные частицы сужают область восходящего течения у нагретой левой стенки полости. В центральной части полости на месте застойной зоны с практически нулевой скоростью, которая характерна для случая однофазной среды, возникают дополнительные нисходящее и восходящее течения. Они обусловлены воздействием падающих частиц наиболее удаленных от нагретой левой стенки. Эти течения хорошо видны на поле векторов скорости несущей среды (рис. 2б). На рис. 2в видно, что часть частиц, находящиеся в начале движения вблизи нагретой стенки, захватываются восходящим течением несущей среды и витают некоторое время у нагретой стенки.

Как показало моделирование, в характерном сечении в движении участвуют дисперсные частицы в количестве $N_p = 430 \pm 20$. Отклонение количества частиц от номинала объясняется различием между количеством вводимых в полость частиц и количеством осаждающихся частиц, т. к. при учете межфазного воздействия частиц на несущий поток седиментация частиц носит периодический характер относительно некоторого среднего значения. Поэтому течение двухфазной среды не достигает стационарного состояния, а происходят плавные колебания параметров течения. Средняя объемная концентрация частиц, определяемая для всей полости в рассматриваемом случае, $\alpha_p = 0,003$. Но на рисунке видно, что в полости имеется обширная зона свободная от частиц. А в зоне полости, в которой сосредоточены дисперсные частицы, их распределение характеризуется большой неоднородностью, следовательно, локальная объемная концентрация частиц будет значительно больше средней по объему полости.

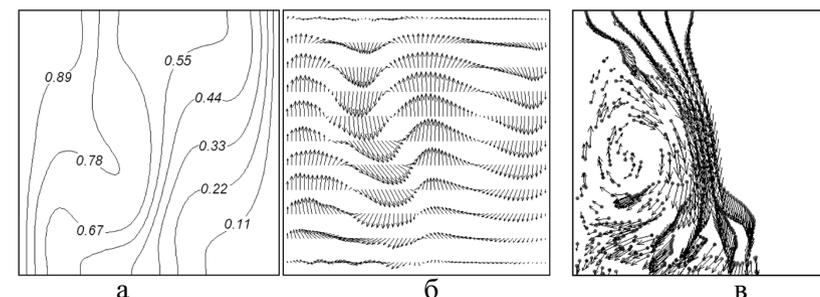


Рис. 2. Расчетные поля температуры (а), векторов скорости несущей среды (б) и распределения дисперсных частиц (в) при $Gr = 10^5$, $Pr = 0,71$, $d_p = 10$ мкм

Количество дисперсных частиц, входящих в образующуюся двухфазную систему, зависит от темпа подачи частиц в полость (величина шага по времени между вводом частиц), диаметра и плотности частиц, физических свойств несущей среды (критерия Pr), геометрических параметров полости и тепловых условий на стенках полости (критерия Gr).

Частицы, относительная скорость движения которых соизмерима со скоростью движения несущей среды, начинают витать в полости. Витание наиболее интенсивно происходит вблизи нагретой стенки, у которой скорость движения несущей среды имеет наибольшие значения.

Увеличение числа Грасгофа до 10^6 (за счет увеличения \mathcal{G}_w), при сохранении значений прочих параметров, приводит к повышению скорости движения несущей среды при свободной конвекции. Снижается влияние дисперсных частиц. На рис.3 приведены мгновенные поля распределения температуры (а) и векторов скорости (б) несущей среды,

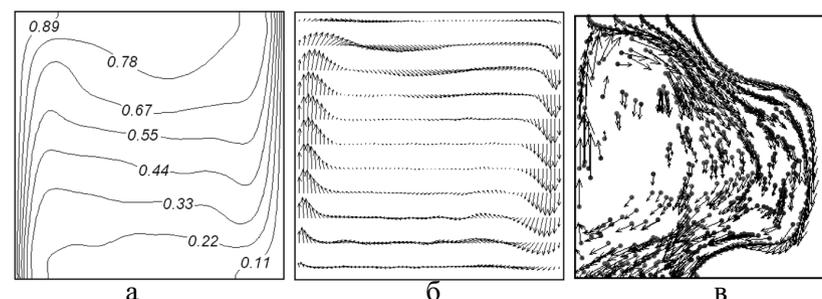


Рис. 3. Расчетные поля температуры (а), векторов скорости несущей среды (б) и распределение дисперсных частиц (в) при $Gr = 10^6$, $Pr = 0,7$, $d_p = 10$ мкм

которые мало отличаются от их распределений для случая отсутствия влияния частиц. Число дисперсных частиц в двухфазной системе в этом случае увеличивается до $N_p = 620 \pm 30$ и средняя по полости объемная концентрация частиц также возрастает до $\alpha_p = 0,004$. Видно, что число витающих частиц в полости увеличилось. Это связано с тем, что скорость движения несущей среды при этом числе Грасгофа становится соизмеримой с относительной скоростью движения дисперсных частиц.

Так, при сохранении темпа подачи дисперсных частиц и прочих параметров, увеличение диаметра частиц до $d_p = 50$ мкм число частиц в двухфазной системе из-за быстрой седиментации резко уменьшается до $N_p = 22 \pm 1$. Но средняя объемная концентрация, из-за увеличения диаметра частиц, уменьшается незначительно ($\alpha_p = 0,0037$).

На рис. 4 представлены некоторые результаты для движения дисперсных частиц диаметром $d_p = 50$ мкм при $Gr = 106$, $Pr = 0,7$, $n_p = 5$. С увеличением массы частиц возрастает скорость их осаждения, которая значительно превышает скорость свободноконвективного движения несущей среды. Видно, что характер движения дисперсной среды меняется (рис. 4а).

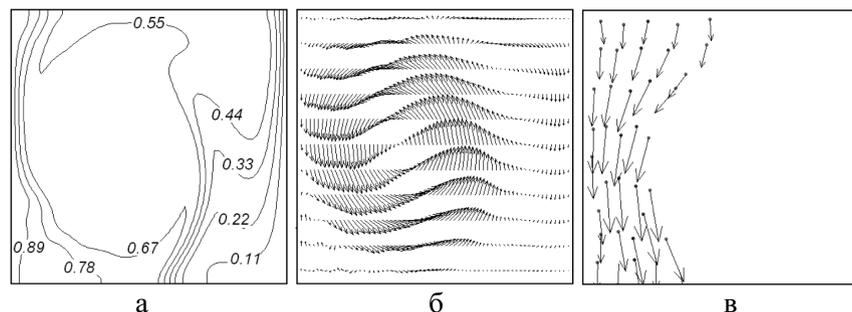


Рис. 4. Расчетные поля температуры (а), векторов скорости несущей среды (б) и распределение дисперсных частиц (в) при $Gr = 106$, $Pr = 0,7$, $d_p = 50$ мкм и $n_p = 5$

Межфазное взаимодействие при этих значениях параметров у горячей стенки полости приводит к движению дисперсной среды в обратном направлении по сравнению со свободноконвективным движением. В центре полости появляется восходящий поток среды. У холодной стенки нисходящий поток среды сохраняется, но скорости движения в нем по сравнению с первыми двумя потоками значительно меньше.

Число частиц в полости в квазиустановившемся режиме в этом случае $N_p = 38 \pm 2$, а средняя объемная концентрация частиц $\alpha_p = 0,0064$.

Проведенное численное исследование выявило существенные неоднородности распределения частиц в объеме гетерогенной среды, обусловленные гидродинамикой, формируемой силовым межфазным взаимодействием дисперсных частиц и несущей сплошной средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. – М., 1978.
2. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Течения газа с частицами. – М., 2008.
3. L.P. Kholpanov, B.R. Ismailov, P.Vlasak. Modelling of Multiphase Flow Containing Bubbles, Drops and solid Particles // Eng. Mech., 2005, Vol. 12, No. 6.
4. Холпанов Л.П., Ибяттов Р.И.. Математическое моделирование динамики дисперсной фазы // ТОХТ. 2005. Т. 39, № 2.
5. Холпанов Л.П., Некрасова Е.И., Некрасов А.К. Математическое моделирование динамики дисперсной фазы при свободной гравитационной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в квадратной полости // ИФЖ. 2008. Т. 81, № 1.
6. Полежаев В.И., Бунэ А.В., Везуб Н.И. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье – Стокса. – М., 1987.
7. P.G. Saffman. The Settling Speed of Free and Fixed Suspensions // Studies in Applied Mathematics. 1973. Vol. LII, №2.
8. G. De. Vahl Davis. Natural convection of air in a square cavity: a bench mark numerical solution // Int. J. for Numerical Methods in Fluids. 1983. Vol. 3, №3.

УДК 537.533.9, 519.688, 621.385

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАКСИМАЛЬНОГО КПД ОТ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ В ТРЕХРЕЗОНАТОРНОМ КЛИСТРОНЕ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А.Ю. Байков,
канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: baikov.a@mfua.ru

О.А. Грушина,
аспирантка,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
E-mail: obkv@mail.ru

М.Н. Стриханов,
д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
E-mail: MNStrikhanov@mephi.ru

Аннотация. На основе разработанной авторами дискретно-аналитической модели группирования электронного пучка в клистроне и комплекса программ KlypWin исследуется зависимость максимального КПД от коэффициента усиления для трехрезонаторного клистрона, смоделированного на основе реального телевизионного клистрона. Показано, что максимальный КПД такого клистрона составляет 73–74% при коэффициенте усиления 27 дБ.

Ключевые слова: математическое моделирование, электронные пучки, СВЧ-приборы, клистроны.

Abstract. The dependence of maximum efficiency on the gain for the 3-cavity klystron based on the real TV-klystron is considered by the discrete-analytical model of bunching the electron beam. The maximum efficiency of this klystron is 73–74% at gain 27 dB.

Keywords: mathematical modeling, electron beams, microwave devices, klystrons.

ВВЕДЕНИЕ

Мощные пролетные клистроны [1] используются в различных областях науки и техники, включая радиолокацию, дальнюю и космическую связь, питание ускорителей заряженных частиц. Перспективными являются направления использования этих приборов при изготовлении новых материалов, а также в энергетике для беспроводной передачи и трансформации больших уровней энергии. Во всех этих областях (особенно в последней) принципиально важен вопрос о высоком КПД. Например, в энергосистемах при транспортировке и передаче энергии теряется не более 10–12%, т. е. полный КПД энергосистем составляет около 90%. При внедрении энергетических СВЧ систем КПД должен быть не меньше, а значит, КПД приборов и устройств, входящих в такие системы, должен быть не менее 90%.

В настоящее время КПД клистронов, выпускаемых ведущими мировыми фирмами, составляет не более 60–70%. Сложность задачи увеличения КПД клистронов связана, в первую очередь, со сложностью их проектирования, основанного на математическом моделировании. Клистрон является многопараметрической системой, поэтому требуется оптимизация по большому количеству параметров (20 и более). Теоретически и экспериментально [2] было показано, что КПД клистронов может достигать 90%, но для получения оптимального варианта такого прибора требуется многопараметрическая оптимизация, включающая десятки тысяч или даже сотни тысяч расчетов. Провести такой объем вычислений можно только в случае, если математическая модель клистрона сочетает в себе высокое быстродействие с высокой точностью.

Математическая модель, отвечающая этим требованиям, была разработана [3–8] и реализована в виде комплекса компьютерных программ KlypWin [13–14].

В настоящее время проводится цикл работ, направленных на разработку методов проектирования клистронов с максимально высоким КПД. В рамках этих работ предполагается исследовать возможности и общие закономерности получения максимального КПД в зависимости от количества каскадов усиления, т. е. для двухрезонаторных клистронов (1 каскад), трехрезонаторных клистронов (2 каскада) и т. д.

В работах [9–12] на основе комплекса KlypWin проведено подробное исследование зависимости КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторных клистронов – как в идеальных, так и спроектированных на основе реальных электронно-оптических и резонаторных систем.

Было установлено, что максимальный КПД в двухрезонаторных клистронах, спроектированных на основе реальных конструкций, составляет 46–47% при коэффициенте усиления 16–18 дБ.

В настоящей работе найдены аналогичные зависимости для трехрезонаторного клистрона, смоделированного на основе реального семирезонаторного телевизионного клистрона.

МОДЕЛЬ ТРЕХРЕЗОНАТОРНОГО КЛИСТРОНА

В качестве прототипа был выбран прибор со следующими параметрами

| f_0 (GHz) | U_0 (kV) | I_0 (A) | N_b | d_T (mm) | l_g (mm) | ρ (Ohm) | Ω_p | θ_{eff} |
|----------------|---------------|--------------|-------|---------------|------------|--------------|------------|----------------|
| 0,71 | 15 | 2,8 | 7 | 14 | 14,3 | 70 | 0,06 | 1,3 |

где f_0 – рабочая частота, U_0 – ускоряющее напряжение, I_0 – суммарный ток всех лучей пучка, N_b – число лучей, d_T – диаметр труб дрейфа, l_g – величина зазоров резонаторов, ρ – характеристическое сопротивление резонаторов, Ω_p – параметр пространственного заряда [8], θ_{eff} – эффективный угол пролета выходного зазора [15]. Последние два параметра рассчитываются на основе значений шести остальных параметров.

Отметим важное отличие задачи о максимуме КПД в двухрезонаторном и трехрезонаторном клистронах. Для двухрезонаторного клистрона корректной и содержательной является задача нахождения максимального КПД на фиксированной частоте, так как частотные свойства двухрезонаторного клистрона определяются исключительно входным и выходным резонаторами, сопротивления которых (а значит, и полоса) полностью зависят от условий согласования с входным трактом и с нагрузкой соответственно. В двухрезонаторном клистроне невозможно регулировать коэффициент усиления за счет изменения сопротивления одного из резонаторов (входного или выходного). При решении задачи оптимизации КПД на фиксированной частоте в двухрезонаторном клистроне автоматически решается и задача оптимизации КПД в некоторой «естественной» полосе.

В трехрезонаторном клистроне появляется дополнительный промежуточный резонатор, и можно изменять коэффициент усиления, регулируя его добротность. Но при этом будет происходить измене-

ние полосы усиления. Для того чтобы приблизить задачу оптимизации КПД к реальной, необходимо задать некоторое фиксированное значение полосы.

Таким образом, для трехрезонаторного клистрона (и для любых клистронов с числом резонаторов ≥ 3) содержательной является задача оптимизации КПД в заданной полосе частот.

Для клистрона с заданной электронно-оптической системой и с заданной конструкцией резонаторов можно ввести некоторую «естественную» полосу Δf_c соотношением

$$\frac{\Delta f_c}{f_0} = \frac{\rho I_0}{U_0}. \quad (1)$$

В пределах этой полосы сопротивление выходного резонатора изменяется на 25%, примерно на столько же изменяется и КПД.

При решении задачи о максимальном КПД полосу необходимо сузить. Будем выбирать рабочую полосу частот Δf_w из соотношения

$$\Delta f_w = \frac{1}{2} \Delta f_c. \quad (2)$$

Для рассматриваемого прибора $\Delta f_c = 1,2\%$, соответственно, $\Delta f_w = 0,6\%$.

Параметрами оптимизации трехрезонаторного клистрона являются: входная мощность P_{in} , первая и вторая пролетные длины l_{T1} и l_{T2} , собственные частоты и добротности всех резонаторов $f_1, f_2, f_3, Q_1, Q_2, Q_3$. При этом под Q_1 и Q_3 понимаются нагруженные входная и выходная добротности, которые определяются условиями согласования с входным и выходным трактами, поэтому оптимизация по ним может проводиться только в очень ограниченных пределах. Обозначим набор всех параметров оптимизации, кроме входной мощности, через $\{S_{opt}\}$.

Поставим следующую задачу оптимизации. При всех возможных значениях входной мощности P_{in} найти такие значения параметров оптимизации $\{S_{opt}\}$, при которых минимальный КПД в заданной полосе достигает максимума

$$\eta^{(opt)}(P_{in}) = \max_{\{S_{opt}\}} (\eta(\{S_{opt}\}, P_{in})). \quad (3)$$

Каждому значению входной мощности при условии максимума КПД будет соответствовать вполне определенное значение коэффициента усиления

$$K_u(P_{in}) = 10 \cdot \lg \frac{\eta U_0 I_0}{P_{in}}, \quad (4)$$

поэтому выражения (3), (4) можно рассматривать как параметрическую зависимость максимального КПД от коэффициента усиления $\eta^{(opt)}(K_u)$.

Найдем графики этой зависимости, исследовав процессы группирования и отбора энергии в различных точках этого графика.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Графики зависимости, определяемой выражениями (3)-(4), изображены на рис. 1 (нижняя кривая).

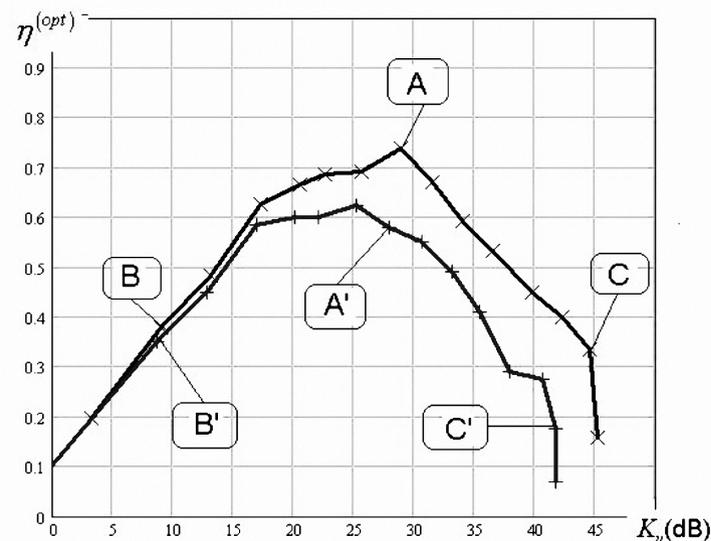


Рис. 1. Зависимость максимального КПД от коэффициента усиления в трехрезонаторном клистроне

Верхняя кривая этого рисунка соответствует максимальному КПД в той же полосе. Как видно из графиков, максимальный КПД рассматриваемого трехрезонаторного клистрона составляет около 74% (точка А). При этом минимальный КПД составляет около 59% (точка А'). Вся АЧХ, соответствующая оптимальному режиму, изображена на рис.2.

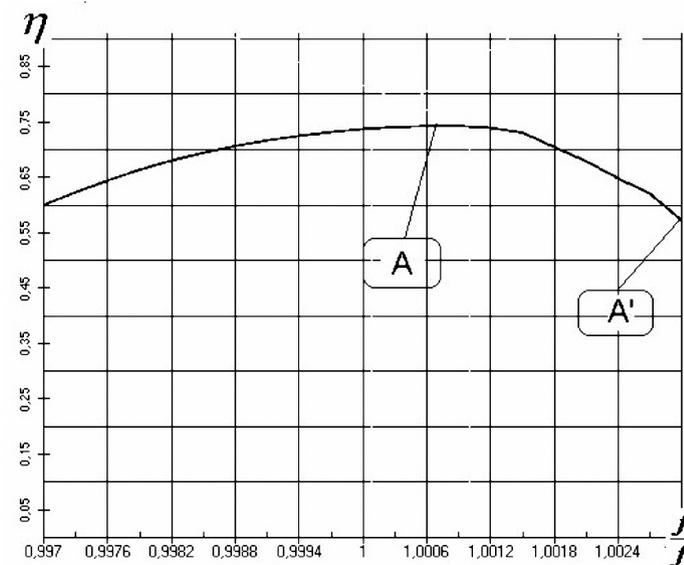


Рис. 2. АЧХ оптимального трехрезонаторного клистрона

Рассмотрим группирование электронного пучка и гармоники конвекционного тока в оптимальном режиме. Фазовые траектории изображены на рис. 3.

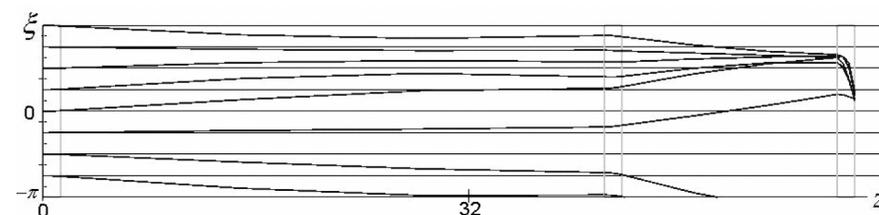


Рис. 3. Группирование для оптимального режима (т.А)

Как видно из рисунка, группирование происходит без обгона, при этом существенно влияние пространственного заряда – после сближения в каждой трубе центральные усредненные частицы слегка расходятся, при этом периферийные частицы сгустка продолжают движение. Длина каждой трубы такова, чтобы полностью завершить процесс сближения периферийных частиц сгустка. Этот же процесс можно уви-

деть и по графикам зависимости гармоник конвекционного тока от расстояния вдоль трубы (рис. 4).

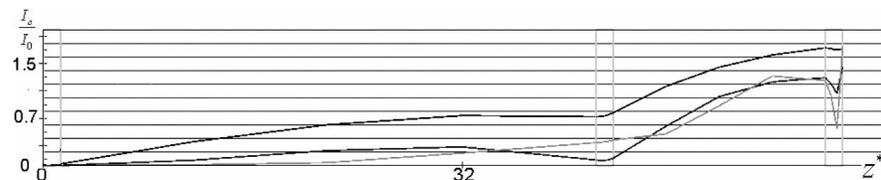


Рис. 4. Гармоники тока для оптимального режима (т.А)

Первая гармоника (верхняя кривая) в каждой трубе сначала растет быстро, затем приходит к насыщению. Каждый зазор резонатора примерно находится в зоне максимума первой гармоники, причем в области расположения зазора выходного резонатора максимума достигает как первая, так и вторая гармоники, а третья близка к максимуму. В результате получается максимальный ток, возбуждающий выходной резонатор и, соответственно, максимальный КПД.

Если же рассмотреть группирование в режимах избыточной входной мощности (точки В, В') или недостаточной входной мощности (точки С, С'), то картина меняется.

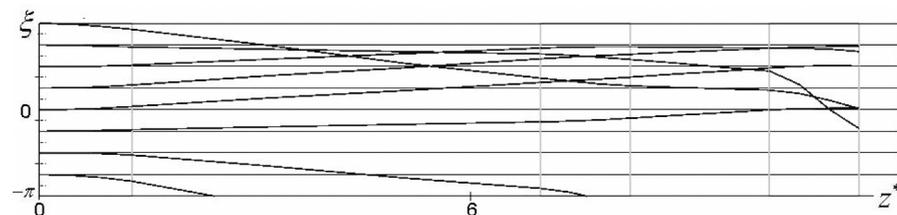


Рис. 5. Группирование в режиме избыточной входной мощности (т.В)

При избыточной входной мощности (точка В) происходит перегруппировка пучка в первой трубе (рис. 5), возникает обгон усредненными частицами друг друга, в результате сгусток теряет оптимальную конфигурацию, что приводит и к уменьшению конвекционного тока, возбуждающего выходной резонатор, и к неоптимальному торможению в самом выходном резонаторе.

При недостаточной входной мощности (точка С) пучок оказывается недогруппированным (рис. 6) – частицы не могут сблизиться на малые расстояния из-за кулоновского расталкивания.

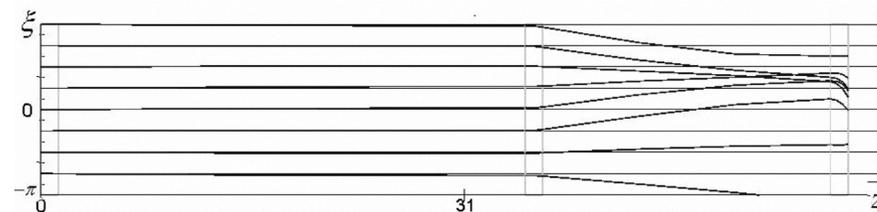


Рис. 6. Группирование в режиме недостаточной входной мощности (т.С)

В результате сгусток оказывается слишком широким, конвекционный ток, возбуждающий выходной резонатор – недостаточным, что, в свою очередь, также ведет к уменьшению КПД.

ВЫВОДЫ

Полученная в настоящей работе зависимость максимального КПД трехрезонаторного клистрона от его коэффициента усиления (рис.1) похожа на соответствующие зависимости, полученные в работах [11–12] для двухрезонаторных клистронов. Отличия заключаются в увеличении максимального КПД (74% вместо 46%), увеличении оптимального коэффициента усиления (27дБ вместо 17–18дБ) и в уменьшении гладкости самой кривой. Первые два отличия являются ожидаемыми, третье можно объяснить увеличением негладкости целевой функции при увеличении количества оптимизируемых параметров (6 вместо двух).

Полученный в результате расчетов КПД в оптимальном режиме 74% является весьма высоким: в реально выпускающихся семивосьмirezонаторных клистронов КПД обычно не превышает 70%. При этом коэффициент усиления 27дБ является вполне приемлемым для большинства применений.

Таким образом, показано, что при реализации оптимальных параметров можно достичь высокого КПД даже в трехрезонаторном клистроне.

Следует отметить, что в некоторых публикациях других авторов (см., например, [16]) указывалось, что максимально возможный КПД трехрезонаторного клистрона составляет около 70%, но в каких режимах, при каких значениях параметров и при каком коэффициенте усиления достигается такой КПД в этих работах указано не было.

В целом, результаты, полученные в работах [11 – 12], а также в данной работе, показывают, что для заданных значений основных параметров и для заданного количества резонаторов существует оптимальный режим, в котором реализуется максимальный КПД при вполне определенном (оптимальном) коэффициенте усиления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюх И.Г., Байков А.Ю., Петров Д.М. Высокоэффективные пролетные клистроны. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной дню радио, Москва, май 1997.
2. Доколин О.А., Кучугурный В. И., Лебединский С. В., Малыхин А. В., Петров Д. М. Пролетный клистрон с электронным КПД 90%. Известия Вузов МВ и ССО СССР радиоэлектроника – Киев, 1984, том. 27, №12.
3. Байков А.Ю. Компьютерное моделирование мощных и сверхмощных резонаторных СВЧ-приборов // Информационно-измерительные и управляющие системы №4, Т. 8, 2010.
4. Байков А.Ю., Грушина О.А. Реакция электронного пучка в узкой трубе на полигармонические и непериодические возмущения // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе / Труды международной научно-практической конференции. Том 1 – М., 2009. [Электронный ресурс] URL: <http://conf.mfua.ru>.
5. Байков А. Ю., Грушина О. А. Распространение продольных возмущений интенсивного электронного пучка в узкой трубе // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов в 3-х томах. Т. 2. Нанозифика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. М., 2010.
6. Байков А.Ю., Грушина О.А. Аналитическое решение задачи группирования электронного пучка в режиме большой модуляции плотности // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова. Серия: научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXV. – М., 2010.
7. Исследование процесса группирования электронного пучка в клистроне на основе ПЗП-решения. Байков А.Ю., Грушина О.А. // Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе/ Труды всероссийской научно-практической конференции. – М., 2010. [Электронный ресурс] URL: <http://conf.mfua.ru>

8. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Математическая модель трансформации электронного пучка в узкой трубе // Журнал технической физики, 2012, №6.
9. Грушина О.А. О возможности моделирования мощных клистронов со сверхвысоким КПД // Тезисы докладов XIV Международной телекоммуникационной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь и наука», ч. 2. – М., 2011.
10. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Влияние пространственного заряда на процесс группирования в клистроне в рамках «приближения замороженного пучка» // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1.
11. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Компьютерное моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторном клистроне // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2012, № 1.
12. Байков А. Ю., Грушина О. А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Моделирование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в сверхмощном импульсном двухрезонаторном клистроне сантиметрового диапазона // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012. Аннотации докладов в 3-х томах. Т. 3. Конференция «Методы математической физики и математическое моделирование физических процессов». Секция «Математическое моделирование физических процессов». – М., 2012.
13. Байков А.Ю., Ильясев Х.Х., Петров Д.М. KLYP – новая быстродействующая программа расчета клистронов. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения», Саратов, октябрь 1994.
14. Байков А.Ю., Ежиков В.Б. Редактируемый интерфейс ввода-вывода данных для вычислительной модели, включающей многопараметрическую оптимизацию // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА, 2011, №1.
15. Гайдук В.И., Палатов К.И., Петров Д.М. Физические основы электроники СВЧ. – М., 1971.
16. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по СВЧ электронике для физиков. В 2 т. – М., 2003, т. 1.

УДК: 621.372

ИСКАЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПО ВОЛНОВОДУ

А.А. Локтев,
д-р физ.-мат. наук, доцент,
Московский государственный университет путей сообщения
E-mail: aaloktev@yandex.ru

А.С. Матасов,
канд. техн. наук,
Воронежский государственный технический университет
E-mail: prtlokt@yandex.ru

Аннотация. В статье делается попытка учесть влияние свойств оптического волокна на искажение оптических сигналов и на параметры передачи информации, особое внимание уделяется изучению особенностей хроматической дисперсии.

Ключевые слова: оптическое волокно, дисперсия сигнала, коэффициент ошибок, спектральные характеристики волокна, чувствительность приемника.

Abstract. In this article an attempt is made to take into account the influence of the properties of the fiber on the distortion of optical signals and on the parameters of the transmission of information, special attention is paid to the study of peculiarities of chromatic dispersion.

Keywords: optical fiber, dispersion of the signal, coefficient of error, spectral characteristics of fibers, the sensitivity of the receiver.

Во многих современных системах передачи информации в качестве физического канала связи используются оптические волокна (ОВ), в которых средой передачи является плавленный кварц с легирующими добавками. Волокно состоит из сердцевины и оболочки. Оболочка окружает оптически более плотную сердцевину, являющуюся светонесущей частью волокна. Показатели преломления сердцевины и оболочки обозначаются n_1 и n_2 соответственно.

Основными элементами ВОСП являются передающий оптоэлектронный модуль (ПОМ), приемный оптоэлектронный модуль (ПРОМ),

а также физический канал передачи – оптический кабель (ОК). Проблемы реализации высокоскоростных систем (свыше 1Тбит/с) связаны с влиянием четырехволнового смещения (ЧВС), воздействием помех от соседних каналов и ограничением суммарной мощности оптического сигнала, вводимого в волокно.

Влияние первого фактора снижается за счет использования волокна с ненулевой смещенной дисперсией, за счет неравномерного распределения частот несущих, а также за счет использования схем перемеживания каналов.

Влияние интерференционных помех от соседних каналов может быть уменьшено увеличением шага несущих, использованием на передающей стороне внешнего модулятора, подавляющего при модуляции боковые полосы. Также для уменьшения воздействия таких помех могут использоваться процедуры перемежения каналов, при которых плотный набор из n несущих длин волн (с шагом s) разделяется на приемном конце на два набора по $n/2$ (с шагом $2s$) или на четыре набора по $n/4$ (с шагом $4s$) несущих.

Влияние суммарной мощности оптического сигнала сводится к тому, что максимальная мощность каждого оптического канала $P_{\text{кmax}}$ зависит от полной оптической мощности, подаваемой с выхода транспондера на вход волокна $P_{\text{общ}}$ и числа мультиплексированных длин волн (при использовании волнового мультиплексирования) n .

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В передающих устройствах большинства производителей значение полной оптической мощности варьируется от 17 до 30 дБм, эта величина ограничена классом безопасного излучения лазера или допустимой величиной нелинейных искажений в ОВ. При каждом удвоении количества каналов по сравнению с двумя первоначальными, мощность, приходящаяся на каждый канал, уменьшается на 3дБ. Поэтому при большом количестве каналов может не обеспечиваться необходимый коэффициент ошибок (BER). Значение этого коэффициента определяется как отношение ошибочных символов к общему числу переданных символов. В существующих системах связи значения фототока отличаются от канонических «0» и «1» из-за наложения шумов. Вероятность интерпретации «0» как «1» определяется по следующей формуле [1]:

$$P(1/0) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \int_{I_D}^{\infty} e^{-\frac{(I-I_1)^2}{2\sigma_1^2}} dI, \quad (1)$$

где I_D – средний уровень сигнала, используемый для сравнения с уровнем единицы «1» и уровнем нуля «0», σ_1 – среднее квадратическое отклонение для 1.

Вероятность интерпретации «1» как «0» определяется по похожей формуле при соответствующих заменах величин. При равной вероятности передачи 0 и 1 коэффициент ошибок определяется как средняя величина этих значений.

Если предположить, что распределение шума подчиняется гауссовскому закону, то коэффициент ошибки можно вычислить по следующей формуле:

$$K_{out}(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Q^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (2)$$

где Q – показатель качества принимаемого сигнала.

Для определения минимального порога оптической мощности, которая обеспечивает требуемое значение BER, используется понятие чувствительности ПРОМ.

Порог чувствительности зависит от вида фотоприемника, например, для $p-i-n$ фотодетектора он определяется следующим соотношением:

$$P_{p-i-n} = \frac{A_\lambda}{\eta_m} \sqrt{i_{p-i-n}^{-2}}, \quad (3)$$

где $A_\lambda = Q_{out}(hc/e\lambda)$ – коэффициент, пропорциональный энергии падающего фотона, Q_{out} – параметр, зависящий от P_{out} , h – постоянная Планка, c – скорость света, e – заряд электрона, η_m – квантовая эффективность, i_{p-i-n}^2 – мощность шума ПРОМ.

Чувствительность ПОМ с увеличением скорости передачи информации быстро уменьшается, это существенно уменьшает бюджет передающей системы.

На скорость передачи информации и на длину безрегенерационного участка ВОЛС существенное влияние оказывает дисперсия оптических сигналов. Дисперсия подразделяется на многомодовую и хроматическую, первая объясняется различием групповых скоростей различных мод, а вторая нелинейностью коэффициента фазы β .

В большинстве современных систем используется одномодовое волокно, поэтому в них необходимо учитывать лишь второй вид дисперсии [2]. Зависимость β от λ , а Δ дает возможность, меняя профиль показателя преломления смещать нулевую дисперсию в нужную область оптического диапазона, оптимизируя волокно по затуханию. Хроматическая дисперсия обозначается $D(\lambda)$ и имеет следующие типовые значения для стандартного волокна (SF – Standart Fiber) $D(1310) \leq 1,8$ пс/нм·км, $D(1550) \leq 17,5$ пс/нм·км, для волокна со смещенной дисперсией (DSF – Dispersion Shift Fiber) $D(1550) \leq 1,7$ пс/(нм·км).

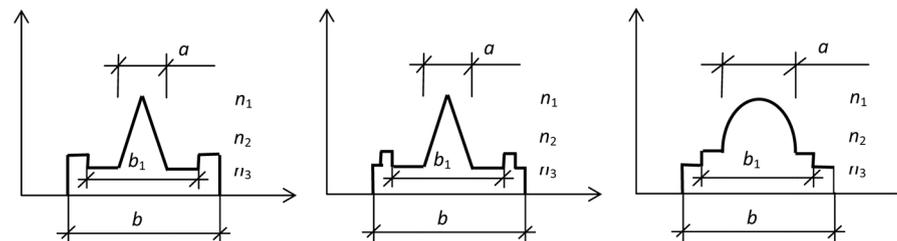


Рис. 1. Профили показателя преломления для одномодовых волокон со смещенной дисперсией

В связи с появлением ВОСП для передачи большого числа каналов, например, оборудование DWDM используется для передачи 160 оптических каналов со скоростями 10 Гбит/с и 40 Гбит/с, очень актуальной задачей является уменьшение хроматической дисперсии во всех окнах прозрачности [3]. Для решения этой задачи используются волокна с малым наклоном зависимости $D(\lambda)$, для регламентации волокон по наклону дисперсии был введен коэффициент наклона дисперсионной характеристики S (пс/(нм²·км))

$$S = \frac{dD(\lambda)}{d\lambda}. \quad (4)$$

В ограниченной части диапазона эту зависимость можно представить прямой линией. В этом случае коэффициент S равен тангенсу угла наклона прямой к оси длин волн

$$S = \operatorname{tg}\varphi = \frac{\Delta D_\lambda}{\lambda_p - \lambda_n}, \quad (5)$$

где λ_p – рабочая длина волны, λ_n – паспортное значение длины волны для данного диапазона.

Коэффициент хроматической дисперсии для определенной длины волны равен

$$D_\lambda = D_{\lambda_n} + S(\lambda_p - \lambda_n). \quad (6)$$

Дисперсия $D(\lambda)$ может принимать положительные и отрицательные значения, это свойство дает возможность компенсировать хроматическую дисперсию до маленьких величин (несколько пс) на линиях длиной в несколько сотен километров.

Для моделирования процесса распространения световых импульсов по ОВ и прогнозирования появления искажений сигнала, которые могут привести к уменьшению пороговых значений предлагается оценивать спектральные характеристики оптического волокна.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Для расчета приведенной к единице длины и единицы полосы длин волн источника излучения хроматической дисперсии оптической линии передачи используется формула [2–3]

$$D = -\frac{1}{2\pi c} \left[\lambda^2 \frac{d^2\beta}{d\lambda^2} + 2\lambda \frac{d\beta}{d\lambda} \right], \quad (7)$$

где D – хроматическая дисперсия, β – коэффициент фазы (мнимая часть постоянной распространения).

Постоянная распространения рассчитывается по формуле [2–3]

$$\beta^2 = \frac{1}{a^2} \left[\frac{V^2}{2\Delta_1} - U^2 \right], \quad (8)$$

здесь $V = kan_0(2\Delta_1)^{1/2}$, $\Delta_1 = \frac{n_2^2 - n_{c1}^2}{2n_2^2}$, $k = 2\pi/\lambda$, k – волновое число в

свободном пространстве, n_{c1} – показатель преломления на оси волокна, a – радиус сердцевины, U – параметр моды.

Дифференцируя выражение (8), получим

$$\frac{\partial\beta^2}{\partial\lambda} = \frac{1}{a^2} \left[\frac{1}{2} \frac{\partial(V^2/\Delta_1)}{\partial\lambda} - \frac{\partial U^2}{\partial\lambda} \right], \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2\beta^2}{\partial\lambda^2} = \frac{1}{a^2} \left[\frac{1}{2} \frac{\partial^2(V^2/\Delta_1)}{\partial\lambda^2} - \frac{\partial^2 U^2}{\partial\lambda^2} \right]. \quad (10)$$

Производные первого и второго порядка по длине волны от постоянной распространения имеют следующий вид

$$\frac{\partial\beta}{\partial\lambda} = \frac{1}{2\beta} \frac{\partial\beta^2}{\partial\lambda}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2\beta}{\partial\lambda^2} = \frac{1}{2\beta} \left[\frac{\partial^2\beta^2}{\partial\lambda^2} - 2 \left(\frac{\partial\beta}{\partial\lambda} \right)^2 \right]. \quad (12)$$

Зависимость показателя преломления от длины волны проходящего излучения описывается формулой Селмейера [4]

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{a_i \lambda^2}{\lambda^2 - b_i^2}. \quad (13)$$

Коэффициенты a_i и b_i зависят от концентрации легирующих материалов.

С учетом (13) выражение для Δ_1 примет вид

$$\Delta_1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1 + \frac{a_2 \lambda^2}{\lambda^2 - b_2^2}}{1 + \frac{a_1 \lambda^2}{\lambda^2 - b_1^2}} \right). \quad (14)$$

Дифференцируя (14) получаем

$$\frac{\partial \Delta_1}{\partial \lambda} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\frac{\partial n_2^2}{\partial \lambda}}{\frac{\partial n_1^2}{\partial \lambda}} \right), \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta_1}{\partial \lambda^2} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\frac{\partial^2 n_2^2}{\partial \lambda^2}}{\frac{\partial^2 n_1^2}{\partial \lambda^2}} \right). \quad (16)$$

Введем обозначение $\tilde{V}^2 = \frac{V^2}{2\Delta_1}$ и запишем формулу для V с учетом (13) в виде

$$\tilde{V}^2 = 4\pi^2 a^2 \left(\frac{1}{\lambda^2} + \sum_{i=1}^3 \frac{a_i \lambda^2}{\lambda^2 - b_i^2} \right), \quad (17)$$

Из (17) получим формулы для производных первого и второго порядка

$$\frac{\partial \tilde{V}^2}{\partial \lambda} = 4\pi^2 a^2 \left(-\frac{2}{\lambda^3} + \frac{\partial n_2^2}{\partial \lambda} \right), \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 \tilde{V}^2}{\partial \lambda^2} = 4\pi^2 a^2 \left(\frac{6}{\lambda^4} + \frac{\partial^2 n_2^2}{\partial \lambda^2} \right), \quad (19)$$

Графические зависимости второй производной \tilde{V} первой и второй производной Δ от длины волны излучения позволяют проанализировать нормированную частоту и высоту профиля показателя преломления ОБ, используемые для расчета постоянной распространения. Меняя коэффициенты в формуле Селмейера, можно увидеть зависимость спектральных характеристик от концентрации легирующего материала и подобрать их таким образом, чтобы обеспечить требуемое качество передачи данных.

Для определения в формуле (8) параметра моды, воспользуемся следующим вариационным уравнением

$$U \frac{J_1(U)}{J_0(U)} = W \frac{K_1(W)}{K_0(W)}. \quad (20)$$

Волноводные параметры, входящие в это уравнение удовлетворяют условию

$$V^2 = W^2 + U^2. \quad (21)$$

После записи без делителей и дифференцирования уравнение (20) можно представить в виде

$$A_U \frac{dU}{d\lambda} = A_W \frac{dW}{d\lambda}, \quad (21)$$

где $A_U = J_1 K_0 + U J_1' K_0 - W K_1 J_0'$, $A_W = K_1 J_0 + W K_1' J_0 - U J_1 K_0'$.

Это выражение можно записать через производные квадратов волноводных параметров

$$A_U \frac{dU^2}{d\lambda} \frac{1}{2U} = A_W \frac{dW^2}{d\lambda} \frac{1}{2W}. \quad (22)$$

Дифференцируя (20) и подставляя в полученное выражение $\frac{dW^2}{d\lambda}$ из (17) приходим к уравнению

$$\frac{dU^2}{d\lambda} = \tilde{A} \frac{dV^2}{d\lambda}, \quad (23)$$

где $\tilde{A} = \frac{U A_W}{W A_U + U A_W}$.

Дифференцируя (22) получаем

$$\frac{d^2 U^2}{d\lambda^2} = \tilde{A} \frac{d^2 V^2}{d\lambda^2} + \frac{W A_U \frac{d(U A_W)}{d\lambda} - U A_W \frac{d(W A_U)}{d\lambda}}{(W A_U + U A_W)^2}. \quad (24)$$

Полученные аналитические формулы могут использоваться для расчета производных волноводных параметров ступенчатых оптических волокон, необходимые параметры которых берутся из справочников, например [5]. (SMF28)

Для расчета параметра моды можно воспользоваться методом приближения Гаусса [2–3], который основан на аппроксимации радиальной зависимости поля основной моды функцией Гаусса

$$F(R) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{R}{R_0}\right)^2\right], \quad (25)$$

где $R = r/a$ – приведенный радиус, R_0 – приведенный эквивалентный радиус пятна моды.

Параметр основной моды при использовании приближения Гаусса определяется следующим выражением [6]

$$U^2 = \frac{2}{R_0^2} \int_0^\infty \left[\left(\frac{dF_0(R)}{dR} \right)^2 + V^2 f(R) (F_0(R))^2 \right] R dR, \quad (26)$$

где $f(R)$ – функция, задающая профиль показателя преломления.

Показатель преломления определяется выражением

$$n^2(R) = n_{ax}^2 [1 - 2\Delta f(R)], \quad (27)$$

n_{ax} – значение показателя преломления на оси волокна, вид $f(R)$ может быть любым, но в настоящее время наибольший практический интерес представляет степенная функция $(r/a)^g$. На основе выражений (26), (27) и вариационного уравнения для определения R_0

$$\frac{dU^2}{dR_0} = 0 \quad (28)$$

в [6] получено характеристическое уравнение для R_0

$$1 + V^2 S_1 = 0 \quad (29)$$

и выражение для параметра моды

$$U^2 = \frac{1}{R_0^2} + V^2 S_0. \quad (30)$$

S_0 и S_1 определяются по формуле

$$S_i = \sum_{p=1}^m h_p \left[(p\Delta R)^{2i} \exp\left(-\frac{p^2 \Delta R^2}{R^2}\right) - \right. \quad (31)$$

$\left. - ((p+1)\Delta R)^{2i} \exp\left(-\frac{(p+1)^2 \Delta R^2}{R^2}\right) \right]$
 h_p – параметр аппроксимации для $f(R)$, mR^2 количество узлов сетки для аппроксимации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика позволяет определить спектральные зависимости производной первого и второго порядка от высоты профиля и нормированной частоты, зависимость длины волны нулевой дисперсии от высоты профиля, определить влияние параметра моды на хроматическую дисперсию, а через нее можно определить бюджет линии связи, уровень оптической мощности выходы канала передачи и т.д.

Особенностью данной работы является то, что приведенные процедуры позволяют достаточно точно определить параметры передачи информации в различных окнах прозрачности оптического волокна и оценить уровень суммарной мощности и коэффициента ошибок для различных диапазонов излучаемых передатчиком длин волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М., 2004.
2. Снайдер А. Теория диэлектрических волноводов / А. Снайдер, Дж. Лав. – М., 1987.

3. Бурдин В.А. Основы моделирования кусочно-регулярных волоконно-оптических линий передачи сетей связи. – М., 2002.

4. Андреев Р.В. Исследование спектральных зависимостей производных характеристик слабото направляющих одномодовых оптических волокон // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Сер.научная сессия, посвященная Дню радио. Вып. LX, Т. 2. – М., 2005.

5. Листвин А.В. Оптические волокна для линий связи. – М., 2003.

6. Андреев Р.В. Анализ зависимостей параметров хроматической дисперсии круглых слабото направляющих оптических волокон от профиля показателя преломления // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Сер.научная сессия, посвященная Дню радио. Вып. LX, Т. 2. – М., 2005.

УДК: 534.833:621

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАШИН

Ф.С. Сабиров,
д-р техн. наук, профессор,
Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН»
E-mail: FANIRA5057@yandex.ru

М.П. Козочкин,
д-р техн. наук, профессор,
Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН»
E-mail: astra-mp@yandex.ru

Аннотация. Снижение шума и вибраций машин, особенно используемых в быту, является сложной задачей, где приходится искать компромиссное решение между качеством экологических показателей и стоимостью. Исследование причин виброакустической активности машин и путей рациональной модернизации конструкции с помощью математического и физического моделирования показано на примере садового трактора.

Ключевые слова: шум, вибрации, виброакустическая активность, упругая система, жесткость, демпфирование, АЧХ.

Abstract. Decrease of noise and vibrations of the machines especially household one is a great challenge where it is necessary to search for the compromise solution between quality of ecological indicators and cost. Research of the vibroacoustic reasons and the ways of rational design modernization by means of mathematical and physical modeling is shown on an example of a garden tractor.

Keywords: noise, vibration, vibroacoustic, elastic system, stiffness, damping effect, amplitude frequency response.

Вибрация и шум является одним из основных вредных производственных факторов [1, с. 10], поэтому одной из актуальных задач исследователей на современном этапе является создание эффективных

технических средств виброакустической защиты производственного персонала от их воздействия. Среди отечественных исследователей в этом направлении следует отметить работы Синева А..В. [12, с. 22], Сажина Б.С. [7, с. 96], Кочетова О.С. [10, с. 91; 11, с. 90], Сабирова Ф.С. [4, с. 3; 6, с. 35], Козочкина М.П. [3, с. 15; 2, с. 20], Шестернинова А.В. [5, с. 15], Ходаковой Т.Д. [12, с. 22; 13, с. 12;], Щербакова В.И. [9, с. 93] и многих других.

Одним из достаточно эффективных и вместе с тем простых, в смысле технической реализации, средств виброзащиты являются виброзащитные сиденья для человека-оператора, которые находят широкое применение в различных областях промышленности. На рис.1 изображен общий вид виброзащитного сиденья с равночастотными свойствами [7, с. 96], которая содержит механизм стабилизации крена, состоящий из цилиндрического корпуса 1, к которому крепится подушка сиденья, кареток 2 и 3 с упругими элементами 4 и 5, причем корпус 1 через ось 6 соединен с параллелограммным механизмом, состоящим из подвижной 7 и неподвижной 10 П-образных скоб. Рычаги 9 параллелограммного механизма расположены в опорах качения 8, а упругий элемент 11 имеет возможность настройки заданной на вес оператора жесткости системы посредством регулирующего механизма 12. Вертикальные вибрации, передаваемые на сиденье оператора, гасятся упругим элементом 11, а горизонтальные – упругими элементами 4 и 5 в механизме стабилизации крена.

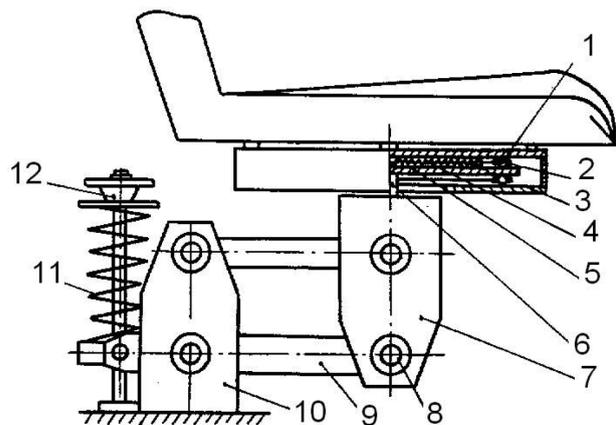


Рис.1. Общий вид подвески виброзащитного сиденья с направляющим механизмом параллелограммного типа

Математическая модель (рис. 2) этой система виброизоляции описывается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений [7, с. 98]:

$$\begin{cases} m_1 s^2 Z_1 + b_1 s (Z_1 - Z_2) + c_1 (Z_1 - Z_2) = 0, \\ m_2 s^2 Z_2 + b_1 s (Z_2 - Z_1) + c_1 (Z_2 - Z_1) + b_2 s (Z_2 - U) + c_2 (Z_2 - U) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Для анализа виброизолирующих свойств системы введем в рассмотрение ее передаточную функцию $T(s)$ по каналу «виброскорость основания – виброскорость сиденья», где $s = j\omega$ комплексная частота, j – мнимая единица, ω – круговая частота колебаний. Передаточную функцию $T(s)$ нетрудно найти из (1) посредством метода преобразования Лапласа:

$$T(s) = \frac{z_2}{U} = \frac{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(b_2 s + c_2)}{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(m_2 s^2 + b_1 s + c_1 + b_2 s + c_2) - (b_1 s + c_1)^2} \quad (2)$$

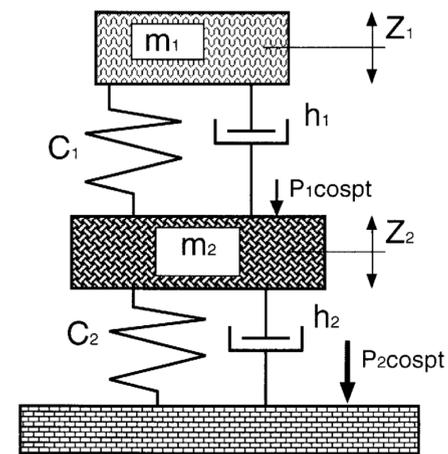


Рис. 2. Математическая модель виброизолирующего сиденья человека-оператора с учетом его биомеханических характеристик

Рассмотрим некоторые аспекты моделирования на примере трактора-косилки мод. АJ5190, который является типовой машиной для

применения в садово-парковом хозяйстве и на дачных участках. Основные нарекания со стороны потребителей касаются повышенного шума [4, с. 3], излучаемого трактором в окружающую среду, и вибраций, воздействующих на руки и ноги оператора в процессе работы трактора.

Исследования начинаются с поиска основной причины повышенного шума и вибраций [6, с. 36]. На рис. 3 показаны 1/3 октавные спектры шума трактора на максимальных и средних оборотах двигателя (графики 1 и 2), кривая 3 показывает границы санитарных норм [1, с. 5] для рабочего места.

Максимумы динамической податливости (АЧХ) этих элементов лежат в диапазоне оборотных частот двигателя и его половинной и второй гармоник. Например, первая собственная частота двигателя, закрепленного на раме, составляет 23 Гц, собственная частота подножки – 90 Гц, руля – 17 Гц.

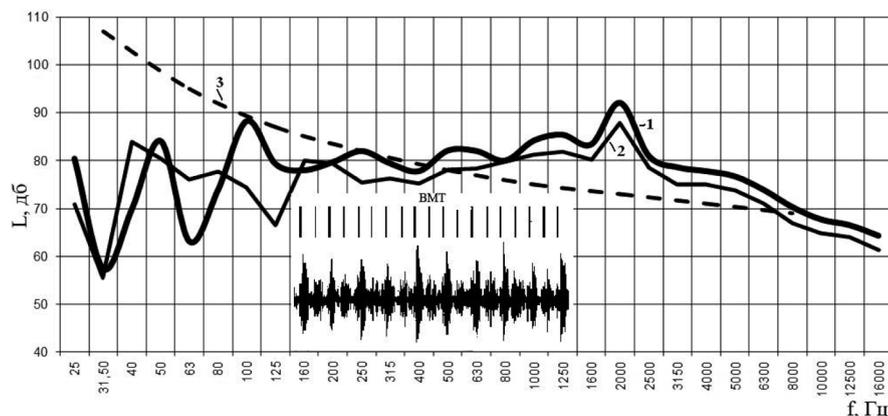


Рис. 3. Треть октавные спектры звукового давления при работе двигателя на максимальных и средних оборотах

Это наблюдение позволило воздействию со стороны двигателя в упрощенном варианте модели заменить периодической возмущающей силой P .

Обозначения на рис. 4 соответствуют: C_i – жесткость крепления элементов с массой m_i (m_1 – масса рамы трактора, m_2 – масса двигателя, m_3 – масса ноги оператора, опирающейся на подножку), h_i – коэффициент вязкого сопротивления среды в механизме присоединения

выделенных узлов. Система уравнений, описывающих динамическую систему на рис. 2 будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + h_1 x_1 + h_2 (dx_1/dt - dx_2/dt) + h_3 (dx_1/dt - dx_3/dt) + c_1 x_1 + \\ + c_2 (x_1 - x_2) + c_3 (x_1 - x_3) = 0; \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + h_2 (dx_2/dt - dx_1/dt) + c_2 (x_2 - x_1) = P \sin \omega t; \\ m_3 \frac{d^2 x_3}{dt^2} + h_3 (dx_3/dt - dx_1/dt) + c_3 (x_3 - x_1) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

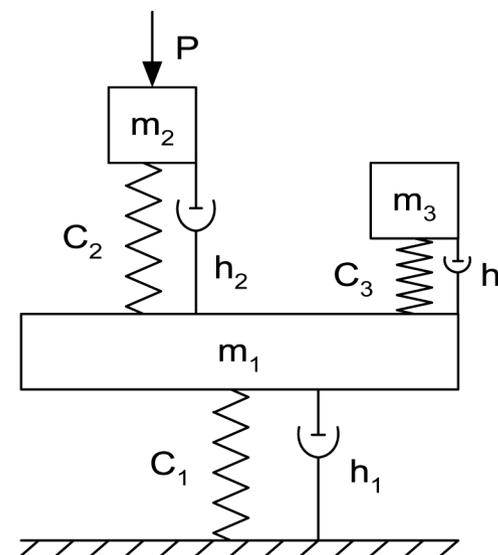


Рис. 4. Упрощенная динамическая модель трактора

Входящая в систему (3) возмущающая сила P , изменяющаяся по гармоническому закону с круговой частотой ω , имитирует работу поршня. При построении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) динамических звеньев амплитуда силы сохранялась постоянной, а частота менялась в диапазоне от 0 до 100 Гц, т. е. в том диапазоне, где присутствуют вынужденные вибрации оборотной частоты и соответствующие гармоники.

В результате решения системы уравнений (3), описывающей динамику системы на рис. 5, была построена АЧХ для массы m_3 , которая имитирует ногу оператора, а получаемая АЧХ канала передачи энергии от двигателя на массу m_3 свидетельствует о его экологическом качестве.

Сравнивая графики 1 и 2, можно увидеть, что значения АЧХ для m_3 на 40 Гц упали почти в 8 раз. Это наиболее опасная частота. Амплитуды АЧХ ниже 10 Гц выросли, но в этой области нет больших возмущений со стороны двигателя.

Итак, исследования, проведенные с помощью математического и физического моделирования, позволили найти рациональные варианты решения проблемы снижения шума и вибраций машины, например увеличение жесткости рамы трактора по углам конструкции способно снизить амплитуду колебаний на подножках в области оборотных частот до 10 раз.

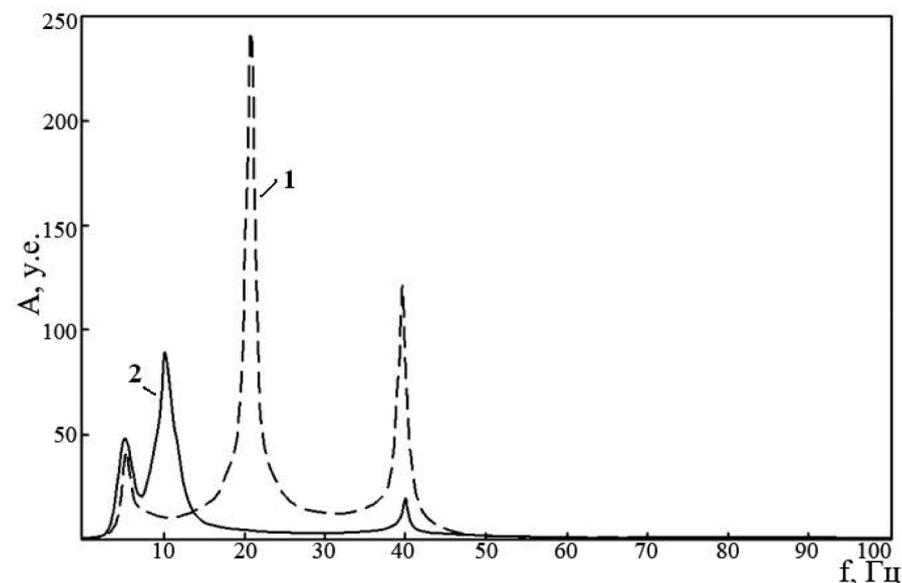


Рис. 5. АЧХ третьей массы в исходном положении (график 1) и после введения виброизоляции массы m^2 (график 2)

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 12.1.003. ССБТ ШУМ Общие требования безопасности. Издательство стандартов. – М., 1996.
- Козочкин М.П., Рогов В.А., Попиков А.Н. Исследование виброакустического излучения при твердом тчении // Технология машиностроения. № 4. 2009.

3. Козочкин М.П., Галузо Е.А., Щеглов А.А. Технология рациональной модернизации упругой системы машины для снижения вибраций в контрольных точках // Справочник. Инженерный журнал. № 2. 2010.

4. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Обеспечение санитарных норм по вибрации на основе моделирования несущей системы машины // Безопасность жизнедеятельности. № 8. 2011.

5. Кочетов О.С., Сабиров Ф.С., Козочкин М.П., Шестернинов А.В., Шестернинов В.А., Стареева М.О. Виброизолирующая система для станков // Патент РФ на изобретение № 2 451 848. Заявка от 17.03.2011. Опубликовано 27.05.2012. Бюл. № 15.

6. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Поваров И.А., Мисюков А.В. Снижение виброакустической активности машин с помощью моделирования динамической системы // Безопасность жизнедеятельности. 2012, № 5.

7. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Пирогова Н.В., Петухова И.В. Расчет динамических характеристик подвески сиденья для текстильных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2000, № 1.

8. Кочетов О.С. Расчет резиновых виброизоляторов для пневматических ткацких станков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2000, № 3.

9. Кочетов О.С., Щербаков В.И., Филимонов А.Б., Терешкина В.И. Двухмассовая механическая модель виброизолирующего помоста основовязальных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1995, № 5.

10. Кочетов О.С. Методика расчета системы виброизоляции для вязально-прошивных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1995, № 2.

11. Кочетов О.С. Методика расчета систем виброизоляции для ткацких станков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1995, № 1.

12. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Синев А.В., Ходакова Т.Д. Расчет на ПЭВМ систем виброизоляции оборудования, установленного на нежестком основании // Безопасность жизнедеятельности. 2002, № 12.

13. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Ходакова Т.Д. Методы и средства снижения шума и вибрации в текстильной промышленности // Безопасность жизнедеятельности. № 11, 2004.

УДК.621.396.67

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

В.Л. Хандамиров,
канд. техн. наук,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: victor_kh@mail.ru

Аннотация. В статье проведено исследование электродинамических моделей печатных излучателей, выявлены зависимости изменения фазы коэффициента отражения от этих излучателей от величин, включенных в них емкостных реактивных нагрузок при различных периоде решетки, диэлектрической проницаемости материала, толщине подложки, ширине вибратора.

Ключевые слова: дифракционная решетка, отражательный элемент, микрополосковый вибратор.

Abstract. Conducted the research of electrodynamic models of printed-circuit radiators, revealed the dependence of the phase of the reflection coefficient of the radiators from the values included in them capacitive reactive loads at different period of the lattice, at different dielectric permeability of a material, at different thickness of the substrate and width of the vibrator.

Keywords: diffraction array, reflective elements, microstrip vibrator.

Широкое применение в технике СВЧ находят дифракционные решетки из металлических элементов с коммутирующими устройствами. На их основе могут строиться управляемые зеркала или частотно-селективные поверхности. В данной работе рассматриваются дифракционные решетки с фазирующими элементами на основе полосковых вибраторов с сосредоточенными реактивными сопротивлениями. Электродинамическая модель представляет собой бесконечную в двух направлениях периодическую решетку элементов, на которую нормально падает плоская электромагнитная волна. Каждый элемент состоит из диэлектрической подложки, размещенной на идеально проводящем экране, на которой в свою очередь помещен полосковый вибратор. Размеры экрана и диэлектрической подложки совпадают с периодом расположения элементов,

так, что они у соседних элементов вплотную примыкают друг к другу. В качестве метода исследования выбран численный метод [1]. Этот метод может быть реализован в два этапа:

1. Создание модели решетки адекватной решаемой задаче.
2. Выполнение расчетов по определению фазы отраженного электромагнитного поля.

На рис. 1 показана диэлектрическая подложка одного элемента на экране. Модель имеет следующие параметры: период решетки T по осям x и y соответствует половине длины волны, падающей на диэлектрическую подложку, а именно: $T = 0,5\lambda = 15$ мм. Материал подложки имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 11,9$.

На поверхность подложки наносится идеально проводящий полосок, ширина которого a равна $0,01\lambda$, рис. 2. Толщина полоска t полагается равной $0,0006\lambda$, а длина равной l .

Следующим шагом в построении электродинамической модели является задание граничных условий, соответствующих поставленной задаче [2]. На идеально проводящем материале тангенциальная к его поверхности компонента напряженности электрического поля должна быть равна нулю. Для решения задачи дифракции плоской электромагнитной волны на бесконечной периодической решетке фазирующих элементов ее необходимо сопрячь с бесконечной периодической решет-

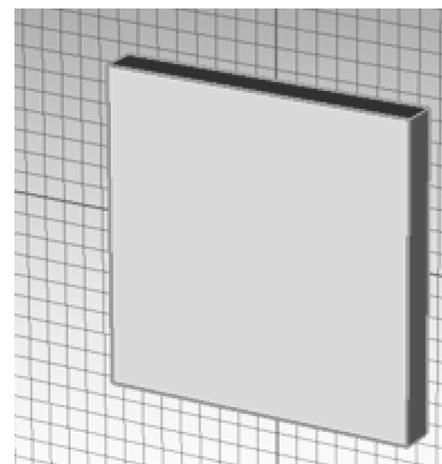


Рис. 1. Модель подложки на экране

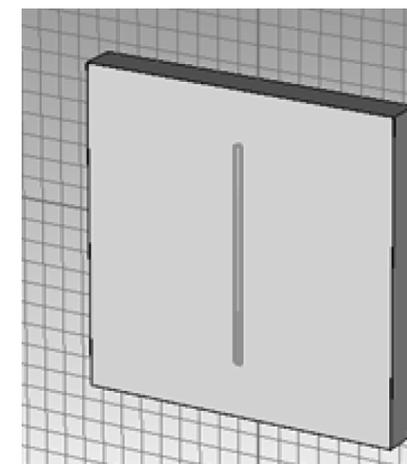


Рис. 2. Полосок на диэлектрической подложке

кой каналов Флоке, для которой справедливо следующее условие – поля в каналах отличаются лишь постоянным фазовым сдвигом по осям x и y . При нормальном падении плоской электромагнитной волны эти фазовые сдвиги будут равны нулю, и, следовательно, поля во всех каналах будут полностью идентичны.

Построенная электродинамическая модель была использована для выполнения ряда расчетов, показывающих зависимости характеристик элемента от его параметров.

На рис. 3 показаны зависимости фазы коэффициента отражения от длины вибратора при различных толщинах подложки с $\epsilon = 11,9$. При увеличении толщины подложки от значения $d_1 = 0,20\lambda/\sqrt{\epsilon}$ до $d_4 = 0,30\lambda/\sqrt{\epsilon}$ крутизна кривых в области быстрого изменения фазы уменьшается. Помимо этого изменяется и число таких областей, если при $d_1 = 0,20\lambda/\sqrt{\epsilon}$ и при $d_2 = 0,25\lambda/\sqrt{\epsilon}$ таких областей – две, то при $d_1 = 0,20\lambda/\sqrt{\epsilon}$ и $d_4 = 0,30\lambda/\sqrt{\epsilon}$ – одна. Дальнейшее увеличение толщины подложки вызывает уменьшение крутизны в кривых, и эта область смещается в сторону меньших значений l , например, при $d_4 = 0,30\lambda/\sqrt{\epsilon}$. При $d_5 = 0,40\lambda/\sqrt{\epsilon}$ резкое изменение не наблюдается совсем, и значения φ остаются неизменными при любых l . Фаза φ не зависит от длины вибраторов и для остальных толщин подложки до $d_6 = 0,50\lambda/\sqrt{\epsilon}$.

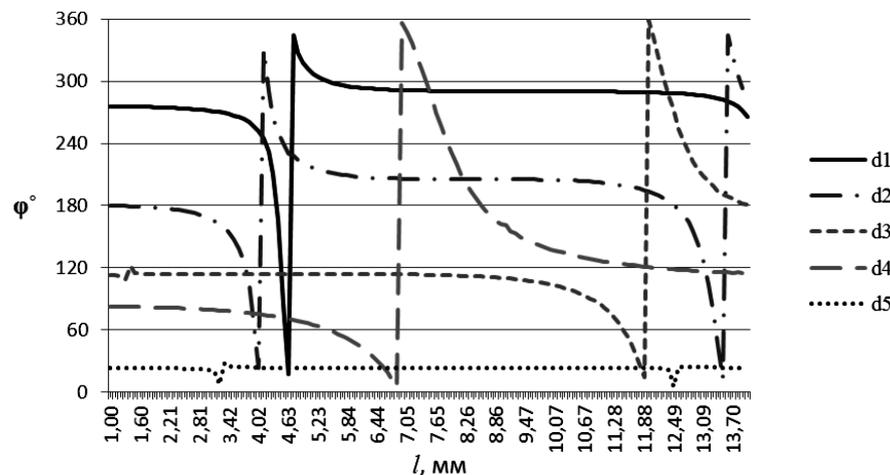


Рис. 3. Графики фазы коэффициента отражения в зависимости от длины полоскового вибратора

Эти расчеты позволяют определить толщины подложек, обеспечивающие более быстрое изменение фазы отраженного электромагнитного поля при изменении других параметров элемента. Одним из способов управления фазой коэффициента отражения от элемента может являться внесение в определенное место на полоске управляемого или не управляемого реактивного сопротивления. Ниже исследуется влияние реактивного сопротивления, имеющего емкостной характер, на диапазон изменения фазы коэффициента отражения. С этой целью была изменена первоначальная электродинамическая модель с учетом внесенного реактивного сопротивления (рис. 4). В разрыв полоска вставлено емкостное реактивное сопротивление.

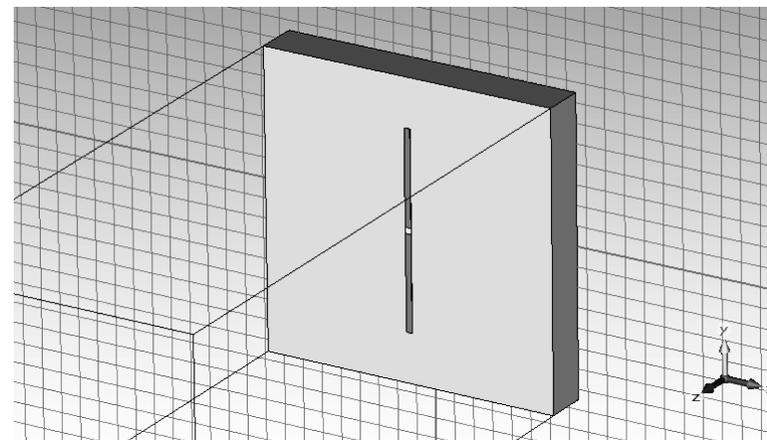


Рис. 4. Полосок с внесенным в его центре реактивным сопротивлением

Включение в вибраторы сосредоточенных реактивностей приводит к смещению по оси l фазовых кривых. Исследование проводилось для решетки с ячейкой $T = 0,5\lambda$ и шириной вибратора $a = 0,01\lambda$, расположенной на металлизированной подложке толщиной $d = 0,25\lambda/\sqrt{\epsilon}$. Зависимость фазы коэффициента отражения от длины вибратора имеет вид, представленный на рис. 5 (кривая $X_c = 0$ соответствует случаю, когда реактивное сопротивление отсутствует, кривая соответствует случаю, когда в центре вибратора включено реактивное сопротивление -1000 Ом, третья кривая соответствует случаю, когда сопротивление равно -10000).

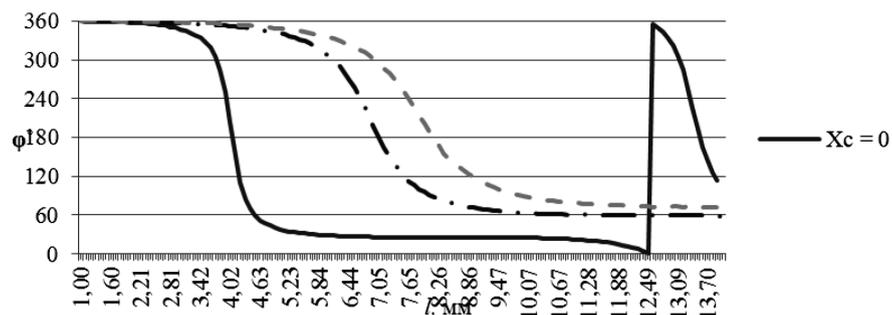


Рис. 5. Графики фазы коэффициента отражения в зависимости от длины полоскового вибратора при включенных реактивных сопротивлениях

Таким образом, при правильном выборе параметров решетки, величины и места расположения реактивностей можно добиться требуемых сдвигов фаз. Численный анализ показал, что максимальный сдвиг фаз между кривыми, соответствующими значениям сопротивления 0 и -1000 Ом , составляет $303,4^\circ$ при длине вибратора $l = 5,13 \text{ мм}$.

Представляет интерес расчет зависимости фазового сдвига от величины реактивного сопротивления. Этот расчет был выполнен для длины полоска $l = 5,13 \text{ мм}$ и представлен в виде графика на рис. 6. Как показывает график, наиболее существенные изменения фаз имеют место при изменении модуля реактивного сопротивления в диапазоне от 80 до 1000 Ом .

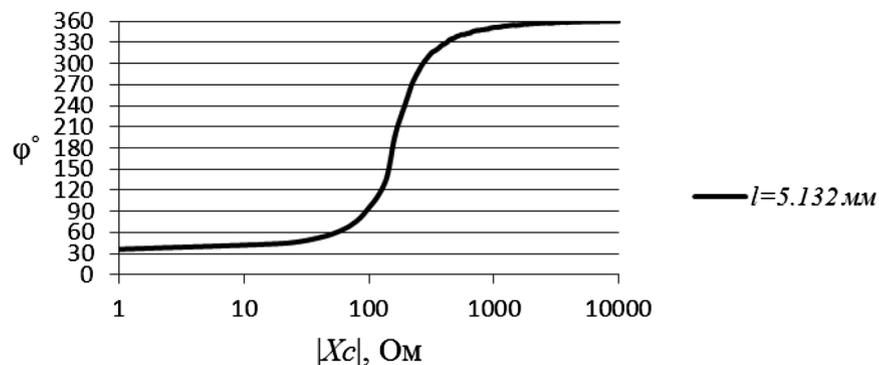


Рис. 6. График зависимости величины фазового сдвига от значения реактивного сопротивления

Фаза коэффициента отражения существенно зависит также от периода решетки. На графике приведена зависимость, иллюстрирующая изменения фазы от длины вибратора для различных периодов решетки T : кривая 1 – $T = 0,5\lambda$, кривая 2 – при $T = 0,4\lambda$, кривая 3 – при $T = 0,45\lambda$, кривая 4 – при $T = 0,9\lambda$ $d = 0,25 \lambda/\sqrt{\epsilon}$ $a = 0,01\lambda$.

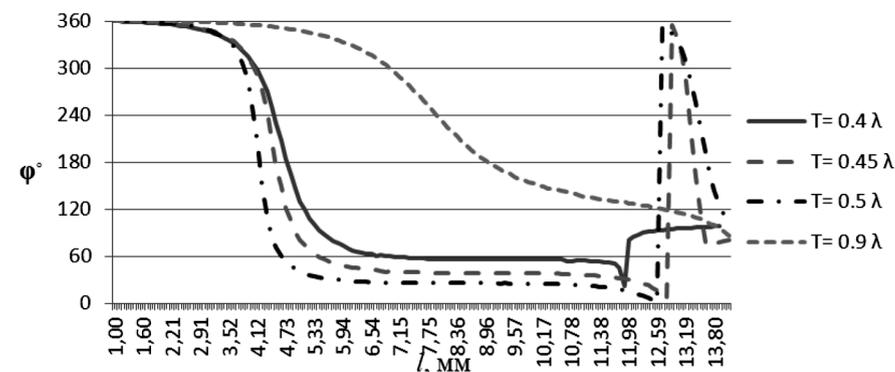


Рис. 7. Графики фазы коэффициента отражения в зависимости от длины полоскового вибратора при различных периодах решетки

Видно, что скорость изменения фазы при увеличении T вначале растет, а затем уменьшается.

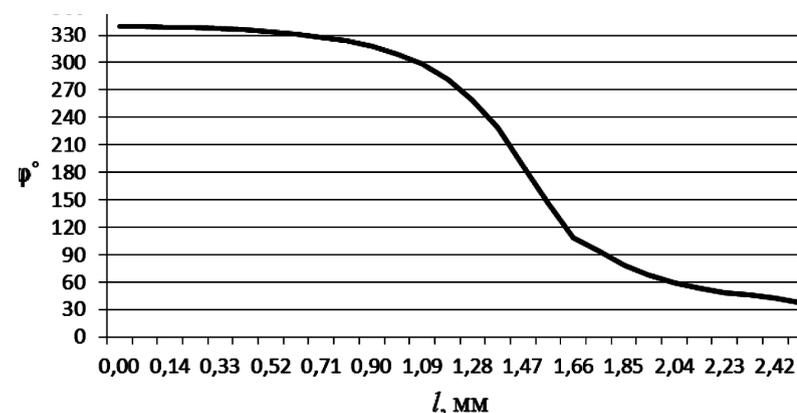


Рис. 8. Зависимость фазы коэффициента отражения от положения реактивного сопротивления

На рис. 8 показана зависимость фазы коэффициента отражения от положения x реактивного сопротивления $X_c = -1000$ Ом. Значение $x = 0$ соответствует центру полоска. Видно, что при перемещении реактивного сопротивления от центра к краю полоска фаза коэффициента отражения изменяется в значительных пределах.

В целом проведенные расчеты показывают возможность управления фазой отраженных электромагнитных волн с помощью рассмотренных устройств и необходимость проведения дальнейших исследований по оптимизации их параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синюшин В.В., Тягунов В.А., Хандамиров В.Л. Характеристики рассеяния решеток проводников, нагруженных полными сопротивлениями // Радиоэлектронные и лазерные приборы. Труды МГТУ. – М., 1990.

2. Хандамиров В.Л. Решение задачи дифракции электромагнитного поля на решетке полосковых проводников // Вестник Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Специальный выпуск «Антенны и устройства радио- и оптического диапазонов». – М., 2009.

УДК: 66.011

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ С УТИЛИЗАТОРАМИ ТЕПЛА

Е.Ф. Баранов,
Московская государственная академия водного транспорта
E-mail: baranov.evgeniy@inbox.ru

М.О. Стареева,
Московский государственный гуманитарный университет имени
М.А. Шолохова
E-mail: stareeva@bk.ru

Аннотация. В работе рассмотрено применение экологически чистой технологии рационального использования топливно-энергетических ресурсов на конечной стадии преобразования, то есть у технологического потребителя, – на примере систем вентиляции с утилизаторами тепла.

Ключевые слова: экологически чистая технология, система вентиляции, утилизаторы тепла.

Abstract. In work application of non-polluting technology of rational use of fuel and energy resources at a final stage of transformation, that is at the technological consumer, – on an example of systems of ventilation with heat converters is considered.

Keywords: non-polluting technology, ventilation system, heat converters.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является одним из основных принципов функционирования современного промышленного производства [7, с. 50]. В этом случае осуществляется принцип регенерации энергии, результатом которого является снижение удельных расходов топлива в самом технологическом процессе. Представляют интерес приточно-вытяжные установки систем вентиляции с вращающимся и пластинчатым теплоутилизаторами [3, с. 14]. При этом большое практическое значение приобретают вопросы полезного использования энергетического потенциала отходящих от теплотехнологических установок потоков продуктов и отходов в режиме экологически чистых технологий, таких как малозумность [1, с. 80] и невысокая запыленность. Для этих целей используются малозумные

вентиляторы [4, с.12], аэродинамические глушители шума [9, с. 15; 10, с. 16] и системы очистки воздуха, устанавливаемые на выходе из систем вентиляции с теплоутилизаторами [6, с. 32]. Это направление связано с повышением коэффициента использования топлива и энергии основного технологического агрегата, в том числе за счет возврата отходящих энергетических потоков для интенсификации основного технологического процесса [5, с. 21]. При этом проводятся расчеты параметров аэродинамического шума, создаваемого вентиляционной системой [12, с. 134] и поступлений тепла в производственное помещение [13, с. 135].

Звуковая мощность W , Вт, аэродинамического шума вихревого происхождения может быть представлена следующим образом [8, с. 22]

$$W = K \frac{\rho}{c^\alpha} v_K^\gamma D_K^2, \quad (1)$$

где K – безразмерный параметр, зависящий от конструктивных особенностей вентилятора, чисел Рейнольдса и Маха; ρ – плотность воздуха, кг/м³; c – скорость звука в воздухе, м/с; D_K – наружный диаметр рабочего колеса вентилятора, м; $v_K = \pi D_K n_K / 60$ – максимальная окружная скорость колеса, м/с; α и γ – частотные характеристики показатели степени, причем $\gamma = \alpha + 3$; n_K – частота вращения, об/мин.

Октавные уровни звукового давления при различной скорости в воздуховоде определяются зависимостью:

$$P = 10 \lg \frac{W}{W_0} = \bar{L} + 10\gamma \lg \frac{n_K}{60} + 10(\gamma + 2) \lg D_K, \quad (2)$$

где $W_0 = 10$ –12 Вт – пороговое значение звуковой мощности;

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{K \rho^\gamma}{W_0 c^\alpha} - \text{отвлеченный уровень шума, который представля-$$

ет октавные уровни звуковой мощности, излучаемой вентилятором при параметрах: $D_K = 1$ м и $n_K = 1$ об/сек.

На ПЭВМ по вышеприведенным формулам и номограммам [1, с. 82] был рассчитан шум в вентилируемых помещениях, который обусловлен вентилятором со следующими характеристиками: объемный расход $Q = 950$ м³/ч; полное давление (напор) вентилятора $H = 2200$ Па (220 кГс/м²); число оборотов электродвигателя $n = 3000$ об/мин; число лопаток вентилятора $z = 12$ (лопатки загнуты назад); диаметр рабочего колеса $D_K = 340$ мм, диаметр всасывающего отверстия –120 мм, раз-

меры выходного фланца вентилятора – 125 × 125 (мм); размеры вентилируемого помещения: $D \times W \times H = 8 \times 3 \times 4,5$ (м), в качестве концевых воздухораспределительных устройств рассматривался дисковый плафон. На рис.1 приведены уровни звукового давления излучаемые: вентилятором, подающим воздух в помещение; путевой арматурой и концевыми воздухораспределительными устройствами.

На рис.2 изображена блок-схема устройства для реализации способа тепловлажностной обработки воздуха с утилизацией тепла [5, с. 11]. Предложенный способ осуществляют следующим образом. Из воздухозаборных устройств 1, расположенных в верхней зоне помещения, воздух подают воздухонагнетающим устройством 2, связанным с устройствами 1, в аппарат 3 сухой очистки воздуха, например ВЗП. Далее, посредством воздухонагнетающего устройства 4, например центробежного вентилятора, воздух подают в аппарат 5 увлажнения и мокрой очистки от мелкодисперсной пыли, а в то же время в климатической установке 6 осуществляют очистку и нагрев наружного воздуха.

Аппарат для тепловлажностной обработки воздуха [2, с. 18] (рис.3) состоит из двух ступеней: первая ступень представляет собой многофункциональный аппарат со встречными закрученными потоками и предназначена для очистки от пыли рециркуляционного воздуха, поступающего из помещения и имеющего положительную температуру, а также для увлажнения воздуха, и включает в себя корпус 1 с емкостью 2 для сбора жидкости, в которой расположен насос 20 с фильтром 19 для осуществления рециркуляции жидкости по трубопроводу 21 и подачи ее в блок орошения 5, который выполнен в виде, по крайней мере, двух круговых трубчатых коллекторов с равномерно распределенными по внутренней поверхности центробежными форсунками. Трубопровод 21 для рециркуляции жидкости содержит регулирующий клапан-смеситель 22 для подключения к системе водоснабжения посредством трубопровода 23 к источнику 24 подачи охлажденной воды от холодильной машины, или артезианской скважины, или емкости с запасом ледниковой воды.

Вторая ступень устройства выполнена в виде теплообменного аппарата смешения и включает в себя: входной патрубок камеры смешения 7, центробежную камеру смешения 8, диффузор 9, конфузор 10, раскручиватель 11, выходной патрубок 12. Потоки воздуха 13 и 14 – это рециркуляционные потоки воздуха, 15 – поток наружного воздуха, 16 – поток обработанного воздуха. Центробежная камера смешения 8

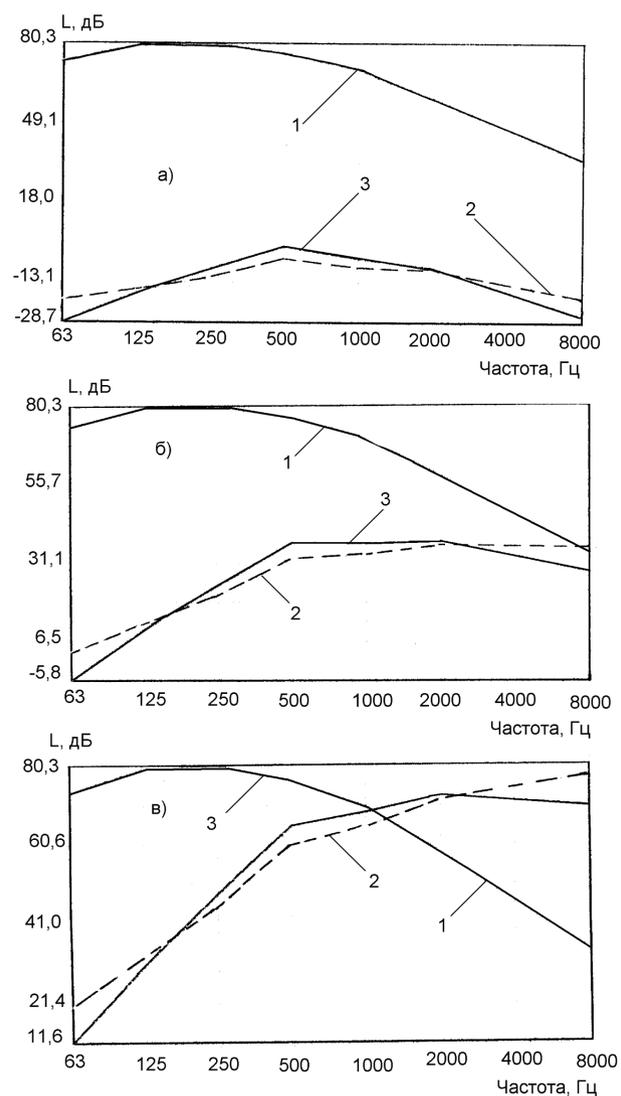


Рис. 1.Октавные уровни звукового давления при различной скорости в воздуховоде:

а) 2 м/сек; б) 5 м/сек; в) 10 м/сек, излучаемые: 1 – вентилятором, подающим воздух в помещение; 2 – путевой арматурой; 3 – концевыми и воздухораспределительными устройствами. После чего воздушные потоки аппарата 5 и установки 6 направляют в блок 7, где осуществляют смешение этих потоков. Воздух заданных параметров из блока 7 подают через устройства для раздачи воздуха 8 в обслуживаемое помещение

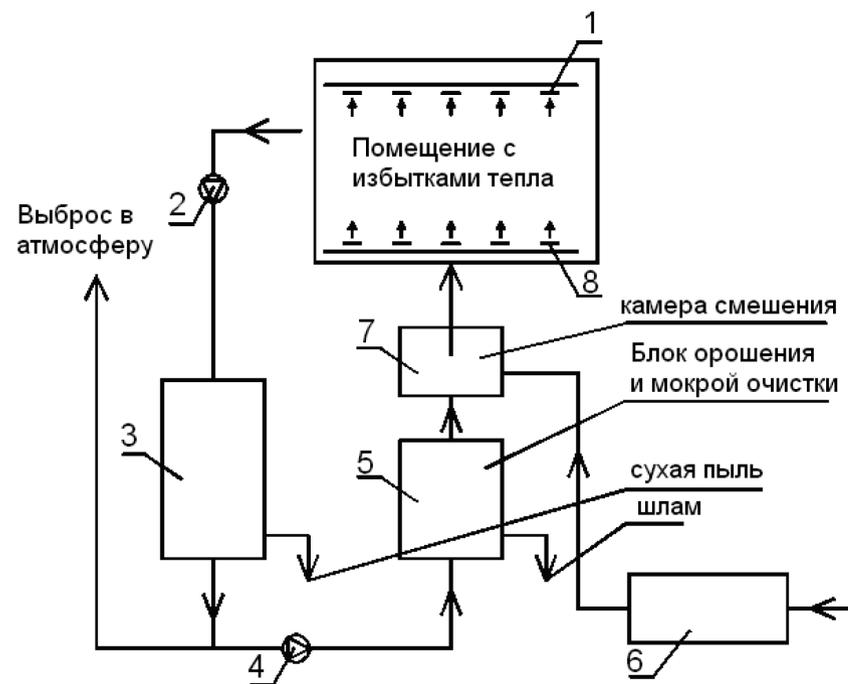


Рис. 2. Схема системы для тепловлажностной обработки воздуха

выполнена по габаритному внешнему размеру – диаметру D , больше, чем габаритный внешний размер корпуса 1 многофункционального аппарата – диаметр D_1 .

Необходимым условием оптимальной работы аппарата является равномерный факел распыла жидкости, который реализуется расходной характеристикой форсунки [11, с. 13]. Основным преимуществом разработанного аппарата является возможность проведения процессов увлажнения, смешения, санитарной очистки от мелкой пыли, а также возможность повторного использования тепла и влаги больших объемов рециркуляционного воздуха (до 90%).

Данный способ позволяет достичь заданных параметров приточного воздуха в более широком диапазоне влажности, при этом повышение производительности систем тепловлажностной обработки воздуха осуществляется путем утилизации тепла на базе аппаратов со встречными закрученными потоками.

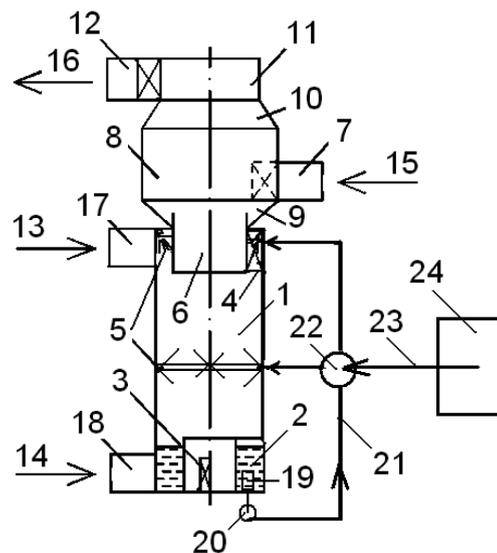


Рис. 3. Схема аппарата для тепловлажностной обработки воздуха

Таким образом, незначительное понижение температуры приточного воздуха и повышение его влажности позволяет снизить требуемый объем подаваемого в помещение воздуха до 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Е.Ф., Кочетов О.С. Методика расчета параметров аэродинамического шума, создаваемого вентиляционной системой // Речной транспорт (XXI век). 2010. № 6.
2. Кочетов О.С., Стареева М.О. Аппарат для тепловлажностной обработки воздуха/ Патент РФ № 2450214. Бюл. изобретений № 13, опублик. 10.05.2012 г.
3. Кочетов О.С. Приточно-вытяжная установка с теплоутилизатором/ Патент РФ № 2282794. Бюл. изобретений № 24, опублик. 27.08.2006 г.
4. Кочетов О.С. Малошумный вентилятор/ Патент РФ № 2302560. Бюл. изобретений. № 19, опублик. 10.07.2007 г.
5. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Сажин В.Б., Чунаев М.В., Сажина М.Б. Способ тепловлажностной обработки воздуха с утилизацией тепла/ Патент РФ № 2346209. Бюл. изобретений. № 4, опублик. 10.02.2009 г.

6. Кочетов О.С. Двухступенчатая установка для очистки воздуха от пыли // Экология и промышленность России. 2009. №10.

7. Кочетов О.С. Расчет воздушных теплоутилизаторов для приточно-вытяжных устройств систем вентиляции // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 10.

8. Кочетов О.С. Расчет малошумной системы вентиляции // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1.

9. Кочетов О.С. Многосекционный глушитель шума/ Патент РФ № 2062889. Бюл. изобретений. № 18, опублик. 27.06.1996 г.

10. Кочетов О.С. Глушитель шума выпуска пневмоклапанов / Патент РФ № 2062890. Бюл. изобретений. № 18, опублик. 27.06.1996 г.

11. Кочетов О.С. Форсунка Кочетова для систем испарительного охлаждения воды / Патент РФ № 2391142. Бюл. изобретений. №16, опублик. 10.06.2010 г.

12. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Ходакова Т.Д., Буртик И.С., Бородина Е.С., Куличенко А.В. Расчет параметров аэродинамического шума, создаваемого вентиляционной системой аппаратов с виброкипящим слоем // Успехи в химии и химической технологии. Т. XVIII. № 2(42). 2004.

13. Кочетов О.С., Чунаев М.В., Бородина Е.С., Кереметин П.П., Шестаков С.С., Сажин В.Б., Артемьева Л.А. Методика определения поступлений тепла в производственное помещение // Успехи в химии и химической технологии. Т. XVIII. № 6(46). 2004.

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 630*.453

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТЬЮ ЧЛЕНИСТОНОГИХ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЛИСТВЫ В ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЯХ МОСКВЫ

Д.А. Белов,
канд. биол. наук, доцент,
Московский государственный университет леса
E-mail: belov@mgul.ac.ru

Н.К. Белова, канд. биол. наук, доцент,
Московский государственный университет леса
E-mail: belov@mgul.ac.ru

Аннотация. В статье предлагается общая схема организации интегрированной системы управления численностью членистоногих вредителей листвы в городских насаждениях Москвы.

Ключевые слова: интегрированная система управления численностью членистоногих вредителей, городские насаждения, базы данных.

Abstract. In the article the general scheme of the integrated management system number arthropod pests in urban foliage stands Moscow.

Keywords: integrated management system number arthropod pests, urban planting, database.

Создание системы управления численностью популяций насекомых не является одноактным действием, это непрерывный адаптивный, самокорректирующийся процесс.

В городских условиях наиболее перспективно проведение истребительных мероприятий, дополняемое поддержанием либо искусственным запуском естественных механизмов регуляции численности.

Чаще всего пусковым механизмом применения активных истребительных мероприятий является превышение популяцией такого эколого-экономического критерия, как индекс угрозы [1, с. 86–87] или порог вредоносности (ожидается, что экономический ущерб превысит затраты на защитные мероприятия). В городских условиях необходи-

мость снижения численности вредителя ниже экономического порога вредоносности следует сопоставлять с возможными экологическими и экономическими последствиями проведения тех или иных мероприятий, а в экстремальных случаях решение о целесообразности мероприятий может приниматься и без подсчета (учета) экономических потерь [4, с. 239–245].

Ниже приведена общая схема организации интегрированной системы управления численностью членистоногих вредителей листвы в городских насаждениях Москвы и ее расшифровка.

Подуровень 1. Проводится на основе актуализирующейся информации, содержащейся в Базе знаний (см. подуровень 8).

Подуровень 2. Проводится в виде специального (рекогносцировочного и детального) надзора.

Подуровень 3. Проводится по широко используемым методикам [2–3].

Подуровень 4. Анализ ситуации, с использованием мобильной и стационарной информации, имеющейся в Базах данных и знаний (см. подуровень 8).

Подуровень 5. Формирование и перманентная актуализация информации, содержащейся в Базах данных и знаний в течение вегетационного периода и по его итогам ежегодно (см. подуровень 8).

Подуровень 6. Интеграция данных и оценка риска вспышки массового размножения вида с использованием математических моделей многолетней динамики численности его популяций.

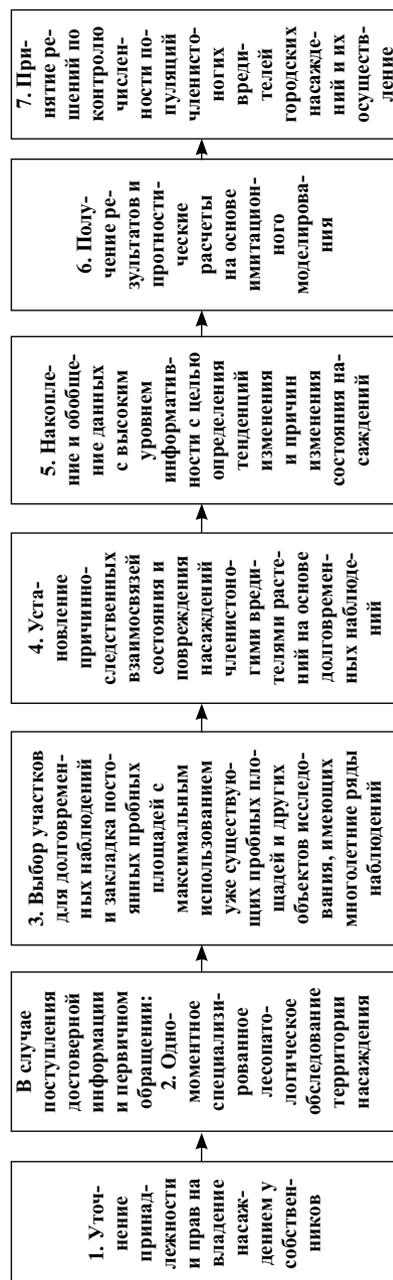
Подуровень 7. Принятие решений о проведении единичных или комплексных мероприятий по контролю численности популяций членистоногих вредителей городских насаждений путем сравнения различных альтернативных вариантов и выбора одного, наилучшим образом отвечающего заранее определенной цели или целям и их осуществление (ленты решений):

Подуровень 8. Внесение полного пакета данных за вегетационный период по насаждению в Банк данных:

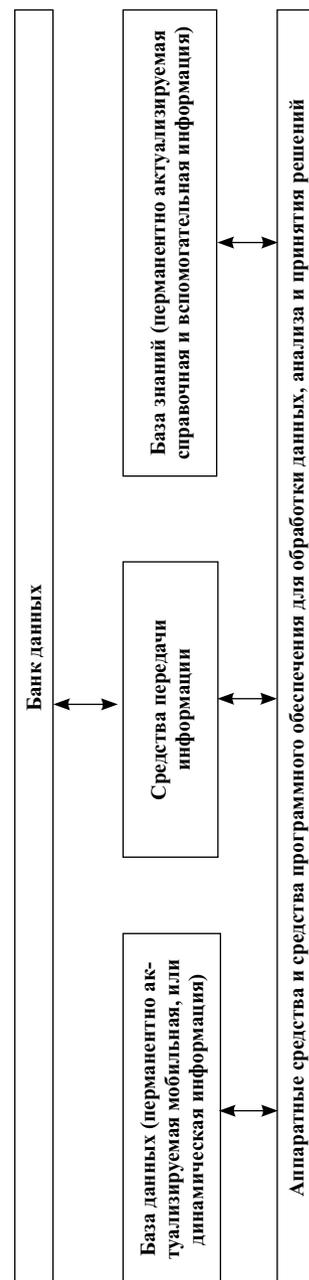
8.1. База данных (содержит перманентно актуализируемую мобильную или динамическую информацию).

8.1.1. Оперативная информация с постоянных и временных пробных площадей, пунктов постоянного наблюдения, маршрутов постоянного наблюдения (характеристика состояния городских насаждений разных экологических категорий (или объектов), а также преобладающих и наиболее ценных видов растений в разных ландшафтных и админи-

ОБЩАЯ СХЕМА
организации интегрированной системы управления численностью
членистоногих вредителей листвы в городских насаждениях Москвы



Подсхема функционирования Банка данных:



стративных частях территории города с указанием причин нарушения состояния и размеров нанесенного ущерба, данные об установленных случаях нарушения состояния насаждений природными и антропогенными факторами.

8.1.2. Данные прошлых лет (архивная или статическая информация).

8.1.3. Характеристика проведенных мероприятий в городских насаждениях, их объем и эффективность.

8.1.4. Данные о существующих в данном сезоне очагах членистоногих вредителей растений с указанием их распространения по территории, площади очагов, численности вредителей.

8.1.5. Аналитическая информация и прогностические данные (имитационные модели развития ситуации).

8.1.6. Итоговая информация (пакет принятых решений).

8.2. База знаний (содержит перманентно актуализируемую справочную и вспомогательную информацию).

8.2.1.1. Перечень владельцев и пользователей зеленым фондом города.

8.2.1.2. Схема управления территориями и зелеными насаждениями и лесами в городе (данные о городском хозяйстве и его подразделениях).

8.2.1.3. Геоинформационная подоснова – картографические данные (план города со схемой основных сооружений, транспортных путей, промышленных объектов, данные об особенностях городской застройки и плотности населения по округам и районам; схемы территорий природного комплекса с выделением отдельных экологических категорий насаждений; карты пофакторной оценки загрязнений, нарушенных территорий и комплексной оценки экологической неоднородности территории города).

8.2.1.4. Технологические и биологические справочники.

8.2.1.5. Законодательная база.

8.2.1.6. Нормативы и стандарты.

8.2.1.7. Преобразование (трансформация) природной среды на урбанизированных территориях и факторы, ее определяющие: изменение литосферы, почв, гидрологической сети и гидрологического режима, климата (данные о существующих и/или возможных на урбанизированных территориях неблагоприятных природных явлениях и процессах, их последствиях, повторяемости и периодичности; метеорологические и агроклиматические показатели текущего года и прошлых лет, характеризующие ход погодных условий и содержащие данные об экстремальных

природных явлениях и процессах в годы наблюдений), флоры (статистические данные и характеристика озелененных территорий, насаждений и лесов города; их распределение по территории и пользователям, описание отдельных крупных объектов, данные по обеспеченности округов и районов территории зеленым фондом, данные о рекреационных нагрузках на территориях городских лесов), фауны (данные о составе и структуре комплексов членистоногих вредителей растений, с разбиением их на группы по значимости и распространению, данные по их биологическим циклам и экологическим особенностям, сведения о иных группах живых организмов на урбанизированных территориях).

8.2.1.8. Характеристика состояния окружающей среды: локализация источников загрязнения окружающей среды, типы, подтипы и виды загрязнений окружающей среды, основные типы загрязнителей, в том числе связанные с транспортной нагрузкой, строительной и иной хозяйственной деятельностью человека, фоновый уровень загрязнения окружающей среды (в зависимости от экологической категории закрытого пространства или насаждения), уровень загрязнения окружающей среды по основным типам загрязнителей (в стационарных контрольных точках и на маршрутах следования мобильных лабораторий).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Н.К. Разработка критерия для выбора и назначения защитных мероприятий в насаждениях города // Тезисы докладов Второй всесоюзной научно-технической конференции «Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов». – М., 1991.
2. Воронцов А.И. Технология защиты леса. – М., 1991.
3. Мозолевская Е.Г. Урбоэкология с основами урбомониторинга: Рабочая программа и контрольные задания для студентов-заочников специальности 260500 «Садово-парковое и ландшафтное строительство». – М., 2001.
4. Мозолевская Е.Г. Целесообразность назначения защитных мероприятий от вредителей и болезней в городских насаждениях // Вестник Московского государственного университета леса // Лесной вестник. 2006. № 2 (44).

УДК 630*114.68

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*Р.Р. Бадаев,
канд. биол. наук,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: vidagon@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены особенности токсичного воздействия нефтяных разливов на биоценозы почв и их биовосстановление, основанное на стимуляции окисления углеводородов естественной микрофлорой и внесения биопрепаратов на основе специальных микроорганизмов-деструкторов.

Ключевые слова: рекультивация земель, разлив нефти, очистка почвы, микробные препараты, окисление углеводородов, загрязнение почвы, биовосстановление.

Abstract. The article presents the features of the toxic effects of oil spills on soil biocenosis and bioremediation based on the stimulation of the oxidation of hydrocarbons and natural microflora on making biological taxa special destructor microorganisms.

Keywords: land recultivation, oil spill, clean up the soil, microbial agents, oxidation of hydrocarbons, soil pollution, bioremediation.

Почвенный и растительный покров на нашей планете сокращается быстрыми темпами. Ежегодно площадь пустынь возрастает на миллион квадратных километров, а пустыни распространяются со скоростью до 60 км в год. По данным ООН, в мире только при строительстве городов и дорог ежегодно безвозвратно теряется более 300 тыс. га пахотных земель. Используя в агрономии глубокая вспашка и перекопка земли подавляет активность микроорганизмов и почвенной фауны, разрушает структуру почвы, приводит к гибели аэробных микроорганизмов, обитающих в верхних слоях почвы, и анаэробов, обитающих в нижних слоях. Анаэробы являются основными поставщиками для растений таких

биогенов, как калий, азот, фосфор, что и обуславливает их бурный рост и увеличение урожайности.

Глубокая вспашка разрушает микроструктуру поверхностных слоев почвы и микроканалы, по которым в эти слои проникают влага и кислород. В результате почва высыхает и покрывается влаго- и воздухопроницаемой коркой.

Другая причина нарушения почвенного покрова – это широкое применение различных химических средств: удобрений и пестицидов.

Одной из главных проблем современности является загрязнение почвы и, как следствие, выведение земель из сельскохозяйственного оборота. Наиболее актуальна данная проблема в нефтедобывающих странах. Для добычи нефти создается целая система сооружений, связанных различными видами коммуникаций, в том числе и трубопроводами. Часто нефтепромысловые коммуникации проходят через земельные угодья, в том числе сельскохозяйственного назначения. Россия относится к мировым лидерам по добыче и экспорту углеводородного сырья. По различным оценкам экспертов, мировые потери нефти при добыче и транспортировке составляют 3–7 % от общего объема добываемой нефти. Поступление нефти в окружающую среду происходит при утечке из поврежденных трубопроводов, при фонтанировании из разбуренных и эксплуатационных скважин. Высокая степень загрязнения приводит к отчуждению земельных угодий из сельскохозяйственного оборота, которые становятся практически непригодными для земледелия, нарушается экологическое равновесие природных ландшафтов, замедляется развитие, а при высоких концентрациях наблюдается и гибель живых организмов почвы [1, с. 69].

При загрязнении почвы нефтью верхний гумусовый слой не удаляется, существенно не разрушается рельеф местности и не происходит засыпка поверхности грунтом, но почва, пропитанная нефтью, становится токсичной и на многие годы теряет свое главное свойство – плодородие.

Утрата плодородия связана как с непосредственным гербицидным влиянием фракций нефти, так и с ухудшением агрохимических, физико-химических, агрофизических и биологических свойств почвы вследствие гидрофобности пропитанных нефтепродуктами почв. Подавляется развитие микрофлоры, что приводит к нарушению процесса почвообразования. В результате этого на большинстве загрязненных

участков в зависимости от уровня загрязнения урожай сельскохозяйственных культур резко снижается или вовсе отсутствует.

Токсичное воздействие нефтяных разливов на биоценоз почв и скорость разложения нефти зависит от химического состава нефти, от агрохимических свойств почвы, ее биологической активности, от климатических условий конкретной местности. Поэтому при планировании мер по восстановлению загрязненных территорий необходимо учитывать специфику географических условий, строение природных экосистем, характер техногенного воздействия и многое другое [5].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 февраля 1994 года № 140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» определены общие для Российской Федерации требования при проведении работ, связанных с нарушением почвенного покрова и рекультивацией земель. Они являются обязательными для использования всеми юридическими, должностными и физическими лицами, в том числе иностранными юридическими и физическими лицами.

Рекультивация нарушенных земель осуществляется для восстановления их для сельскохозяйственных, лесохозяйственных, водохозяйственных, строительных, рекреационных, природоохранных и санитарно-оздоровительных целей.

Загрязнение почвы нефтяными продуктами в большинстве случаев является намного более сложным, чем загрязнение на воде, т. к. нефть впитывается в почву и значительно осложняет ее сбор и дальнейшую утилизацию. Очистка почвы от нефти является обязательной процедурой, в случае разлива нефтепродуктов, поскольку загрязненная почва надолго остается безжизненной, а естественная рекультивация земель загрязненных нефтью может растянуться на десятилетия.

Комплекс рекультивационных работ представляет собой сложную многокомпонентную систему взаимосвязанных мероприятий, состоящих из подготовительного, технического и биологического этапов.

Наиболее важным и сложным является биологический этап, т. к. его задачами являются возобновление процесса почвообразования, повышение самоочищающей способности почвы и воспроизводство биоценозов. Биологическим этапом заканчивается формирование культурного ландшафта на нарушенных землях.

При значительных площадях загрязнения земель и водоемов наиболее приемлемым методом очистки земель и вод является повсеместно

применяемый в мировой и отечественной практике метод, использующий микробиологическое разложение нефти на месте разлива с последующим самозаращением очищенных земель или высевом многолетних трав.

Этот метод экономичен и достаточно прост в реализации и заключается в проведении на загрязненных землях ряда агротехнических мероприятий, направленных на активизацию почвенных нефтеокисляющих микроорганизмов, обладающих способностью использовать в качестве единственного источника питания углеводороды нефти, в конечном счете, разлагая их до углекислого газа и воды.

С помощью агротехнических приемов можно ускорить процесс самоочищения загрязненных нефтью почв путем создания оптимальных условий для проявления потенциальной катаболической активности углеводородокисляющих микроорганизмов, входящих в состав естественного микробиоценоза.

Одним из основных факторов, лимитирующих процесс разложения углеводородов, является газовоздушный режим загрязненной почвы. Для окисления углеводородов микроорганизмами необходимо наличие молекулярного кислорода.

Рыхление загрязненных почв увеличивает диффузию кислорода, снижает концентрацию углеводородов в почве, обеспечивает разрыв поверхностных пор, насыщенных нефтью, но в то же время способствует равномерному распределению компонентов нефти и нефтепродуктов в почве и увеличению активной поверхности взаимодействия. При этом создается оптимальный водный, газовоздушный и тепловой режим, растет численность микроорганизмов, их активность, усиливается активность почвенных ферментов, увеличивается энергия биохимических процессов [3].

В результате окислительной деятельности естественной микрофлоры за 2 месяца разлагается до 22,1% углеводородов. При создании необходимых условий, аэрации за счет регулярного (1 раз в 10 суток) рыхления почвы процент разложения нефти возрастает до 28,9%, при регулярном рыхлении и обогащении почвы биогенными элементами деструкции подвергается 30,8% углеводородов нефти. После внесения дополнительной биомассы необходимых микроорганизмов в нефтезагрязненную почву и проведения агротехнических мероприятий степень очистки может достигать 96,5% [2, с. 149–150].

Первичное окисление нефти до органических кислот, спиртов, кетонов и альдегидов обеспечивается именно углеводоро-доокисляющими

микроорганизмами. На последующих этапах разрушения продуктов первичного окисления нефти в процесс вовлекаются и другие физиологические группы почвенных микроорганизмов, простейшие и водоросли, обычно обитающие в почве и водоемах.

Биовосстановление нефтезагрязненных почв основано на стимуляции природных процессов деградации, происходящих в самой почве. Интенсификацию естественного процесса биовосстановления можно осуществлять двумя основными способами: внесением промышленных биопрепаратов на основе специальных микроорганизмов-деструкторов и использованием активной аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры.

В настоящее время в Российской Федерации разработано более 40 биопрепаратов на основе углеводородокисляющих бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов. Наиболее перспективными являются препараты, которые эффективны при уровне загрязнения от 5,0% и выше (до 20,0%). К таким препаратам относятся Дизойл, Деворойл, Родер, Нафтокс, Дестройл, Ленойл, Руден, Путидойл, Экоил, Микрозим, Петротрит и др. [4, с. 95].

Применение каждого биопрепарата, имеющего в своем составе активные формы микроорганизмов, требует создания оригинальной технологии и строгого ее выполнения в процессе использования препарата, причем для каждой почвенно-климатической зоны данная технология должна корректироваться.

В связи с этим более надежной является рекультивация нефтезагрязненных земель с использованием ассоциаций эффективных аборигенных микроорганизмов-деструкторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войно Л.И. Биодegradация нефтезагрязнений почв и акваторий // *Фундаментальные исследования: материалы конф.* 2006. № 5.
2. Бишимбаев В.К. Микробиологическая рекультивация нефтезагрязненных почв Южного Казахстана // *Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Научное творчество XXI века»* (март, 2010 г.).
3. Калюжин В.А. Очистка воды и почвы от нефти и нефтепродуктов с помощью культуры микробов-деструкторов / [Электронный ресурс] URL: <http://www.priborservice.ru/ecology031.html>.

4. Рафикова Г.Ф. Экология и деструкционная активность микроорганизмов, окисляющих углеводороды нефти // Актуальные аспекты современной микробиологии: тез. III Междунар. молодежной школы-конференции. – М., 2007.

5. Яппаров А.Х. Комплексный подход к рекультивации нефтезагрязненных почв // Современные проблемы науки и образования. №1. 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://www.science-education.ru/101-5537>.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.732.0569(075.8)

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБОВ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАРУШЕНИЙ

Г.Е. Шепитько,
д-р техн. наук, профессор,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: ge2004@yandex.ru

Аннотация. В статье эмпирическое распределение вероятности ущерба представлено в виде смеси двух логарифмически нормальных распределений.

Ключевые слова: закон распределения вероятностей, логарифмически нормальное распределение, распределение Лапласа, вероятность редких инцидентов.

Abstract. Empirical distribution of the probability of loss is represented as a mixture of two log-normal distributions.

Keywords: probability distribution law, log-normal distribution, Laplace distribution, probability of rare incidents.

Проблема оценки вероятности финансовых потоков выявлена в экономике в прошлом веке для определения стоимости акций на бирже. Впервые математическую модель для процесса биржевых цен предложил Л. Башелье в труде «Теория спекуляций», опубликованной в 1900 году. На основе которой позже в 1905 году Эйнштейн описал модель для процесса броуновского движения в физике [1, с. 12]. Но уже в 1915 году было замечено, что реальное распределение даже приращений биржевых цен отличается от нормального. При этом переход к логарифмическим приращениям не спасает ситуацию. С аналогичной проблемой столкнулись физики при анализе турбулентных потоков, распределения которых имеют более «толстые хвосты», чем логарифмически нормальное распределение [1, с. 13]. Т.е. реально наблюдаемые редкие события происходят в несколько раз чаще, чем теоретические значения, предсказанные математической моделью.

В области безопасности знание закона распределения плотности вероятности ущерба актуально для обоснования ставок страхования рисков от крупных нарушений (инцидентов).

При исследовании вопросов экономики информационной безопасности нами показано, что распределение ущерба от компьютерных нарушений подчиняется логарифмически нормальному закону только для значений вероятностей более 0,1 [2, с.56].

В работе [3, с. 46] была предпринята попытка описания редких событий типа компьютерных инцидентов логарифмическим распределением Лапласа, где предложено вместо логарифмически нормального распределения плотности вероятности использовать логарифмически лапласовское распределение (англоязычный термин – двойное экспоненциальное распределение) вида

$$P(x) = (1/2 \sigma_x) \exp - |x - m_x| / \sigma_x \quad (1)$$

где $x = 0,8686 \ln(U_{ц})$; (2)

$U_{ц}$ – размер ущерба в \$;

m_x – среднее значение x (мода распределения $U_{ц}$);

σ_x – среднее отклонение значений x от m_x .

На рис. 1 для особо важных объектов категории КТ1 представлены зависимости плотности вероятности от логарифма размера ущерба, где $B_{ерэксн}$ – эмпирические значения вероятности ущерба, $B_{ерЛН}$ – теоретические значения функции плотности вероятности для логарифмически нормального распределения, $B_{ерЛехр}$ – теоретические значения функции плотности вероятности для логарифмически экспоненциального распределения Лапласа, $B_{ерТКор}$ – теоретические значения функции плотности вероятности для скорректированного логарифмически экспоненциального распределения Лапласа.

Из рассмотрения этих зависимостей следует следующее. Логарифмически нормальное распределение Гаусса хорошо описывает эмпирическую функцию при значениях вероятности не менее уровня 0,1, логарифмически экспоненциальное распределение Лапласа – при значениях вероятности не менее уровня 0,01. В то же время экспериментальные данные указывают, что нет инцидентов с вероятностью менее 0,01.

Для устранения этого противоречия предложено в работе [3, с. 47] ввести корректирующий множитель M_k , который не требует перенормировки логарифмически экспоненциального распределения Лапласа,

но обеспечивает равенство теоретических и эмпирических значений среднего ущерба.

Тогда при использовании гауссовского множителя M_k выражение для функции плотности вероятности для скорректированного логарифмически экспоненциального распределения Лапласа примет вид

$$P_k(x) = M_k(x) \times (1/2\sigma_x) \exp - |x - m_x| / \sigma_x \quad (3)$$

$$M_k(x) = \exp - 0,5 \times (|x - m_x| / 5\sigma_x)^6. \quad (4)$$

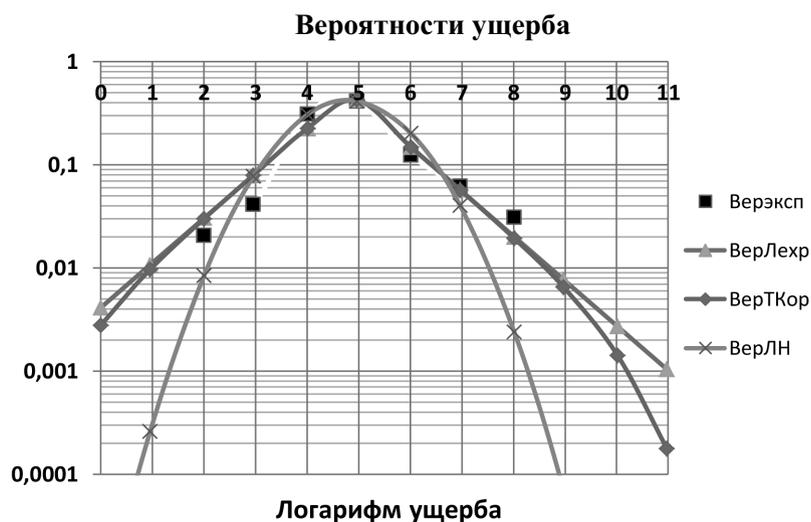


Рис. 1. Зависимость плотности вероятности от размера ущерба

Из рис. 1 следует, что благодаря корректирующему множителю при очень малых вероятностях (менее 0,01) снижение теоретических значений вероятности ускоряется. Однако субъективным остается выбор параметров корректирующего множителя.

Целью данной работы является устранение произвола в выборе параметров распределения вероятностей ущерба на основе принятия гипотезы о чередовании потока компьютерных нарушений и компьютерных инцидентов с определенными вероятностями.

Будем считать, что функция плотности вероятности наблюдаемых ущербов может быть представлена в виде

$$W_c(y_{uc}) = \alpha \times W_{ки}(y_{uc}) + \beta \times W_{ки}(y_{uc}), \quad (5)$$

где α и β – условные вероятности появления компьютерных нарушений и компьютерных инцидентов, $\alpha + \beta = 1$;

$W_{ки}(y_{uc})$ – функция плотности вероятности ущерба от компьютерных нарушений описывается логарифмически нормальным распределением

$$W_{ки}(y_{uc}) = [\sigma_1 \times 2,5]^{-1} \times \exp [-(y_{uc} - m_1)^2 / \sigma_1^2], \quad (6)$$

$W_{ки}(y_{uc})$ – функция плотности вероятности ущерба от компьютерных инцидентов представлена логарифмически нормальным распределением

$$W_{ки}(y_{uc}) = [\sigma_2 \times 2,5]^{-1} \times \exp [-(y_{uc} - m_2)^2 / \sigma_2^2], \quad (7)$$

y_{uc} – логарифм ущерба;

$$y_{uc} = a \times \ln Y_{uc}$$

$$a = \text{const};$$

$m_1, m_2, \sigma_1, \sigma_2$ – параметры распределения логарифма ущерба.

На рис. 2 представлены в логарифмическом масштабе зависимости вероятностей ущерба от наблюдаемых нарушений для различных категорий важности объектов (КТ1-КТ4), содержащих коммерческую тайну. Объем выборки – 800 нарушений, период наблюдения – 1 год.

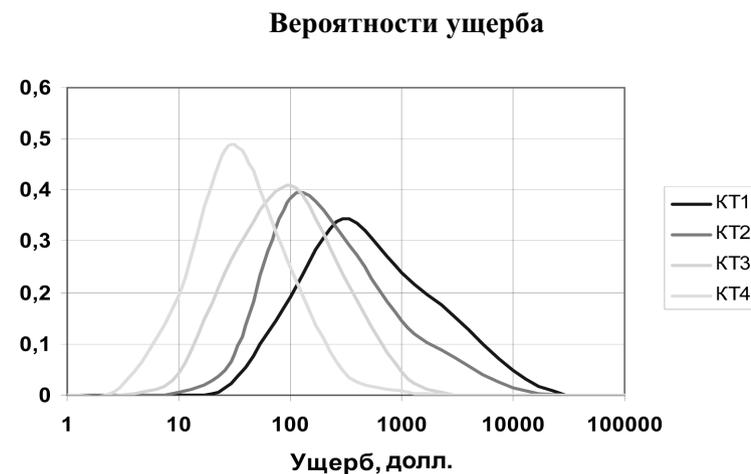


Рис. 2. Распределения вероятности ущерба

Можно заметить, что для особо важных объектов КТ1 и КТ2 эмпирические распределения имеют явно пологие «хвосты».

На рис. 3 и 4 представлены результаты декомпозиции этих эмпирических распределений в виде (5) при $a = 0,87$, $\alpha = 0,77$, $\beta = 0,22$. Получены значения параметров распределений для КТ1 – $m_1 = 5$, $\sigma_1 = 0,9$, $m_2 = 6,9$, $\sigma_2 = 0,7$ и для КТ2 – $m_1 = 4,35$, $\sigma_1 = 0,7$, $m_2 = 6,2$, $\sigma_2 = 0,7$ соответственно. Анализ полученных результатов показал, что если для идентификации компьютерных инцидентов использовать критерий $Y_{ц} \geq 1$ тыс. долл., тогда погрешность оценки их вклада не будет превышать 10%. Вклад компьютерных инцидентов не превышает 5% для менее важных объектов категорий КТ3–КТ4.

Большие ущербы обусловлены социальными последствиями отказов техники, злонамеренных действий внутренних нарушителей и действий природных источников угроз.

Вероятности ущерба объекта КТ1

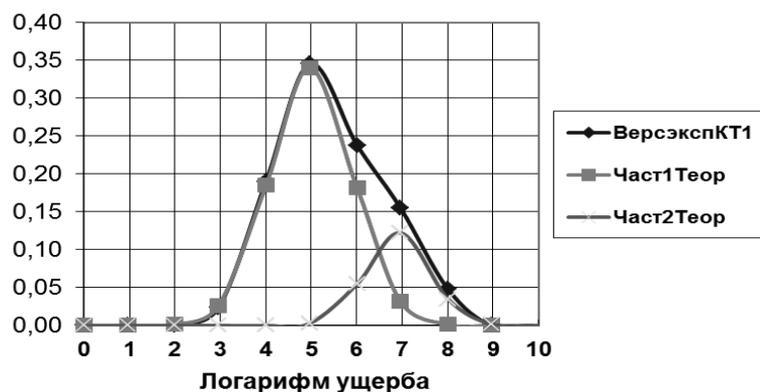


Рис. 3. Зависимости вероятности ущерба для объектов КТ1

Из полученных результатов, в частности, следует, что условная вероятность совершения компьютерного инцидента с ущербом 30 тыс. долл. не превышает 0,002.

Таким образом, впервые показано, что распределение вероятностей потока значений ущербов от последствий нарушений на объектах информатизации, содержащих коммерческую тайну, можно представить

Вероятности ущерба объекта КТ2

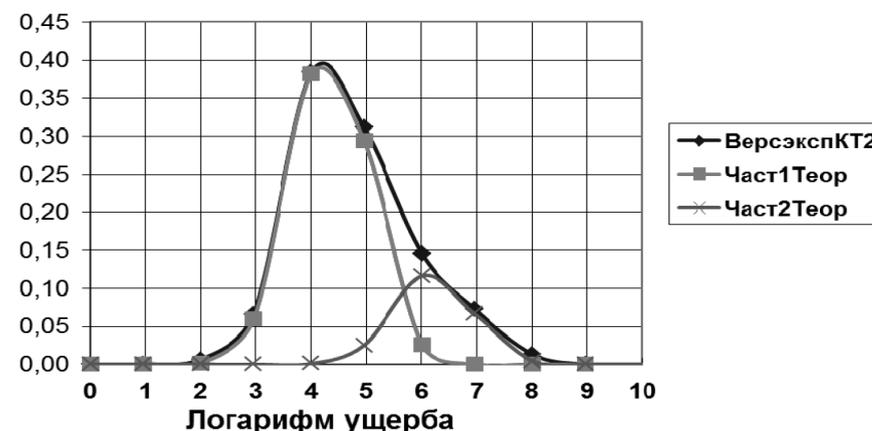


Рис. 4. Зависимости вероятности ущерба для объектов КТ2

в виде суммы двух логарифмически нормальных распределений ущербов: от компьютерных нарушений и компьютерных инцидентов. Предложен критерий идентификации компьютерных инцидентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев В.Ю. Вероятностно-статистические модели декомпозиции волатильности хаотических процессов: учебное пособие. – М., 2011.
2. Шепитько Г.Е. Экономика защиты информации: учебное пособие. – М., 2011.
3. Шепитько Г.Е. Теория информационной безопасности и методология защиты информации: учебно-методическое пособие. – М., 2012.

УДК 004.732.0569(075.8)

ТУРБУЛЕНТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОТОКА КОМПЬЮТЕРНЫХ НАРУШЕНИЙ

Г.Е. Шепитько,
д-р техн. наук, профессор,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: ge2004@yandex.ru

Аннотация. В статье обсуждается возможность описания формирования экономического риска на основе турбулентной модели безопасности.

Ключевые слова: трехмерное фазовое пространство, странный аттрактор, нелинейная регрессионная связь, экономический риск, турбулентная модель.

Abstract. A possibility to describe the formation of economic risk based on turbulent security model is discussed.

Keywords: tridimensional phase-space, strange attractor, non-linear regression relationship, economic risk, turbulent model.

Для определения рисков от инцидентов безопасности необходимо знание поведения характеристик их частоты и размера ущерба от последствий инцидентов. В предположении об эргодичности, стационарности и линейной независимости потоков инцидентов оценка риска сводится к перемножению вероятности появления инцидентов и среднего ущерба от последствий этих инцидентов.

Однако многолетние данные уголовной статистики показывают, что интенсивность преступлений характеризуется изменчивостью во времени и по территории, причем могут быть выделены долговременные, годовые, недельные и суточные циклы изменения этой интенсивности [1, с. 40]. В области экономики выявлена неоднородность и нестационарность приращений биржевых цен для циклов ограниченной (недельной) длительности [2, с. 17]. С аналогичной проблемой столкнулись физики при анализе турбулентных потоков, которыми дано определение термина: **турбулентность** – это состояние вихревого движения жидкости, в котором скорость, давление и другие характе-

ристики поля потока изменяются нерегулярно во времени и пространстве [3, с. 174].

Целью данной работы является исследование возможности описания в области информационной безопасности поведения потоков частоты и ущерба от компьютерных нарушений на основе турбулентной модели безопасности.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные зависимости от i -го номера месяца оценок частоты $\lambda(T_i)$ и среднего ущерба $V_{\text{щ}}(T_i)$ от компьютерных нарушений для объекта ОКР категории важности КТ1.

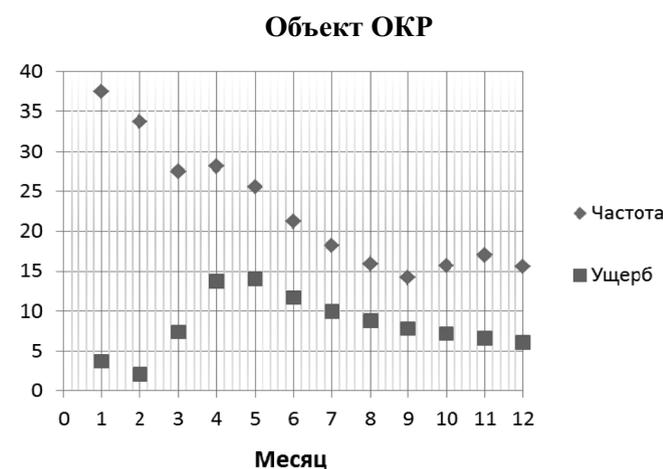


Рис. 1. Зависимость частоты и ущерба от времени

Оценка частоты $\lambda(T_i)$ компьютерных нарушений (КН) проводилась следующим образом. Экспериментально полученное значение количества КН в течение T_i -го месяца для особо важного объекта по имени ОКР в составе 100 рабочих мест, умножалось на количество месяцев в году – 12, с целью оценки количества КН в течение года по данным одного месяца. Значение среднего ущерба $V_{\text{щ}}(T_i)$ от компьютерных нарушений в течение этого T_i -го месяца определялось как среднеарифметическое значение ущербов от всех КН в течение этого месяца в долларах, но с нормировкой на число 100. При использовании такой процедуры оценки частоты и среднего ущерба их произведение представляет собой оценку среднего экономического риска от КН в долларах, совершенных в течение месяца.

Для повышения точности оценки представляют интерес значения средней частоты $\lambda_c(T_i)$ и среднего ущерба $Y_{ущ}(T_i)$, полученные с использованием данных для нескольких месяцев с начала года.

На рис. 2 представлена зависимость этих средних параметров от номера месяца.

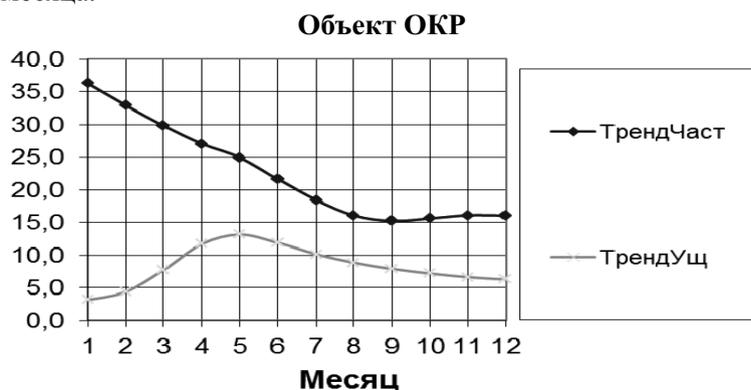


Рис. 2. Зависимость средней частоты и среднего ущерба от времени

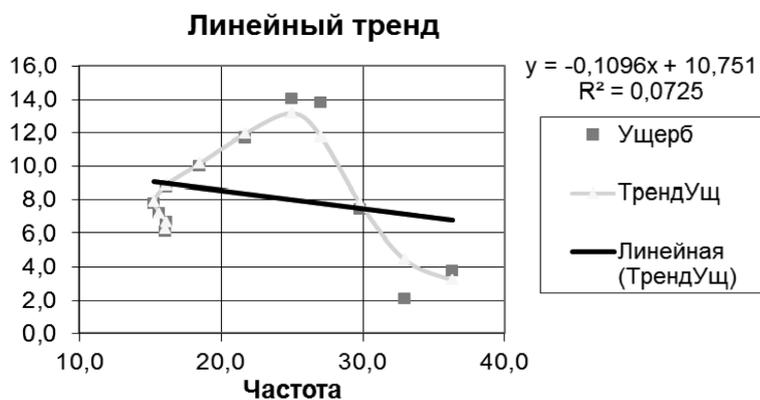


Рис. 3. Зависимость среднего ущерба от средней частоты нарушений

Значения параметров $Y_{ущ}(T_i)$ и $\lambda_c(T_i)$ определялись как среднеарифметические значения $Y_{ущ}(T_i)$ и $\lambda_c(T_i)$ за период с первого месяца по T_i -й месяц выбранного года.

На рис. 3 показана связь между средним ущербом и средней частотой в двумерном фазовом пространстве, из рассмотрения которого следует, что отсутствует линейная связь между $Y_{ущ}(T_i)$ и $\lambda_c(T_i)$, но есть нелинейная регрессионная связь. При использовании полинома 5-й степени коэффициент достоверности этой связи превышает 0,9.

Более наглядным является представление линии нелинейного тренда для объекта ОКР в трехмерном фазовом пространстве на рис. 4.

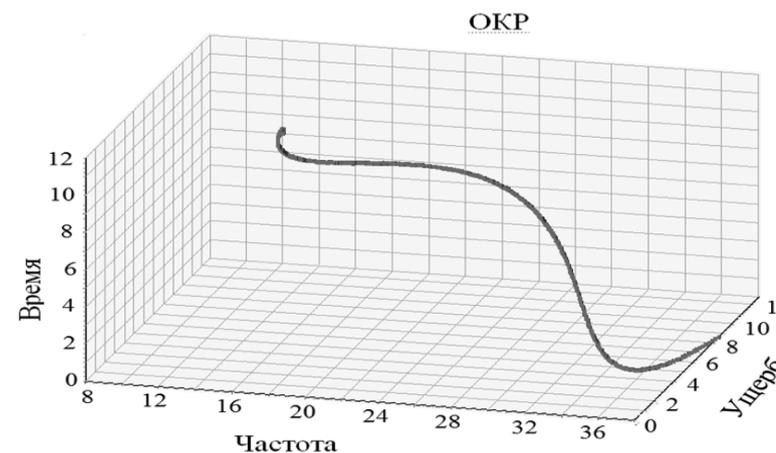


Рис. 4. Нелинейный тренд для объекта ОКР

Для этого же объекта найдено текущее значение среднего экономического риска по формуле

$$R_{ущ}(T_i) = Y_{ущ}(T_i) \times \lambda_c(T_i). \quad (1)$$

На рис. 5 представлена зависимость среднего экономического риска от частоты и размера экономического ущерба в трехмерном фазовом пространстве.

Следовательно, изменение состояния объекта безопасности можно представить как сложное движение в фазовом пространстве по спирали, что характерно для турбулентной (вихревой) модели, сочетающей поступательное и вращательное движение.

Причем состояние объекта безопасности стремится в ограниченную область странного аттрактора, что указывает на возможность оценки значения среднего экономического риска за ограниченное время (до одного года) даже при сильной изменчивости во времени интенсивности количества компьютерных нарушений и ущерба от них.

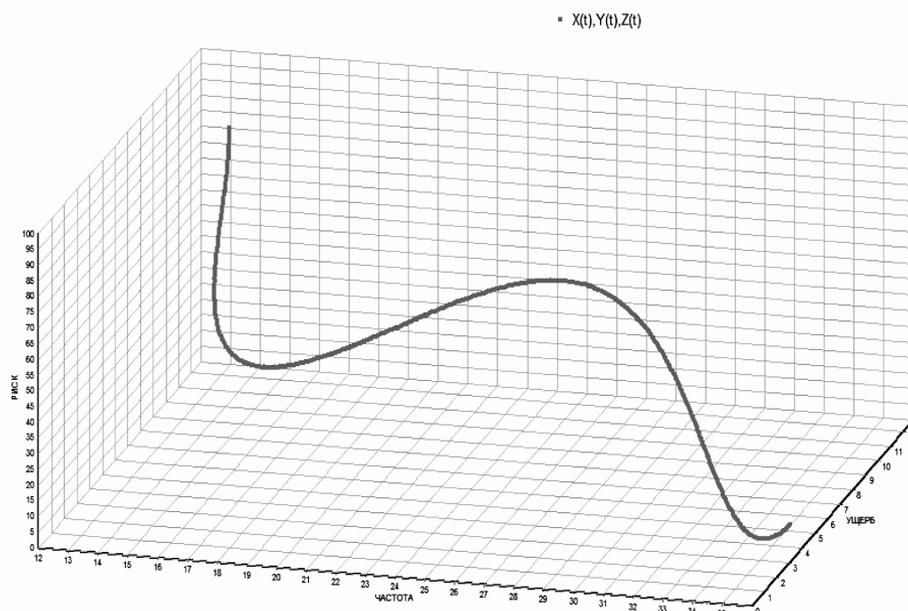


Рис. 5. Связь экономического риска с частотой и ущербом от последствий компьютерных нарушений

Таким образом, в работе предложена турбулентная модель объекта безопасности в виде криволинейной траектории движения его состояния в трехмерном фазовом пространстве в область странного аттрактора, существование которого указывает на возможность оценки среднего риска в течение цикла ограниченной длительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кисилев С.Л. Гелиофизическое прогнозирование преступности и чрезвычайных ситуаций: монография. – М., 1997.
2. Королев В.Ю. Вероятностно-статистические модели декомпозиции волатильности хаотических процессов: учебное пособие. – М., 2011.
3. Баренблатт Г.И. Автомодельные явления – анализ размерностей и скайлинг: учебное пособие. – Долгопрудный, 2008.

УДК 330.368

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹

А.С. Славянов,
канд. экон. наук,
Московский финансово-юридический университета МФЮА
E-mail: aslavianov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования термодинамической модели для выработки стратегии развивающегося государства в условиях изоляции от мировой экономики.

Ключевые слова: глобализация, инновационное развитие, термодинамическая модель, экономические системы, энтропия.

Abstract. This article considers the use of a thermodynamic model for strategy developing state in isolation from the world economy

Keywords: globalization, innovative development, the thermodynamic model, the economic system, entropy.

Определенный Правительством России курс модернизации требует решения ряда важных проблем, среди которых основным является система методов перехода с сырьевой на инновационную модель развития экономики.

Для определения системы методов перехода на инновационную модель предлагается использовать термодинамическую модель развития экономики. В термодинамике принято рассматривать системы, заключенные в строгие геометрические формы макроскопических размеров. Границей служит математическая поверхность, которая отделяет систему от внешней среды.

Система характеризуется параметрами состояния, структуры. В экономических системах состояние определяется макроэкономическими показателями, структура характеризуется наличием и развитостью институтов. Под структурой будем понимать относительно устойчивый, упорядоченный вид связи элементов, придающий их взаимодействию, в рамках внутренней расчлененности объектов, целостный характер.

¹ Подготовлено при поддержке РФФИ, проект № 11-06-00348.

Термодинамические системы классифицируются по характеру обмена энергии и массы через границы. Различают изолированные системы, которые полностью отделены от внешней среды, закрытые, которые обмениваются с другими системами только энергией, и открытые системы, которые обмениваются с внешней средой и энергией и массой (веществом). В нашей модели примем, что масса – это макроэкономические агенты частного сектора экономики – домохозяйства и фирмы, а энергия – это национальное богатство, которое состоит из различных природных ресурсов, капитала, произведенных товаров и иных ценностей.

Термодинамика основана на двух законах – первое и второе начало термодинамики. Первый закон гласит, что в закрытой системе количество энергии (E) постоянно, она может лишь переходить из одной формы в другую, например совершенная работа (A) трансформируется в тепло (Q).

$$E = A + Q. \quad (1)$$

Изменение энергии системы равно потоку энергии, полученной из окружающей среды. Примем за теплоту (Q) товары и услуги, произведенные в системе и потребляемые домохозяйствами (Y), а за работу (A) – капитал и природные ресурсы (K) и учтем, что количество вещества в закрытой системе остается постоянным. Тогда энергия общества (национальное богатство N) будет выглядеть как:

$$N = Y + K. \quad (2)$$

Таким образом, можно заметить, что для получения от других систем (окружающей среды) каких-либо материальных ценностей, например, товаров и услуг (теплоты), необходимо расстаться с частью своего капитала (произвести работу).

Изолированные системы, в соответствии с первым законом термодинамики, казалось, обречены на замедление темпов развития и безнадежное отставание от более открытых систем. Несомненно, члены такого общества будут мотивированы экономить ресурсы и вынуждены снизить свое потребление в пользу усилий, направленных на поиск новых направлений развития. Кроме того, сама изолированная система внутри не всегда однородна, она может состоять из нескольких фаз, которые будут обмениваться между собой энергией и, тем самым, поддерживать деловую активность.

Следует отметить, что экономическая система не может существовать бесцельно, цель определяет программу действия системы в долгосрочной перспективе и ее структуру. Для достижения основной цели системы определяются вспомогательные цели и задачи, которые решают созданные специальные структуры низшего порядка, иерархически подчиненные вышестоящим структурным подразделениям. Цель должна быть доступной и понятной всем членам общества, чем больше ее поддержка, тем меньше степень свободы у элементов системы и тем более устойчива система к внешним воздействиям. Чем выше изоляция системы, тем больше возникает необходимость в жесткой иерархической системе управления, снижающей вероятность различных внутренних отклонений до минимума. Мера необратимого потребления товаров и услуг зависит от уровня развития экономической системы и количества потребляемых на этом уровне благ (Y_i) и может быть измерена как $S = Y_i / F_i$.

Тогда (2) перепишем как:

$$N = K + SF. \quad (3)$$

Здесь произведение SF определяет обесцененное богатство, которое не может, в отличие от капитала, быть использовано для дальнейшего производства благ.

В термодинамике мерой необратимого рассеивания энергии является энтропия S , которая определяется как $S = Q/T$, тогда (1) будет выглядеть как $E = A + ST$, где T – температура. Если энтропия растет, то система приближается к тепловому равновесию, если падает, то система удаляется от равновесия. Клаузиус сформулировал второе начало термодинамики, которое определяет, что при любых происходящих в изолированной системе тепловых процессах система стремится к равновесию, при этом энтропия системы возрастает и достигает максимального значения в тепловом равновесии [2].

С ростом производства товаров и услуг в изолированной экономической системе товарные рынки насыщаются и наступает равновесие, при котором у производителя нет мотивации выпускать больше товаров и услуг, чем может позволить себе покупатель. В стране будут наблюдаться застойные явления, проявляющиеся в снижении темпов экономического роста. В экономической теории эти явления определены различными понятиями – депрессия, рецессия, стагнация, которые имеют

схожий смысл, в термодинамике это означает «тепловую смерть». Для борьбы с этими процессами необходимо снизить энтропию – т.е. уменьшить хаос, вызванный обилием товаров и услуг, с одной стороны, и снизить степень свободы домохозяйств и фирм, с другой стороны. Первая часть задачи может решиться отводом теплоты (Q) за пределы термодинамической системы, что аналогично вывозу части товаров за пределы страны в обмен на капитал. В современной истории примером подобного решения проблемы выхода из кризиса может служить Великая депрессия тридцатых годов в США, когда вставшие на курс индустриализации СССР и Германия обеспечили заказами американскую промышленность, а казну золотом. Вторая мировая война решила другую часть задачи, которая заключалась в снижении степени свободы членов общества. В конце 1980-х гг. развал мировой социалистической системы открыл Западу колоссальные по своим возможностям потребительские рынки и тем самым спас индустриально развитые страны от неизбежного системного экономического кризиса.

Как уже отмечалось, энтропию можно снизить уменьшением выбора товаров и услуг, однако правительство не может запретить или ограничить производство или время пользования тем или иным товаром. Эта задача решается пропагандой нового поколения техники, которое оказывается вдруг более необходимо потребителю, чем старое. В то же время правительство создает такие условия, в которых предприятия, конкурируя друг с другом, выпускают все больше новой продукции, одновременно делая невозможным эксплуатацию не только старой техники, но и взаимодополняемой продукции. Наряду с этим решается задача по структурированию общества, члены которого начинают целенаправленно прилагать усилия по приобретению и (или) производству нового продукта, тем самым снижая энтропию в закрытой системе. Вместе с тем, решая эту задачу в краткосрочном периоде, система в будущем может столкнуться с другой, более серьезной проблемой. Так, Зигмунт Бауман подметил, что в условиях конкуренции предприятия пытаются завоевать интерес потребителя не сколько более высоким качеством новых товаров и услуг, сколько различными манипуляциями над сознанием покупателей, возбуждая непреодолимое желание покупать. Эти желания необходимо постоянно поддерживать у всех членов общества, и промышленность, с целью привлечения потенциальных потребителей, все больше нацеливается на производство приманок и искушений [1]. Кроме того, вследствие сжимающегося жизненного цикла пред-

приятиям не имеет смысл выпускать долговечные и надежные товары. Работники предприятий могут не успеть повысить свою квалификацию, которая требуется при быстрой смене моделей техники и новых технологий, что будет способствовать росту структурной безработицы. Таким образом, экономика начинает «производить» эфемерность, непостоянство (из-за массивированного и повсеместного сокращения срока годности продукции и срока действия услуг) и ненадежность (из-за временной, гибкой и частичной занятости) [3].

Таким образом, выход системы на новый уровень развития снижает энтропию, с одной стороны, т. к. появляется новый продукт и повышается структуризация общества, с другой стороны, необратимо обесценивается прошлый труд, воплощенный в морально устаревших технологиях и продуктах, что несколько отдаляет решение поставленной задачи.

Переход на выпуск продукции нового поколения и выход на новый уровень развития представляет собой весьма затратный процесс, который включает в себя дорогостоящие научно-исследовательские работы с низкой вероятностью положительного результата, освоение новой техники с высокими расходами на отладку технологии, затраты на рекламу и т.д. В условиях ограниченности ресурсов каждый новый переход на более высокий уровень развития будет обходиться обществу все дороже и дороже. Следует отметить, что в закрытой экономической системе ограничены не только производственные ресурсы, но и потребительский спрос. В результате, однажды переход на новый уровень станет невозможным, энтропия достигнет своего максимума и развитие системы неизбежно остановится со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Отсрочить наступление этого момента стало возможно после изобретения кредитных денег, с помощью которых стимулируется как производство, так и потребительский спрос. Эта мера позволяет в краткосрочном периоде решить проблему, однако, можно заметить, что рост денежной массы неизбежно приведет к росту энтропии. Чтобы этого не произошло, излишки денег выводятся из торгового оборота и направляются в различные финансовые инструменты. Но отвод энтропии из реального сектора экономики в фиктивный только на время может отсрочить наступление «тепловой смерти экономики» и чреват появлением гипертрофированных финансовых пузырей, которые деформируют экономическую систему и делают ее крайне неустойчивой.

Из термодинамики известно, что полная энтропия системы равна сумме энтропий входящих в нее компонентов. Соответственно, полная энтропия экономической системы будет равна сумме энтропий входящих в нее институтов. Создание новой фазы в системе повысит уровень упорядоченных процессов и на первом этапе снизит общую энтропию, однако в дальнейшем, в рыночной экономике при отсутствии контроля со стороны органов управления, будет наблюдаться рост энтропии, который неизбежно приведет к коллапсу системы. Следовательно, в условиях рынка, перевод энтропии из одной фазы системы в другую не решает проблему, здесь следует искать возможности вывода энтропии за пределы экономической системы.

Существует еще один метод борьбы с «тепловой смертью» в экономике, попытки реализации которого неоднократно предпринимались в XX веке. Проблему предлагалось решить достаточно просто – энтропию не следует производить, т. е., производятся только те товары и услуги, которые необходимы для воспроизводства рабочей силы, нужд обороны, охраны порядка, культуры, социальные программы и т. п. Низкий уровень энтропии обеспечивается отсутствием безвозвратных потерь невостребованных товаров и услуг, неизбежных в рыночной экономике. Жесткая система управления и распределения снижает степень свободы домохозяйств и фирм, что также снижает энтропию системы. Наличие национальной идеи или программы направляет усилия общества на создание материальной базы, необходимой для достижения цели. Система приобретает жесткую кристаллическую структуру, устойчивую к воздействию внешней среды (например, колебания цен на сырьевых и товарных рынках, изменения валютных курсов, финансовые кризисы и т.п.). Среди ограничений, накладываемых на систему, три представляются особо важными – она должна быть изолирована от влияния других враждебных ей систем, должна обладать достаточными ресурсами, необходимыми для длительного существования, и иметь доступ к мировой базе данных научной информации. Среди примеров успешного существования изолированных систем, кроме СССР и его союзников можно назвать ЮАР и некоторые другие страны. Следует отметить, что все изолированные системы были достаточно устойчивы и успешно противостояли внешней агрессивной среде, их разрушение произошло в результате смены основной цели системы и последовавшего затем демонтажа структуры управления. Кроме

того, для решения этой проблемы необходимо иметь понятную цель, поддерживаемую большинством членов общества.

Таким образом, термодинамическая модель позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Рыночные механизмы в развивающейся экономике способствуют росту энтропии и не в состоянии обеспечить переход системы на более высокий инновационный уровень.

2. Государство должно снизить степень свободы экономических агентов в стратегических сферах деятельности – в финансовом и топливно-сырьевом секторе экономики.

3. Необходимо улучшить структуру системы, сделать ее более однородной в сфере потребления. Для этого предлагается провести реформу налоговой системы, предусматривающую введения прогрессивной ставки налогообложения доходов и имущества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бауман З. Глобализация. Последствия для человека и общества. – М., 2004.
2. Исаев С.И. Термодинамика. Учебник. – М., 2000.
3. Petrella. Une machine infernale // Le monde diplomatique. 1997. Juin. P. 17.

УДК 336.764.1

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВАЛЮТНОГО РЫНКА

Б.С. Бояршинов,
 канд. физ.-мат. наук, доцент,
 Московский государственный гуманитарный университет
 им. М.А. Шолохова
 E-mail: boyarshinov_b_s@mail.ru.

С.В. Васекин,
 канд. пед. наук, декан факультета,
 Московский государственный гуманитарный университет
 им. М.А. Шолохова
 Тел. +7(915)2902000

С.П. Насельский,
 канд. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой,
 Московский государственный гуманитарный университет
 им. М.А. Шолохова
 E-mail: snasel@mail.ru.

Аннотация. В статье на примере валютного кризиса предложены модели описания кризисных явлений в обществе. Показано, что они качественно описывают характер кризисов. В некоторых случаях удастся сделать количественные оценки, в том числе предсказать момент наступления кризисного явления.

Ключевые слова: валютный кризис, модели, количественные оценки.

Abstract. There are models of describing crisis occurrences on the example of the currency crisis in the society. All these models are quite good demonstrate the nature of crisis. It is quite possible to foretell the moment of the beginning of the crisis event and see the results in proper perspective.

Keywords: currency crisis, models, nature of crisis.

В работе рассмотрены явления, связанные с характеристиками валютных кризисов. Количественная картина кризиса выглядит как раздувание биржевого пузыря с последующим его разрушением [1; 3; 4]. Исследование проводилось в рамках классического статистического анализа. Перед

участником биржевой торговли стоит дилемма: покупать или продавать тот или иной актив. В рамках классической теории вероятностей эта задача может быть решена при условии, что игрок вкладывает деньги с целью получения прибыли через фиксированный промежуток времени, например, через одну биржевую сессию. Рассмотрим эту проблему глазами биржевого игрока, играющего на курсе доллара США к евро.

Для игрока важно предсказать ход динамики в предстоящий день. Достаточно определить наиболее вероятное направление изменения курсов валют. Если выбор наиболее вероятного направления динамики окажется подтвержденным реальным трендом, то биржевой игрок чаще будет с выигрышем, чем с проигрышем.

Проиллюстрируем это примером. Данные по курсу евро по отношению к доллару за 2001–2004 гг. взяты из доступного источника в Интернете [2]. С помощью электронных таблиц легко определить какое количество раз продолжала сохраняться определенная тенденция изменения курса (повышательная или понижительная). Расчетные формулы и результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Продолжительность тенденции (k) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| Кол-во случаев, когда после дня номер k тенденция прекращается (m_k) | 316 | 145 | 63 | 37 | 12 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| Кол-во случаев, когда после дня номер k тенденция продолжается (n_k) | 266 | 121 | 58 | 21 | 9 | 6 | 3 | 2 | 0 |
| Вероятность продолжения тенденции $\left(p_k = \frac{n_k}{m_k + n_k} \right)$ | 0,457 | 0,455 | 0,479 | 0,362 | 0,429 | 0,667 | 0,5 | 0,67 | 0 |
| СКО вероятности $\left(\sigma(p_k) = \frac{\sqrt{n_k}}{m_k + n_k} \right)$ | 0,028 | 0,041 | 0,063 | 0,079 | 0,143 | 0,272 | 0,289 | 0,47 | – |
| Можно ли играть? То есть $\left(\left \frac{1}{2} - p_k \right > \sigma(p_k) \right)$ | да | да | нет | да | нет | нет | нет | нет | – |

Еще один подход можно реализовать, если во время периода флота, когда отсутствует долговременная тенденция к изменению курса рассчитать вероятности перехода курса евро к доллару в состоянии, обеспечивающие выигрыш или проигрыш. В период с 25 марта 2004 г. по 30 сентября 2004 г. курс евро флуктуировал в диапазоне от 1,18 до 1,25 долл. Дневное изменение курса составило не более 2,25 центов.

Диапазон изменения курса евро разбит на шесть интервалов со следующими медианными значениями:

\$1,185; \$1,195; \$1,205; \$1,215; \$1,225; \$1,235; \$1,245.

Диапазон, в котором варьируется дневное изменение валютного курса, мы разбили на 10 интервалов со следующими медианными значениями (в центах):

(-2,25 -1,75 -1,25 -0,75 -0,25 0,25 0,75 1,25 1,75 2,25).

При этом вероятности реализации тех или иных изменений в зависимости от курса составили величины, приведенные в следующей матрице, в которой строки соответствуют различным диапазонам значений курса, а столбцы диапазонам изменения курса.

| | | | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | -2,25 | -1,75 | -1,25 | -0,75 | -0,25 | 0,25 | +0,75 | +1,25 | +1,75 | +2,25 |
| \$1,185 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0 | 0 |
| \$1,195 | 0 | 0 | 0 | 0,231 | 0,077 | 0,538 | 0,077 | 0 | 0,077 | 0 |
| \$1,205 | 0 | 0,067 | 0,033 | 0,067 | 0,167 | 0,367 | 0,133 | 0,133 | 0 | 0,033 |
| \$1,215 | 0 | 0,029 | 0,086 | 0,171 | 0,2 | 0,343 | 0,057 | 0,0286 | 0,086 | 0 |
| \$1,225 | 0,042 | 0,042 | 0 | 0,083 | 0,375 | 0,333 | 0,083 | 0,041 | 0 | 0 |
| \$1,235 | 0,053 | 0,053 | 0 | 0,211 | 0,263 | 0,316 | 0,105 | 0 | 0 | 0 |
| \$1,245 | 0 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Для каждого диапазона значения курса можно оценить математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение доходности вложения денег в евро на один день:

| КУРС ЕВРО | ОЖИДАЕМАЯ ДОХОДНОСТЬ (ЦЕНТОВ/ЕВРО) | СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ДОХОДНОСТИ (ЦЕНТОВ / ЕВРО) | ВАРИАЦИЯ ДОХОДНОСТИ $\left(\frac{\sigma_x}{M_x}\right)$ |
|--------------|--|--|---|
| | M_x | σ_x | |
| \$1,185 | 0,45 | 0,6 | 1,3 |
| \$1,195 | 0,13 | 0,6 | 4,9 |
| \$1,205 | 0,18 | 0,86 | 4,7 |
| \$1,215 | -0,02 | 0,83 | 39 |
| \$1,225 | -0,125 | 0,72 | 5,8 |
| \$1,235 | -0,28 | 0,75 | 2,7 |
| \$1,245 | -0,35 | 0,58 | 1,7 |

Величины среднего квадратичного отклонения превышают средние значения абсолютной величины ожидаемой доходности. Только на предельных значениях диапазона изменения курса евро имеет смысл игра на понижение или повышение его курса.

Эти очевидные факты, конечно, не переворачивают наших представлений о биржевой игре. Но они иллюстрируют ход мышления представителей социума биржевых игроков.

Рассмотрим кинематический аналог поведения игроков. В исходных данных по динамике валютного курса [2] привлекают внимание участки, на которых просматривается явная тенденция изменения обменного курса по параболическому закону.

Будем использовать модель параболического роста, предусматривающую изменение курса (y) по следующему квадратичному закону относительно времени (x):

$$y = \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma.$$

Скорость изменения курса (первая производная по x) выражается формулой:

$$y' = 2\alpha \cdot x + \beta.$$

Ускорение при параболическом законе изменения постоянно:

$$y'' = 2\alpha.$$

Нами были проанализированы четыре случая параболической динамики. Нисходящая и восходящие ветви параболы ветвями вниз ($\alpha < 0$), нисходящая ветвь параболы ветвями вверх ($\alpha > 0$).

Анализировалась история изменения мнения социума валютных спекулянтов о значении курса евро относительно доллара за период с 1 января 2001 г. по 31 августа 2008 г. За этот период нами было отмечено следующее количество участков с определенной параболической динамикой. Парабола ветвями вниз нисходящая ветвь – 8 участков. Парабола ветвями вниз восходящая ветвь – 7 участков. Парабола ветвями вверх нисходящая ветвь – 9 участков. Парабола ветвями вверх восходящая ветвь – 23 участка.

В случае использования параболического приближения остаточное среднее квадратичное отклонение экспериментальных данных от теоретической зависимости составляло порядка нескольких тысячных доллара за евро (то есть несколько десятых цента за евро).

Рано или поздно тенденция прекращала действовать. При этом параболическая зависимость явно разрушалась. Мы решили исследовать зависимость скорости изменения курса, при которой происходит разрушение параболической динамики (скорости «срыва»). Усреднение проводилось со статистическим весом равным обратной величине остаточной дисперсии (табл. 2).

Таблица 2

| Ветви | Участок параболы | № | Среднее значение ускорения (2α) $\left(\frac{0,001 \cdot \text{цент}}{\text{евро} \cdot \text{сутки}^2}\right)$ | Коэффициент вариации ускорения (%) | Скорость «срыва» $\left(\frac{\text{цент}}{\text{евро} \cdot \text{сутки}}\right)$ | Коэффициент вариации скорости «срыва» (%) |
|-------|------------------|----|---|------------------------------------|---|---|
| Вниз | Нисходящий | 8 | -1,484 | 145,5 | -0,26 | 100,8 |
| Вниз | Восходящий | 7 | -6,56 | 125 | 0,18 | 49 |
| Вверх | Нисходящий | 9 | 8,30 | 100,8 | -0,067 | 59,6 |
| Вверх | Восходящий | 23 | 1,20 | 377 | 0,35 | 7,4 |

Параболический рост, происходящий с постоянным положительным ускорением (восходящий участок параболы ветвями вверх) заканчивался в при величине скорости 0,35 цента/(евро·сутки). Эта величина имеет вариацию около 7,4%, т. е. она определена с точностью 0,026 цент/(евро·сутки). Учитывая, что величина ускорения изменяется в широких пределах до 0,032 цента (евро·сутки²), можно прийти к выводу, что прогнозирование момента изменения тенденции поведения социума валютных спекулянтов, занимающихся игрой на повышение курса евро, может быть осуществлено с точностью порядка нескольких суток. Далее достаточно найти параметры квадратичной регрессии и определить момент, когда скорость изменения валютного курса достигнет значения около 0,35 цента/(евро·сутки). При среднем значении ускорения 0,0012.

это соответствует разбросу времени $\Delta x = \frac{\Delta V_{\max}}{2\alpha} = \frac{0,026}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 21,7$ суток.

При продолжительности роста до полугода эта погрешность не превышает 10%. Если ускорение достигает значения 0,032, то

$$\Delta x = \frac{\Delta V_{\max}}{2\alpha} = \frac{0,026}{0,032} \approx 1 \text{ сутки.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Дункан Р. Кризис доллара. Причины, последствия и пути выхода. – М., 2008.
2. [Электронный ресурс] URL: <http://www.forexite.com>
3. Танковский А.А. Прогнозирование биржевых котировок валютных и товарных рынков как задача о движении частицы между потенциальными барьерами. Институт физики им Л.В. Киренского г. Красноярск. Препринт №788ф, 1998.
4. Швагер Дж. Технический анализ. Полный курс. – М., 2001.

УДК 332.05:005

АНАЛИЗ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ СТРУКТУР

Ю.С. Пиньковецкая,
канд. экон. наук, доцент,
Ульяновский государственный университет
E-mail: judy54@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрено решение задачи моделирования численности работников предпринимательских структур (малых и средних предприятий, а также индивидуальных предпринимателей) с использованием регрессионных моделей. Полученные результаты позволили сделать вывод о преобладании предпринимательских структур с небольшой численностью работников. Предложен авторский подход к классификации предпринимательских структур.

Ключевые слова: малые предприятия, средние предприятия, индивидуальные предприниматели, численность работников, регрессионные модели, классификация предпринимательских структур.

Abstract. In the article consider the solution of the task of modeling the quantity of employees in entrepreneurial structures (small and medium enterprises and also individual entrepreneurs) using regression models. The obtained results show the predominance of entrepreneurial structures with the small quantity of employees. Discuss the author's approach to the classification of entrepreneurial structures.

Keywords: small enterprises, medium enterprises, individual entrepreneurs, quantity of employees, regression models, classification of entrepreneurial structures.

Одним из важных показателей, характеризующим деятельность предпринимательских структур (малых и средних предприятий, а также индивидуальных предпринимателей), является численность их работников. Численность работников представляет собой комплексный показатель, который отражает технологию производственного процесса, специфику выпускаемой продукции, финансово-экономические

показатели предприятия, форму его организации, структуру и методы управления. Именно число занятых на предприятии определяет в решающей мере объемы производства и стоимость активов. Эти показатели для большинства предприятий вторичны по отношению к численности, что подтверждается проведенными исследованиями. Необходимо отметить, что количество работников, занятых в предпринимательских структурах, выступает в качестве важного социально-экономического фактора, определяющего развитие населенных пунктов и субъектов страны в целом. Именно поэтому исследование закономерностей и тенденций, описывающих распределение предпринимательских структур в зависимости от численности их работников, представляется актуальным.

В процессе исследований были разработаны математические модели, отражающие удельные веса различных по размеру предпринимательских структур в общем их количестве и удельный вес работников, занятых в этих структурах.

Исследование проводилось в следующей последовательности:

1. Определение возможных видов искомых зависимостей.
2. Обработка исходных данных и формирование информационной базы, описывающей рассматриваемые объекты в формализованном виде.
3. Построение возможных вариантов регрессионных моделей. Для каждой из них на основе корреляционного анализа определяется наличие связи между исследуемыми переменными и структура этой связи.
4. Проверка полученных результатов с точки зрения содержательной сущности и критериев качества, принятых в регрессионном анализе.
5. Выбор наилучшей из регрессионных моделей.

Второй, третий и четвертый этап были выполнены с применением соответствующих методик, подробно изложенных в литературе [2]. Вычислительные эксперименты проводились с использованием компьютерных программ Microsoft Excel и Mathcad. В процессе исследования были рассмотрены разные виды зависимостей: 1) кусочно-линейные; 2) параболические; 3) степенные; 4) экспоненциальные; 5) логарифмические; 6) полиномиальные.

Модели разрабатывались на основе информации, описывающей выборку из генеральной совокупности. Возможность использования такой выборки основывалась на общепринятом методическом подходе, подробно изложенном в литературе [1].

Выборка формировалась с использованием статистических данных за 2010 г., характеризующих предприятия и предпринимателей в 6 субъектах страны, находящихся в разных территориальных и экономических условиях: Свердловской [6], Ульяновской [8], Тульской [7], Вологодской [3], Иркутской [4] областей и Республики Саха (Якутия) [5]. Объем выборки составил 405268 предприятий, в которых работало более 1584 тысяч человек. С использованием полученных исходных данных были построены две модели. Первая из них описывает зависимость удельного веса предпринимательских структур в их общем количестве, вторая – удельный вес работников предпринимательских структур в их общей численности от размера предприятий (численности работников).

Логический анализ и приведенные проверки по критериям качества подтвердили высокий уровень аппроксимации исходных данных полученными моделями. Подтвержденная проведенным анализом репрезентативность используемой в исследованиях выборки позволила перенести полученные результаты на генеральную совокупность, т. е. на все предпринимательские структуры страны и ее субъектов.

Модель, отражающая удельные веса различных по размеру предпринимательских структур в общем их количестве, приведена ниже:

$$y_1(x) = -0,049 + \frac{14,2}{x + 0,015}, \quad (1)$$

где $y_1(x)$ – удельный вес предприятий определенной численности в общем количестве малых, средних предприятий и индивидуальных предпринимателей, %; x – численность работников, чел.

В табл. 1 приведены показатели, характеризующие удельный вес различных по размеру предпринимательских структур в зависимости от численности их работников. Эта таблица была получена с использованием разработанной модели (1).

Анализируя полученную зависимость и показатели, приведенные в табл. 1, можно отметить, что большинство предпринимательских структур (56,5%) имеет численность работников, не превышающую 5 человек. Этот феномен обусловлен как малой численностью работников у абсолютного большинства индивидуальных предпринимателей, так и тенденцией снижения численности и соответственно размера малых предприятий. С увеличением размера предпринимательских структур

их удельный вес в общем количестве этих структур монотонно убывает. Таким образом, количество предпринимательских структур с малой численностью работников существенно больше, чем предприятий и предпринимателей с относительно большей численностью работников.

Таблица 1

Распределение предпринимательских структур по интервалам численности

| Интервал численности работников | Удельный вес в общем количестве, % |
|---------------------------------|------------------------------------|
| до 5 человек | 56,5 |
| более 5 до 10 человек | 9,6 |
| более 10 до 15 человек | 5,5 |
| более 15 до 20 человек | 3,8 |
| более 20 до 30 человек | 5,3 |
| более 30 до 50 человек | 6,3 |
| более 50 до 70 человек | 3,8 |
| более 70 до 100 человек | 3,6 |
| более 100 до 130 человек | 2,2 |
| более 130 до 250 человек | 3,4 |

Средние предприятия с численностью работников более 100 человек составляют всего 5,6% от общего количества предпринимательских структур. При этом количество предприятий с численностью работников, находящихся в интервале от 130 до 250 человек, не велико (3,4%).

Вторая модель характеризует численность работников, занятых на предпринимательских структурах различного размера. Она разработана по данным, характеризующим предпринимательские структуры этих же шести субъектов страны. Соответствующая функция имеет следующий вид:

$$y_2(x) = 2,86e^{(-0,028)x}, \quad (2)$$

где $y_2(x)$ – удельный вес работников предпринимательских структур определенной численности в общей численности работников, %; x – численность работников, чел.

В табл. 2 приведены значения удельных весов работников предпринимательских структур, занятых в различных по размеру предприятиях. Эта таблица была получена с использованием модели (2). Анализируя полученные закономерности и тенденции, характеризующие распределение численности работников, занятых в предприятиях раз-

личных размеров, можно отметить следующее. С увеличением размера предпринимательских структур общая численность работающих на них монотонно снижается. В микропредприятиях занято около трети всех работников предпринимательских структур, а на предприятиях с численностью до 30 человек – свыше половины (56%) работников. А на предприятиях с числом работников до 50 человек работает преобладающее большинство (74,9%) всех занятых в предпринимательстве. Численность работников, занятых в средних предприятиях, относительно не велика и составляет около 5%.

Таблица 2

Распределение предпринимательских структур по интервалам численности

| Интервал численности работников | Удельный вес предпринимательских структур, % |
|---------------------------------|--|
| до 5 человек | 11,3 |
| более 5 до 10 человек | 11,6 |
| более 10 до 15 человек | 10,1 |
| более 15 до 20 человек | 8,8 |
| более 20 до 30 человек | 14,2 |
| более 30 до 50 человек | 18,9 |
| более 50 до 70 человек | 10,8 |
| более 70 до 100 человек | 8,2 |
| более 100 до 130 человек | 3,5 |
| более 130 до 250 человек | 2,6 |

Функционирование разных по размеру предпринимательских структур имеет значительную специфику, поэтому необходим дифференцированный подход к особенностям различных по численности малых и средних предприятий. Поэтому предлагается выделить шесть размерных классов (табл. 3), на основе моделей (1) и (2), в зависимости от численности работников соответствующего предприятия: первый класс с численностью работников до 5 человек включительно, второй класс – от 5 до 15 человек включительно, третий класс – от 15 до 50 человек включительно, четвертый класс – от 50 до 100 человек, пятый класс – от 100 до 130 человек включительно и шестой класс – свыше 130 человек. В табл. 3 приведены удельные веса, отражающие распределение количества предпринимательских структур и численность занятых в них работников по указанным шести классам.

Таблица 3

Классификация предпринимательских структур России по численности работников

| Класс предпринимательских структур | Удельный вес, % | |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | в общем количестве структур | в общей численности работников |
| Первый (до 5 человек) | 56,5 | 11,3 |
| Второй (от 5 до 15 человек) | 15,1 | 21,7 |
| Третий (от 15 до 50 человек) | 15,4 | 41,9 |
| Четвертый (от 50 до 100 человек) | 7,4 | 19,0 |
| Пятый (от 100 до 130 человек) | 2,2 | 3,5 |
| Шестой (от 130 до 250 человек) | 3,4 | 2,6 |

Уточненная классификация предприятий может быть использована в процессе совершенствования их хозяйственного механизма и системы поддержки на всех уровнях управления. Для каждого из этих классов, исходя из особенностей предприятий и предпринимателей, можно установить различный порядок бухгалтерского учета и отчетности, порядок регистрации, получения разрешений и лицензий, оказания необходимой помощи и поддержки со стороны органов управления. Учет этих особенностей позволит повысить эффективность предпринимательских структур, а также обеспечить решение задач мониторинга и обоснования перспективных планов развития малого и среднего предпринимательства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М., 1983.
2. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. – М., 2002.
3. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего предпринимательства 2010 года в Вологодской области. [Электронный ресурс] URL: http://vologdastat.ru:8085/webpages/Итоги_сплошного_наблюдения_за_деятельностью_субъектов_малого_и_среднего_предпринимательства_в_2010_году.aspx. Дата обращения: 16.08.2012.
4. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего пред-

принимательства 2010 года в Иркутской области. [Электронный ресурс] URL: <http://irkutskstat.gks.ru/statrep/statistical-observation/document/Итоги.aspx>. Дата обращения: 20.08.2012.

5. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего предпринимательства 2010 года в Республике Саха (Якутия). [Электронный ресурс] URL: http://sakha.gks.ru/webpages/splosh_itog.aspx. Дата обращения: 10.08.2012.

6. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего предпринимательства 2010 года в Свердловской области. [Электронный ресурс] URL: <http://sverdl.gks.ru/observ/DocLib1/содержание.htm>. Дата обращения: 15.07.2012.

7. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего предпринимательства 2010 года в Тульской области. [Электронный ресурс] URL: <http://www.tulastat.gks.ru/biznes/reg/DocLib8/Итоги.htm>. Дата обращения: 10.07.2012.

8. Федеральная служба государственной статистики. Итоги сплошного наблюдения за деятельностью субъектов малого и среднего предпринимательства 2010 года в Ульяновской области. [Электронный ресурс] URL: http://uln.gks.ru/sploshnoe_obsledovanie_ul/InformationPages/Итоги%20обследования.aspx. Дата обращения: 10.08.2012.

МЕТОДОЛОГИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

УДК 378.02

КОДИФИКАЦИЯ ЗНАНИЙ И УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

А.Г. Юферов,
канд. физ.-мат. наук,
Московский финансово-юридический университет МФЮА,
Калужский филиал
E-mail: kaluga@mfua.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы теории и практики кодификации знаний как инструмента управления учебным процессом.

Ключевые слова: кодификация знаний, учебный процесс, управление знаниями, информационные технологии, инновации.

Abstract. Theory and practice of codification of knowledge as a tool for learning management considered.

Keywords: codification of knowledge, the learning process, knowledge management, information technology, innovation.

Термин «кодификация» широко используется в теории и практике законодательства для обозначения методик и процедур систематизации, исключения противоречий в правовом поле, объединения законов и нормативных актов по отдельным разделам или отраслям права в единую согласованную систему (кодекс). В последнее время это понятие стало включать также формы и способы систематизации *любых знаний (то есть фактов и алгоритмов)*, полученных в результате научно-технической или хозяйственной деятельности. Кодификация рассматривается как элемент стандартизации механизмов обмена информацией между наукой и производством, составная часть технологий управления знаниями и методическая основа инновационного развития экономики, обеспечивающая отражение в соответствующих реестрах как достоверности и полноты знаний, так и их возможной применимости [1–2]. В таком качестве кодификация знаний имеет непосредственное отношение к организации и содержанию учебного процесса, понимаемого как освоение той или иной деятельности. В данной работе обозначен ряд вопросов, которые, как представляется, необходимо исследовать и развивать в свя-

зи с теорией и практикой кодификации как инструмента управления знаниями в учебном процессе.

Определенные истоки современной концепции кодификации знаний можно усмотреть в теории постиндустриального общества Д. Белла [3], согласно которой «отличительной чертой постиндустриального общества является характер знания. Важнейшее значение для организации процессов принятия решений и направления изменений приобретает теоретическое знание, предполагающее первенство теории над эмпиризмом и кодификацию информации в абстрактных системах символов, которые... могут использоваться для интерпретации различных изменяющихся сфер опыта. Любое современное общество живет за счет инноваций и социального контроля за изменениями, оно пытается предвидеть будущее и осуществлять планирование. Именно изменение в осознании природы инноваций делает решающим теоретическое знание». В развитие этого тезиса можно утверждать, что одна из главных задач управления знаниями применительно к учебному процессу состоит в переходе к конструктивным формам сохранения, представления и передачи знаний, способствующим оперативному освоению знаний как инструмента. Возможно, это основной фактор поднятия «информационно-когнитивного потенциала» общества.

Поэтому, в частности, цель современного подхода к кодификации знаний должна состоять в устранении разрыва между формальным (теоретическим) знанием и практическими навыками, т.е. знание должно формулироваться в алгоритмической форме (в виде «рецептов»), а процесс передачи практических навыков в значительной степени должен быть формализован, исключая, например, необходимость присутствия преподавателя при выполнении лабораторных работ. Достижение этой цели решило бы задачу дистанционного обучения в полном объеме.

Кодификация как инструмент управления знаниями в своей методической части является элементом интенсивно формирующейся новой научно-технической отрасли – *инженерии знаний*. В практическом плане инженерия знаний решает вопросы организации (структурирования, унификации), представления и выявления (извлечения) знаний (фактов и алгоритмов) из произвольных текстов, из результатов экспериментов и наблюдений, зафиксированных в базах данных, из суждений специалистов-экспертов. Очевидна перспективность применения технологий инженерии знаний к организации и оптимизации учебного процесса. Однако в этом направлении на сегодняшний день сделано очень мало.

В настоящее время хорошо развиты только технологии организации информации на основе баз данных, позволившие преодолеть известное негативное явление, состоящее в том, что значительная доля генерируемой информации оседает в некоторой окрестности ее источника и остается незамеченной. Так, международная сеть научно-технологических баз данных STN International предоставляет через Интернет доступ к базам данных, в которых отражено более 150 млн документов по всем отраслям науки и техники. Таким образом, предоставляются качественно новые возможности по оперативному доступу к практически неограниченному с точки зрения отдельного индивида всемирному массиву научно-технической информации, охватывающему все научные и патентные публикации.

Однако, что касается представления и извлечения знаний, то эти вопросы являются предметом интенсивных исследований и о создании детальной технологии пока говорить рано. Эта проблема, тем не менее, тесно связана с эффективным использованием имеющихся баз данных – с превращением данных в знания.

Укажем некоторые направления в этой сфере инженерии знаний, которые, как представляется, могут стать инструментальным средством в процедурах кодификации, в том числе применительно к учебному процессу.

1. Развитие информационных технологий требует соответствующего развития понятийного и теоретического аппарата. Однако современное понятие информации и теория информации составляют относительно малую часть фундамента информатики, касаясь прежде всего вопросов передачи данных. Говоря же об информационных технологиях, следует иметь в виду прежде всего преобразование данных (структур данных) с помощью компьютеров с целью извлечения новых знаний или отображения данных в новых формах. Эта парадигма охватывает и традиционные вычислительные применения (в том числе символьные вычисления), и обработку текстов, и компьютерную графику, и машинный перевод, и имитационное моделирование, и автоматизированные управляющие системы, и проблематику искусственного интеллекта в целом. Вопросы передачи данных занимают в этом контексте важное, но весьма частное место. Таким образом, здесь обозначается новая проблемная точка роста – потребность в дальнейшем развитии теории информации (возможно, и в ее первоначальной энтропийной формулировке) не только как средства оптимального кодирования сигнала для передачи данных, но именно как аппарата для описания преобразования «информационных» структур, которые используются или могут ис-

пользоваться для представления наших знаний (фактов и алгоритмов) в памяти компьютера в виде некоторых данных.

2. Затронутые вопросы относятся к сфере *метазнания*, охватывающей области информатики и искусственного интеллекта, связанные с такими вопросами, как анализ и описание внутренней структуры некоторой предметной области – ее объектов и процессов; выявление и структурирование знаний, в частности, знаний экспертов; методы представления знаний в ЭВМ. Эти три раздела являются системообразующими в современной теории метазнания.

В той или иной форме проблематика метазнания всегда была предметом научного рассмотрения. Теория, объясняющая сущность явления, есть метазнание по отношению к феноменологическим закономерностям наблюдаемых явлений. В таком смысле всегда воспринималась философия – как метазнание наивысшего уровня, явно или неявно определяющее стиль научного мышления и методологию научного исследования. Более конкретные и содержательные примеры проблематики метазнания связаны с теоретической интерпретацией наблюдаемых явлений. В связи с этим можно привести парные примеры (в разрезе «явление – описание», «явление – сущность», «форма – содержание», «объясняемое – объясняющее» и т.п.) из разных областей фундаментальной и прикладной науки, например: система Коперника или Птолемея, теория теплорода или молекулярная теория теплоты, механика Ньютона или Эйнштейна, законы Менделя и структура генома, межотраслевой баланс и теория положительных матриц Леонтьева, производственные программы и сетевое планирование.

Во всех подобных случаях требуется выходить на уровень метазнания, чтобы решить *проблему выбора теории*, выявить области соответствия реальности и друг другу различных теоретических построений. Традиционно эти вопросы решались в рамках и средствами конкретной научной отрасли. Однако возможны ситуации, например, в такой предметной области, как экономические информационные системы, где специфический понятийный и методический аппарат классификации, систематизации и выявления закономерностей еще не выработан. Поэтому в общем случае необходимы специальные интеллектуальные усилия для разработки или установления возможности использования того или иного инструментария в качестве метатеории, например, математической логики как инструмента анализа оснований математики, булева исчисления для проектирования релейных схем или сетей Петри для описания экономических информационных систем.

3. Современный этап развития теории метазнаний в значительной степени стимулировался идеями создания искусственного интеллекта и, в частности, экспертных систем. Более широкое применение теории метазнаний как практического инструмента стимулировалось в последнее время коммерческими разработками CASE-систем, а также методик описания и оптимизации организационных структур в экономике и производстве. Предложен ряд методологий структурного анализа, моделирования и проектирования. Их общей чертой является иерархический подход, последовательно детализирующий структуру и функции описываемой предметной области. Общая «метапроцедура» здесь включает три стадии: задание структуры, формулировка структурной динамики, реализация полученной конструкции на ЭВМ. При этом всегда присутствуют такие моменты, как выбор или создание языка описания структур и структурной динамики, выявление принципиальной возможности компьютерной реализации структуры, уточнение соответствия структуры закономерностям предметной области. Структуру можно «сочинить», построить из ранее известных структур или усмотреть ее в исследуемой предметной области. Однако это не гарантирует возможности ее адекватного применения в качестве модели предметной области. Так, например, попытки создания систем машинного перевода сразу же обнаружили неполноту и недостаточность развития лингвистики, считавшейся достаточно сформировавшейся наукой, глубоко исследовавшей структуру естественных языков.

Формулировка структурной динамики является еще более сложной проблемой. Хотя упомянутые методики структурного анализа находят свое применение в сфере кодификации знаний и организации учебного процесса, следует подчеркнуть, что все они есть только «средства изображения», дающие стационарную картинку предметной области и лишь обозначающие динамические факторы и процессы. В задачах выявления и представления знаний стадия формулировки структурной динамики фактически опускается. Общая теория динамики структур находится в зачаточном состоянии. Это еще одна точка роста в теории метазнаний. Динамические базы знаний, динамика графов, и в частности, динамика иерархических структур, – вот некоторые вопросы, требующие построения соответствующей теории. Только после этого можно будет рассматривать, например, вопросы динамического моделирования учебного процесса с целью его интенсификации или оптимизации.

Практически динамические модели удается применить только для традиционных структур, основанных на дифференциальных уравнениях.

Последнее, однако, предполагает необходимость такой стадии как *установление величин* для исследуемой предметной области. Определение характеристик, измеряемых в количественных шкалах, позволяет ввести в рассмотрение балансные соотношения и соответствующие кинетические уравнения. Проблема установления величин является весьма нетривиальной. Сегодня подобные вопросы остро стоят в социологических и экономических исследованиях, в сфере законодательства, в медицине и образовании. Они непосредственно связаны с задачей кодификации знаний. Фактически речь здесь идет о поиске возможных форм представления знаний, в том числе и знаний о динамике, о процессах исследуемой области.

4. В настоящее время разработаны различные модели представления данных и знаний, опирающиеся на теоретико-множественные, алгебраические и логические конструкции. Для *представления данных* используются реляционные, сетевые и иерархические структуры. Для *представления знаний* – различные варианты логических исчислений. Они достаточно эффективно решают техническую задачу хранения информации в базах данных. Однако их выразительность является недостаточной для коммуникативного уровня учебного процесса, например, в системах дистанционного обучения (СДО). Требуется разработка специфических средств учета и «оптимизации» психологических аспектов восприятия обучаемым информации в СДО, гарантирующих овладение навыками теоретической и практической деятельности в соответствующей специальности.

Резюмируя сказанное, можно еще раз повторить, что методики кодификации знаний, развиваемые в общем русле инженерии знаний с ориентацией на решение перечисленных выше вопросов, должны сыграть положительную роль интегрирующего и интенсифицирующего фактора в задачах организации образовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юферов А.Г. К задаче кодификации результатов НИОКР. Препринт ФЭИ-2906. 2001.
2. Юферов А.Г. Реализация технологии функциональной систематики в информационно-моделирующей системе «Ядро» для решения задач кодификации научно-технических знаний. Препринт ФЭИ-2915. 2001.
3. Bell D. The Coming of Post-Industrial Society. A Venture in Social Forecasting. N.Y., Basic Books, Inc., 1973.

УДК 025.45

ВОПРОСЫ ОБОБЩЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЕСЯТИЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

А.Г. Юферов,
канд. физ.-мат. наук,
Московский финансово-юридический университет МФЮА,
Калужский филиал
E-mail: kaluga@mflua.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение в УДК оснований деления с произвольным числом значений для решения задач классификации технико-экономической и социальной информации.

Ключевые слова: классификация, кодирование, лингвистическое обеспечение, унификация классификаторов.

Abstract. Application in UDC grounds of division with any number of values to solve classification problems of technical, economic and social information is considered.

Keywords: classification, coding, linguistic support, unification of classifiers.

Внедрение информационных технологий в различные сферы человеческой деятельности требует предварительного создания соответствующих систем классификации и кодирования [1]. Классификатор выступает как пригодный для компьютерной обработки специализированный язык, описывающий объекты некоторой предметной области.

В качестве основы для создания специализированных классификаторов представляет интерес универсальная десятичная классификация [2]. УДК охватывает всю сферу человеческих знаний. Представляется, что в силу своей многоаспектности, обеспечивающей возможность отнесения понятия к различным областям, она может применяться для решения задач классификации технико-экономической и социальной информации. В этом случае единственное отличие от традиционного применения УДК состоит в том, что кодовая последовательность УДК (индекс УДК) может обозначать не только понятие, но и материальный объект. Такой подход, с одной стороны, обеспечивает унификацию раз-

личных разрабатываемых классификаторов, а с другой – решает задачу развития УДК путем включения непосредственно в ее структуру существующих классификаторов.

Система УДК обеспечивает неограниченный рост классификатора «в глубину» детализации. Это обусловлено тем, что с математической точки зрения индекс УДК представляет собой десятичную дробь, которая может иметь произвольное количество знаков после запятой. Если понятие, которому сопоставлен данный индекс, детализируется, то к индексу справа приписывается очередной десятичный разряд – код детализирующего признака. Таким путем классификация может углубляться неограниченно.

Однако принцип десятичного разбиения каждой темы ограничивает рост классификатора «в ширину». Это делает проблематичным использование УДК в научно-технических приложениях, где количество градаций существенных признаков часто больше десяти. Фактически уже основной ряд УДК (рис. 1) не имеет очевидного признака-основания для принятого деления на десять групп и требует специальных пояснений, например, в отношении разделения понятий между разделами 5 и 6.

- | |
|---|
| <p>0 Общий отдел</p> <p>1 Философские науки. Философия</p> <p>2 Религия. Теология</p> <p>3 Общественные науки</p> <p>4 (Свободен с 1961 г., перенесен в раздел 8)</p> <p>5 Математика. Естественные науки</p> <p>6 Прикладные науки. Медицина. Техника</p> <p>7 Искусство. Декоративно-прикладное искусство. Фотография. Музыка. Игры. Спорт</p> <p>8 Языкознание. Филология. Художественная литература. Литературоведение</p> <p>9 География. Биографии. История</p> |
|---|

Рис.1. Основной ряд УДК

Практически подобная ситуация возникает в различных областях и УДК допускает в таких случаях принятие в соответствующем разряде другого основания: 100 или 1000. Наличие такого механизма внутри

системы само по себе указывает, что десятичное основание не является, вообще говоря, существенным неотъемлемым признаком данной системы классификации. Например, каждому понятию верхнего уровня УДК, представленного на рис. 1, можно сопоставить отдельный код, просто продолжая заданную нумерацию, например, 10 – история, 11 – Биографии и т.д. (Это будет соответствовать выбору в качестве основания деления таких признаков как «сфера деятельности человека» или «область интересов». Количество градаций у этих признаков явно больше десяти и продолжает увеличиваться.)

В модифицированной описанным образом классификации ранее принятая индексация сохраняется путем стандартного для УДК отделения точкой блока кодов верхнего уровня. При этом можно не задавать для блока конкретную разрядность (основание), считая, что каждый признак имеет переменное количество градаций (динамический объем домена). Такую модификацию можно применить на всех уровнях классификации, просто введя разделитель уровней классификации (кодовых блоков). При этом сохраняется весь существующий аппарат системы классификации.

Так, например, существует возможность перехода от десятичной классификации УДК, например, к 100-ичной, принятой в ГАСНТИ, т.е. от кодовых блоков в один десятичный разряд к блокам в два десятичных разряда. При этом существующие кодовые комбинации сохраняют свой смысл, а корректная визуальная интерпретация достигается явным разделением блоков.

Представляет интерес возможность перехода к счетному алфавиту для каждой компоненты кодовой последовательности. Это гарантирует возможность неограниченного увеличения множества допустимых градаций каждого признака. При этом кодовые комбинации могут быть отображены на мультииндексы с доменами конечного объема для всех компонент, кроме первой, принадлежащей счетному множеству. При этом алгоритмы нумерации-денумерации сохраняют свою формулировку [3].

Опишем одну из возможных процедур указанного отображения. Рассмотрим вначале множество 2-мультииндексов $(j, k) \in N^2$, т.е. множество упорядоченных пар натуральных чисел. Введем понятие высоты i для таких мультииндексов: $i = j + k$. Разобьем множество N^2 на подмножества пар одной высоты. Присвоим подмножеству, содержащему пары высоты i , номер i . Объем такого подмножества равен $n_i = i + 1$ и

его элементы можно упорядочить, например, по возрастанию первой компоненты в паре (j, k) , так что нумерация пар в подмножестве i задается формулой $N_i^{(j,k)} = j$. Таким образом построено взаимно однозначное отображение мультииндексов (j, k) сигнатуры $(CardN, CardN)$, т.е. со счетным множеством значений каждой компоненты, на множество мультииндексов (i, j) сигнатуры $(CardN, i + 1)$. Применительно к мультииндексам (i, j) нумератор конкретизируется следующим образом:

$$N_{N^2}^{(i,j)} = \sum_{l=0}^{i-1} n_l + N_i^{(j,k)} = \frac{i(i+1)}{2} + j.$$

Соответственно, поскольку $i = j + k$, нумерующая функция для мультииндексов (j, k) имеет вид

$$N_{N^2}^{(j,k)} = \frac{(j+k)^2 + j + k}{2} + j.$$

В общем случае r -мультииндекса нумератор применяется рекурсивно: $N(e_1, e_2, \dots, e_r) = N(\dots N(N(e_1, e_2), e_3), \dots, e_r)$. Такая нумерация может применяться для индексации и поиска кодовых комбинаций УДК (со счетными градациями признаков) при их хранении в таблицах реляционных баз данных. Таким путем поиск заменяется вычислением. Кодовая комбинация может даже не храниться в таблице, а восстанавливаться по номеру при выборе соответствующего ей объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. О развитии единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации. Постановление Правительства РФ № 1212 от 1 ноября 1999 г.
2. Индексирование фундаментальных научных направлений кодами информационных классификаций: универсальная десятичная классификация / О.А. Антошкова, Т.С. Астахова, В.Н. Белоозеров и др.; Рос. акад. наук, Всерос. ин-т науч. и техн. информации. – М., 2010.
3. Юферов А.Г. Об одной базовой конструкции дискретной математики. В сб. Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе/ Труды международной научно-практической конференции. Том 2. – М., 2009.

УДК 378.147

ВОСПИТАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РЕФЛЕКСИИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ВЫПУСКНИКОВ КОЛЛЕДЖА

*В.В. Стеценко,
Таганрогский колледж морского приборостроения
E-mail: vstts21@mail.ru*

Аннотация. В статье указана связь между профессиональной рефлексией и социальной адаптацией выпускников колледжа.

Ключевые слова: воспитание, профессиональная рефлексия, социальная адаптация, выпускники колледжа.

Abstract. The connection between professional reflexion and social adaptation of the college graduate is shown in this article, the urgency of its upbringing to college students is proved here.

Keywords: upbringing, professional reflexion, social adaptation, college graduates.

Одним из основных факторов социальной адаптации человека является его профессиональная деятельность, которая дает ему материальные основы существования и на которой строятся уже надстройки – семья, сфера потребления, досуг и т. д.

Адаптация студентов к будущей профессиональной деятельности – одна из самых актуальных проблем, в решении которой заинтересована система профессионального образования. И заинтересованность эта вызвана в большой степени обозначенной связью с социальной адаптацией. Если отсутствие удовлетворенности своей профессией, неприспособленность являются проблемой самого человека, то углубленное следствие этого – социальная неадаптированность – может представлять опасность для общества. Способность адаптироваться присуща человеку, формируется под влиянием окружающей среды. Развитие и воспитание этой способности является важной задачей образовательного учреждения, где он проводит один из главных периодов своей жизни, начинает формироваться как профессионал. В ходе учебно-профессиональной деятельности студент овладевает професси-

ональными компетенциями с целью достижения необходимого профессионального уровня, у него развиваются профессионально значимые качества, приходят в соответствие профессиональные намерения личности и требования со стороны профессии, т. е. происходит адаптация к профессиональной деятельности.

Огромное влияние на формирование компетенций и качеств может оказать рефлексия. Помимо этого косвенного действия на повышение социальной адаптации, профессиональная рефлексия, приобретенная в колледже, непосредственно будет влиять на качество профессиональной деятельности уже после окончания учебного заведения. Обратившись к истории использования рефлексии, отметим, что рефлексивную парадигму в образовании в противовес стандартной, традиционной, предложил профессор Гарвардского университета М. Липман. Цель рефлексивного образования М. Липман определил как «научение молодых людей навыкам разумности с тем, чтобы в дальнейшем они стали разумными гражданами, разумными партнерами, разумными родителями» [1, р. 10]. В этом определении акцент сделан на развитии навыков разумного мышления и поведения, а не на накоплении знания (информации), как это присуще традиционной парадигме образования. Рефлексивная парадигма сопровождает образовательный процесс рефлексивным осознанием субъектами образования, которое включает осознание способов деятельности, обнаружение ее смысловых особенностей, выявление образовательных приращений обучающихся, т.е. рефлексия становится источником внутреннего опыта, способом самопознания и необходимым инструментом мышления.

В условиях учреждения среднего профессионального образования, каковым является колледж, важен аспект рефлексии как средства, помогающего освоить свое место в будущей профессиональной деятельности. Можно сказать, что профессиональная рефлексия – это соотношение возможностей своего «Я», уровня своих личностных способностей и знаний с тем, чего требует избранная профессиональная деятельность в выбираемом сегменте социума. Хотелось бы отметить окончание предыдущей фразы. Дело в том, что, в общем говоря, одна и та же профессия может быть использована в различных «приложениях», на различном уровне профессионализма в нашем обществе, и умение найти эту свою «нишу» поможет социальной адаптации выпускника.

К сожалению, современные образовательные стандарты в большей степени нацеливают на оснащение будущего специалиста знаниями,

нежели на формирование у него способности к рефлексии. В отечественных исследованиях по педагогике и психологии уже достаточно давно [2, с.153–175], [3, с. 20–25], [4, с. 46–48] рекомендуется переход к рефлексивно-ориентированным образовательным и воспитательным технологиям. Эти технологии позволяют студенту за одно и то же время пройти гораздо больший путь в осознании своего места в профессиональной среде по сравнению с «нерефлексирующим» студентом, что обеспечит ему значительные конкурентные преимущества. Рефлексивное образование, конечно, требует больших усилий от обучающегося, своего рода – это дополнительное сопротивление «среды обучения», преодолев которое, получаем дополнительное «расслоение» студентов по результатам. Но в выигрыше в итоге останутся все – и первые и последние – за счет более четкого понимания своих возможностей.

Интересно, что во Франции еще с 1996 г. был взят курс на формирование у молодежи культуры профессионального самоопределения, при этом устанавливались следующие цели:

- ознакомить с экономическим и профессиональным окружением;
- обогатить их представления о профессиональном мире на основе рефлексии способов профессиональной подготовки и потребностей рынка труда;
- способствовать самостоятельной идентификации препятствий в реализации своих профессиональных амбиций, их анализу и нахождению способов преодоления трудностей при активном участии педагогов-воспитателей;
- придать смысл обучению через профессиональный проект (projet professionnel).

Видим, что эти цели возможно достигнуть только воспитанием профессиональной рефлексии, одних специальных знаний недостаточно.

В отечественной педагогике наиболее разработаны технологии воспитания рефлексии у студентов педагогического вуза. Для студентов технического колледжа необходимы прежде всего преподаватели, имеющие опыт работы в профессиональной среде, т.к. именно они способны создать среду для рефлексирования. Они должны обладать к тому же навыками рефлексивной организации обучения. Необходима практика студентов в обстановке, максимально приближенной к будущей профессиональной. Необходимо широко использовать инновационные технологии обучения, в том числе компьютерное моделирование. Использование, например, программы DesignLab моделирования ана-

логовых электронных схем, позволяет студентам очень быстро найти недостатки в своей теоретической подготовке по схемотехнике. «Обратная связь», которую дает интерактивная работа с программой, очень хорошо соответствует принципу рефлексии и позволяет получать опыт, корректирующий дальнейшие действия. В психологическом плане преподаватель должен помогать студенту строить позитивный образ себя, знакомить со способами действий и принятия решения. Это позволит учащимся узнать свои истинные интересы, сильные и слабые стороны, склонности.

Концепция воспитания профессиональной рефлексии должна строиться на основе принципов соответствия и региональной ориентированности. Первый означает, что на протяжении всего периода обучения в колледже создаются необходимые условия для разработки студентом профессионального проекта – «вектора» профессиональной подготовки в соответствии с индивидуальными особенностями. Принцип региональной ориентированности означает оказание студенту помощи в построении своего проекта в соответствии с кадровыми потребностями конкретного региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lipman M. Thinking in Education // The reflective model of educational practice. – Cambridge, 1991.
2. Богин В. Обучение рефлексии как способ формирования творческой личности / Современная дидактика: теория – практике / Под ред. И.Я. Лернера, И.К. Журавлева. – М., 1994.
3. Стеценко И.А. Обучение студентов способам рефлексии в процессе профессиональной подготовки // Наука и школа. 1999. №6.
4. Стеценко И.А. Теоретические основы технологии развития педагогической рефлексии студентов в ходе профессиональной подготовки в вузе / Материалы междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы психического здоровья молодежи в XXI». – Пенза, 2003.

УДК 37.046.16

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ УЧАЩИХСЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Л.И. Шаталова,
канд. пед. наук, доцент,
Московский государственный гуманитарный университет
им. М.А. Шолохова
E-mail: grafinja@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной для современной педагогической науки проблеме организации учебной деятельности учащихся. Рассматривается геометрический проект – экскурсия для развития математических способностей учащихся 5–6 классов. Автор раскрывает фазы, этапы и стадии методологии учебной и исследовательской деятельности учащихся на экскурсии.

Ключевые слова: учащиеся, математическое образование, геометрический проект, экскурсия, методология, учебная и исследовательская деятельность.

Abstract. The proposed article is devoted to the actual for modern pedagogical science problem of organization of the educational activities of pupils. In article it is considered the geometrical project – the excursion for develop of the mathematical faculties of pupils 5–6 classes. The author disclosed phases, stages and stages of the methodology the educational and the investigative activities of pupils in the excursion.

Keywords: pupils, a mathematical education, the geometrical project, a excursion, a methodology, the educational and the investigative activities.

На современном этапе развития общества в условиях глобализации и информатизации приоритетным направлением становится качественная подготовка подрастающего поколения к жизни. Данная подготовка предусматривает образовательное обучение, ориентированное на овладение учащимися фундаментальными знаниями гуманитарных и естественных дисциплин. В связи с этим значимая роль отводится математическому образованию, в том числе его геометрической составляющей.

Школьное образование в современных условиях призвано обеспечить функциональную грамотность и социальную адаптацию обучающихся на основе приобретения ими опыта в сфере учения, познания и личностного развития.

Однако реальное состояние геометрической подготовки выпускников выявляет недостаток развития пространственного мышления, умения правильно изобразить геометрические фигуры, провести дополнительные построения и вычисления, применить полученные знания в решении практических задач.

Во многих образовательных учреждениях (ОУ) в педагогическом процессе отсутствует контроль геометрических знаний на базовом уровне. Часы, отведенные на геометрию (сокращены до 1,5 часов в неделю), используются для повторения и изучения алгебраического материала. Например, у 50% выпускников вызывает затруднение решение задач с прямоугольными треугольниками. Статистические данные в 2009 г. констатируют о том, что геометрические задачи на ЕГЭ решают лишь 20% учащихся. Для исправления данной ситуации в 2010 г. включаются геометрические задания базового уровня в контрольно-измерительные материалы ЕГЭ и ГИА.

И.Ф. Шарыгин отмечает, что необходимо вводить пропедевтический курс геометрии в начальной и средней школе, выступающий в виде естественно-научного предмета. Основные методы получения геометрического знания – это наблюдение и эксперимент. На этом этапе значимой является их учебная геометрическая деятельность, связанная с пространственными объектами, ориентированная на развитие воображения и мышления [2, с.133–149].

Наглядность обучения в педагогическом процессе, по мнению И.Ф. Харламова, обуславливается рядом факторов. Она является для учащихся источником и средством непосредственного познания окружающего мира. Я.А.Коменский считает, что для привития истинного и прочного знания вещей следует обучать учащихся через личное наблюдение и чувственное доказательство. К.Д.Ушинский отмечает, что знания будут полнее и прочнее, если при восприятии задействовано большое количество органов чувств. Понятия и абстрактные положения усваиваются ими легче, если они базируются на восприятии изучаемых предметов и явлений. Также наглядность повышает интерес к учению и делает его более легким [1, с. 104–105]. Мы разделяем взгляды ученых и считаем, что знания при обучении становятся прочными и интересными.

ми, когда учащиеся вовлекаются в этот процесс, «добывая» их на практике через персональный опыт, приобретая уверенность в своих силах.

При подготовке будущих учителей математики с целью развития практических навыков учащихся ОУ нами разрабатываются и внедряются уроки наглядной математики. На них прослеживается связь с реальной действительностью, помогающая осознать необходимость изучения математической науки, ее прикладное значение в природе, архитектуре, истории, искусства.

В связи с этим одной из активных *форм* обучения служит экскурсия, направленная на развитие геометрических способностей учащихся. В качестве примера мы предлагаем программу «Геометрическая составляющая математики учащихся 5–6 классов», разработанную дипломником, где автор являлся научным руководителем. Программа включает следующие темы: «Линии. Единицы измерения», «Многоугольники», «Треугольники и четырехугольники», «Многогранники», «Окружность. Круглые тела», «Симметрия», «Многоугольники и многогранники», «Буквы и формулы. Математический язык». На ее основе была проведена геометрическая экскурсия «Усадьба Кусково».

Подготовительный этап по проведению экскурсии включал знакомство учащихся с *единицами измерения* (вершок, локоть, маховая сажень, косая сажень, фут, малая пядь, большая пядь), используемые в Древней Руси, а также с *архитектурными терминами* (портик, фронтон, аттик, колонна, ордер архитектурный, горизонтальные несомые части ордера – антаблемент (карниз, фриз, архитрав), вертикальные несущие части ордера – капитель, ствол колонны, база). Затем они составляли *геометрический словарь*.

В практической геометрической деятельности ими используются дидактические инструменты (метровая деревянная линейка (или палка), сантиметр, карандаши, ручка, тетрадь).

Для учащихся 5–6 классов предлагаются учебно-исследовательские задания (геометрический аспект) математики по различным темам.

Тема 1. Линии. Единицы длины. Задание 1. Измерьте древнерусскими величинами рост (вершок; малая пядь, локоть, маховая сажень) каждого ученика. **Задание 2.** Измерьте стороны парты своей пядью. **Задание 3.** Измерьте диагональ парты в см и переведите в дюймы.

Тема 2. Многогранники. Задание 1. Из палочек и пластилиновых шариков изготовьте каркасные модели куба и тетраэдра.

Тема 3. Многоугольники и многогранники. Задание 1. Из палочек и пластилиновых шариков изготовьте каркасные модели 3 многогранников. Просчитайте на каждой модели количество вершин (B), граней (Γ) и ребер (P). Обратите внимание, что $B - P + \Gamma = 2$.

Тема 4. Буквы и формулы. Математический язык. Задание 1. Длина окружности примерно в 3 раза больше своего диаметра. Проверьте это утверждение с помощью нитки и линейки, измерив 3 круглых стакана разных диаметров. Составьте формулу длины окружности.

Учебно-исследовательская деятельность учащихся на экскурсии. В усадьбе графа П.Б.Шереметева «Кусково» учащиеся знакомятся с главной аллеей, дворцом, с колонной Минервы (или Афины), Голландским домиком, Гротом. Учитель математики по каждому объекту дает историческую справку.

Тема 1. Линии. Единицы измерения длины.

Задание 1. Измерьте аллею «на глаз» и шагами. Переведите результаты измерения шагами в см. Сравните с первым предположением (измерением «на глаз»).

Задание 2. Измерьте пьедестал колонны дворца пядью.

Задание 3. Измерьте высоту колонны Минервы по тени. Измерьте длину тени колонны. Измерьте тень метровой палки. Вычислите высоту, если известно, что отношение тени к объекту (отбрасывающего ее) постоянно.

Задание 4. Найдите разные линии в оформлении зданий: замкнутые, разомкнутые. Нарисуйте их.

Задание 5. Определите виды сторон здания. Вид спереди, вид справа, вид слева.

Тема 2. Многоугольники. Треугольники и четырехугольники. Многогранники. Окружность. Круглые тела. Симметрия.

Задание 1. Посмотрите на каждое здание внимательно. Повернитесь к нему спиной и перечислите, сколько различных форм окон, колонн, фронтонов и других деталей имеет каждое здание. Определите фигуры этих зданий. Нарисуйте их.

Задание 2. Определите виды сторон каждого здания. Вид спереди, вид справа, вид слева.

Задание 3. Посмотрите на фотографию каждого здания и на реальный объект, найдите неточности или ошибки.

Задание 4. Измерьте высоту самого высокого здания по тени.

Задание 5. Измерьте диаметр круглого пруда.

Задание 6. Посмотрите на каждое здание внимательно. Повернитесь к нему спиной и перечислите, сколько различных элементов имеет симметричную форму каждое здание. Симметрично ли само здание? Нарисуйте симметричные детали.

Тема 3. Буквы и формулы. Математический язык.

Задание 1. Запишите в виде математического выражения и решите.

А) число колонн дворца умножьте на количество фронтонов, затем к произведению прибавьте число ступеней главного входа;

б) найдите произведение суммы чисел (a и b) и числа 2, где a – количество дымоходов, b – количество окон;

в) разность числа окон и суммы чисел a и c , где a – количество дымоходов, c – количество фронтонов.

Задание 2. Составьте формулы периметра и площади любого прямоугольного окна:

$$P = 2a + 2b, S = ab.$$

Задание 3. Составьте формулу периметра треугольного фронтона со сторонами a , a и b : $P = 2a + b$.

После экскурсии учащимся предлагается серия домашних заданий, направленных на подготовку отчета в виде творческой работы и его защиты.

Задание 1. Нарисуйте или сделайте макет понравившегося здания, или оформите фотоальбом по теме экскурсии, вписав в него формулы, которые вы могли бы применить для измерения изображенных деталей здания.

Задание 2. Придумайте свою единицу измерения и измерьте ею два предмета в квартире (например, телевизор, дверь или комод).

Задание 3. Ответьте на вопросы.

1. Что нового вы узнали?
2. Какое впечатление произвела на вас экскурсия?
3. С какими геометрическими фигурами в архитектуре вы познакомились?

4. Что хотелось бы вам изменить в архитектурном-парковом ансамбле, если бы вы были архитектором?

Таблица
Методология учебно-исследовательской деятельности учащихся 5-6 классов геометрического проекта – экскурсии «Усадьба Кусково»

| Фазы проектирования | Этапы | Стадии |
|-------------------------|------------------------------------|--|
| 1. Фаза проектирования | 1. Поисковый 2. Организационный | а) определение места проведения экскурсии; б) определение темы экскурсии. а) общественная коммуникация: разделение на группы (4–5 чел. в каждой); б) распределение функций при групповой работе (обязанности каждого ученика); в) привлечение членов родительского комитета. |
| 2. Технологическая фаза | 3. Информационный | а) определение видов источников информации по теме экскурсии (электронные, печатные, смешанные); б) подготовка: изучение теории по теме экскурсии; оформление архитектурного словаря; получение списка заданий и вопросов к отчету по экскурсии; в) инструктаж по технике безопасности и правилам поведения (в транспорте, на территории усадьбы, между собой и окружающими людьми). |
| 3. Рефлексивная фаза | 1. Технология реализации проекта | а) осмотр места экскурсии; б) проведение необходимых измерений для выполнения заданий; в) выполнение экскурсионных заданий. |
| | 2. Оформление результатов работы | а) выбор визуального оформления отчета; б) выполнение экскурсионного отчета; в) представление творческой работы учеников по результатам экскурсии (рисунки, макеты понравившихся зданий, фотоальбомы). |
| | 1. Оценочный | а) проверка отчета о проведенной экскурсии. Оценка работы каждого ученика; б) защита творческой работы; в) выставка творческих работ. |

Далее мы представляем методологию учебно-исследовательской деятельности учащихся 5–6 классов геометрического проекта – экскурсии «Усадьба Кусково» в области математического образования (см. табл.). В науке любой проект рассматривается как временная структура какой-либо деятельности. Он включает фазы, этапы и стадии. Мы разработали содержание данной деятельности. Данный проект может оказать дидактическую помощь учителям математики в повышении педагогического мастерства.

Таким образом, математическая подготовка учащихся ОУ может быть эффективной в том случае, если будут внедряться в учебный процесс проекты практической направленности для развития геометрических способностей в формировании общей культуры человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харламов И.Ф. Педагогика – краткий курс. – Мн., 2004.
2. Шарыгин И.Ф. К семидесятилетию со дня рождения. – М., 2007.

УДК 378.147.88

АНАЛИЗ ПОСЕЩАЕМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ САЙТОВ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

*И.С. Романова,
Московский финансово-юридический университет МФЮА,
Тверской филиал
E-mail: romanova@mfua.ru*

Аннотация. В статье исследуется посещаемость студентами образовательных математических сайтов. Методами исследования являются опрос, анкетирование студентов и статистическая обработка полученной информации. Результаты исследования применяются в области организации дистанционной системы обучения.

Ключевые слова: образовательные математические сайты, интернет-образование, анкетирование, критерии, степень зависимости, регрессионный анализ.

Annotation. In the article the visited is investigated by the students of educational mathematical web-sites. Research methods are questioning, questionnaire of students and statistical treatment of the got information. Research results are used in area of organization of the controlled from distance departmental teaching.

Keywords: educational mathematical web-sites, Internet-education, questionnaire, criteria, degree of dependence, regressive.

Международная компьютерная сеть Интернет является огромным информационным ресурсом для научных работников, преподавателей учебных заведений, студентов и т. д. Интернет позволяет публиковать результаты научных исследований, вести научную переписку, участвовать в он-лайн конференциях и форумах. Таким образом, бумажные носители информации (книги, журналы, газеты и др.) становятся малоприменимыми. Интернет – «виртуальное образование», которое организовано путем объединения огромного числа независимых глобальных и корпоративных сетей. Интернет делает информацию доступной, независимо от местонахождения, национальности, взглядов, не имеет политических и территориальных границ. Во времена новых информа-

ционных технологий все больше фирм, организаций, учебных заведений связывают свою деятельность с компьютерами и Интернетом. В наши дни становится обыденным для каждой организации или учебного заведения иметь свое представительство в глобальной сети Интернет. Интернет – это постоянно растущая аудитория, в которой немало потенциальных клиентов. Разумеется, есть множество других способов заявить о себе – реклама в периодических изданиях, на телевидении, радио. Но современные соцопросы показывают, что все больше людей в первую очередь ищут необходимую информацию в сети Интернет. Информация в Интернете отличается быстротой передачи, возможностью передачи большого объема информации за сравнительно короткое время, и, несомненно, эффективностью.

Одними из самых распространенных являются образовательные сайты для школьников и студентов. Образовательный сайт можно рассматривать как каталог образовательных Интернет-ресурсов, электронных библиотек, учебно-методических материалов. Образовательный сайт – современное средство взаимодействия учебного заведения с внешним миром, отражающее образовательные процессы.

К образовательным сайтам относятся: www.edu.ru, www.school.edu.ru, www.fepo.ru, www.ege.edu.ru, www.allbtst.ru, www.faculty.ru, www.exponenta.ru, www.studs.ru, www.curator.ru, www.intuit.ru, www.help.abiturcenter.ru, и т. д.

В нашем случае объектом исследования будет являться посещаемость математического Web – сайта www.exponenta.ru. Сайт www.exponenta.ru – сайт о моделировании и исследовании систем, объектов, технических процессов и физических явлений. Сайт был задуман как научно-образовательный сайт, посвященный применению универсальных математических пакетов в образовании и науке. Спонсором сайта выступает компания SoftLine – дистрибьютор большинства математических пакетов на российском рынке. Основная цель проекта – предоставить в российском Интернете единое пространство для всех, кто использует и хочет использовать математические пакеты в образовательной и научной деятельности. Проект открыт для сотрудничества с вузами, центрами дистанционного обучения, преподавателями и другими заинтересованными лицами. За время своего существования сайт стал известной площадкой в образовательной среде для открытого обмена методическими разработками, выполненными с использованием математических пакетов.

На сайте каждый семестр проводятся традиционные конкурсы методических разработок и студенческих работ. Все работы размещены в свободном доступе на сайте в разделах «Методические разработки» и «Банк студенческих задач». Для открытого общения на сайте работают форумы (<http://forum.exponenta.ru>). Благодаря им, студенты могут общаться со своими коллегами из других вузов, задавать вопросы преподавателям. Для преподавателей, научных работников, студентов и других представителей образовательной среды Exponenta.ru предоставляет уникальную возможность бесплатного хостинга для размещения авторских сайтов естественно-научной тематики и сайтов о научном программном обеспечении. Миссия данного сайта – помочь студентам изучить математические пакеты, предложив им всевозможные учебные материалы, консультации и примеры, касающиеся научных пакетов.

Исследуем зависимость посещаемости данного сайта студентами и школьниками за период с марта 2010 г. по январь 2012 г. (y) от месяца обучения (x), при этом будем учитывать посещения в каникулярное время и непосредственно в сам период обучения [3]. Для этого введем фиктивные переменные d_1 и d_2 , принимающие значения

$$d_1 = \begin{cases} 1 - \text{каникулярное время,} \\ 0 - \text{время обучения.} \end{cases} \quad d_2 = \begin{cases} 0 - \text{каникулярное время,} \\ 1 - \text{время обучения.} \end{cases}$$

Данные, полученные по результатам посещаемости сайта за 23 месяца, приведены в табл. 1.

Таблица 1

| № | y | x | d_1 | d_2 |
|----|-----|-----|-------|-------|
| 1 | 132 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 136 | 2 | 0 | 1 |
| 3 | 167 | 3 | 0 | 1 |
| 4 | 165 | 4 | 0 | 1 |
| 5 | 45 | 5 | 1 | 0 |
| 6 | 36 | 6 | 1 | 0 |
| 7 | 133 | 7 | 0 | 1 |
| 8 | 174 | 8 | 0 | 1 |
| 9 | 178 | 9 | 0 | 1 |
| 10 | 240 | 10 | 0 | 1 |
| 11 | 213 | 11 | 0 | 1 |

Окончание таблицы 1

| № | y | x | d_1 | d_2 |
|----|-----|----|-------|-------|
| 12 | 120 | 12 | 0 | 1 |
| 13 | 147 | 13 | 0 | 1 |
| 14 | 145 | 14 | 0 | 1 |
| 15 | 175 | 15 | 0 | 1 |
| 16 | 176 | 16 | 0 | 1 |
| 17 | 37 | 17 | 1 | 0 |
| 18 | 32 | 18 | 1 | 0 |
| 19 | 123 | 19 | 0 | 1 |
| 20 | 164 | 20 | 0 | 1 |
| 21 | 185 | 21 | 0 | 1 |
| 22 | 218 | 22 | 0 | 1 |
| 23 | 203 | 23 | 0 | 1 |

В таблице: y – посещаемость сайта за месяц, x – номер месяца

Таблица 2

| № | y | x | d_2 |
|----|-----|----|-------|
| 1 | 132 | 1 | 1 |
| 2 | 136 | 2 | 1 |
| 3 | 167 | 3 | 1 |
| 4 | 165 | 4 | 1 |
| 5 | 45 | 5 | 0 |
| 6 | 36 | 6 | 0 |
| 7 | 133 | 7 | 1 |
| 8 | 174 | 8 | 1 |
| 9 | 178 | 9 | 1 |
| 10 | 240 | 10 | 1 |
| 11 | 213 | 11 | 1 |
| 12 | 120 | 12 | 1 |
| 13 | 147 | 13 | 1 |
| 14 | 145 | 14 | 1 |
| 15 | 175 | 15 | 1 |
| 16 | 176 | 16 | 1 |
| 17 | 37 | 17 | 0 |
| 18 | 32 | 18 | 0 |
| 19 | 123 | 19 | 1 |
| 20 | 164 | 20 | 1 |
| 21 | 185 | 21 | 1 |
| 22 | 218 | 22 | 1 |
| 23 | 203 | 23 | 1 |

Использование одновременно фиктивных переменных d_1 и d_2 приведет к мультиколлинеарности факторов, т. к. d_1 и d_2 линейно зависимы ($d_1 + d_2 = 1$) [1]. Оставим в уравнении регрессии только переменную d_2 (табл. 2).

В результате решения задачи в MS EXCEL с помощью инструмента «Анализ данных. Регрессия» получены следующая регрессионная статистика и дисперсионный анализ. В общем уравнении регрессии зависимость переменной y рассматривается как функция не только от номера месяца x, но и от периода обучения (d_1, d_2).

Таким образом, уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = 22,950 + 1,265x + 129,839 d_2 \quad (1)$$

Оценим значимость уравнения регрессии по критерию Фишера. Множественный коэффициент детерминации $R_y^2 = 0,86$, расчетное значение $F_{расч.}$ F – критерия Фишера в нашем случае составляет 30,82. При $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $v_1 = 3, v_2 = 20$ находится критическое значение F – критерия $F_{кр.} = F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0,05; 3; 20} = 3,10$ [1]. Так как $F_{набл.} > F_{кр.}$, то полученное уравнение регрессии значимо.

Оценим значимость коэффициентов уравнения регрессии с помощью критерия Стьюдента [2]. Пусть $\alpha = 0,05, n = 23$ – число элементов в выборке по каждой переменной, $p=2$ – число оцениваемых коэффициентов уравнения регрессии, v – число степеней свободы и $v = (n - p - 1) = 20$.

Результат обработки статистического материала представлен t-статистикой. При этом t-статистика для x и d_2 по абсолютной величине соответствует: $|t_1| = 1,31, |t_2| = 7,69$ (Приложение 1, столбец «t-статистика»). Критическое значение $t_{кр} = t_{1-\alpha, v} = t_{0,95; 20} = 2,09$ при $\alpha = 0,05$ находится по табл. IV из [2]. Коэффициент при d_2 значим, т. к. коэффициент при x не значим, т. к. $|t_1| < t_{кр}$.

После реализации пошагового алгоритма регрессионного анализа получено уравнение регрессии со всеми значимыми коэффициентами:

$$\hat{y} = 37,5 + 130,60 d_2 \quad (2)$$

Результат обработки статистического материала представлен t-статистикой. При этом t-статистика для d_2 по абсолютной величине соответствует $|t_2| = 7,61$. (Приложение 2, столбец «t-статистика»).

Критическое значение $t_{кр} = t_{1-\alpha}$; $v = t_{0,95;21} = 2,08$ при $\alpha = 0,05$ находится по табл. IV из [2]. Коэффициент при d_2 значим, т. к. $|t_2| > t_{кр}$.

Полученная модель (2) оценивается с использованием MS EXCEL с помощью инструмента «Анализ данных. Регрессия».

Об адекватности модели свидетельствуют ее параметры: множественный коэффициент детерминации $R_y^2 = 0,86$, расчетное значение $F_{расч.}$ F – критерия Фишера, которое в нашем случае составляет 57,94.

При $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $v_1=2$, $v_2=21$ находится критическое значение F – критерия $F_{кр.} = F_{\alpha,v_1,v_2} = F_{0,05;2;21} = 3,47$ [1]. Так как $F_{набл.} > F_{кр.}$, то уравнение регрессии значимо.

На основе полученного уравнения регрессии (2) можно сделать следующие выводы: посещаемость математического образовательного сайта www.exponenta.ru зависит от периода обучения (обычное и каникулярное) и практически не зависит от месяца в период обучения. Это объясняется стабильностью аудитории сайта (преподаватели, заинтересованные в математике студенты и др.) и недостаточной (по мнению автора) «раскруткой сайта», а также недостаточным вниманием к изучению дисциплины «математика» в школьных курсах.

Математическая модель, описывающая динамику популярности веб-сайтов, показывает, что посещаемость сайта изменяется резкими случайными всплесками. Некоторые сайты показывают стабильный рост посещаемости, но большая часть сайтов сохраняет небольшую посещаемость, то рост, то падение. Это связано с потребностями в той или иной информации. Большой рост посещаемости наблюдается во время проведения сессий в учебных заведениях, при сдачах контрольных семестровых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эконометрика / Под ред. И.И. Елисеевой. – М., 2002.
2. Громько Г.Л. Общая теория статистики. Практикум. – М., 2000.
3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М., 2000.
4. Романова И.С. Особенности интернет-образования студентов // Электронный журнал «Современные исследования социальных проблем», 2012, №2.

В КОНЦЕ НОМЕРА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

И.А. Горюнов,
Московский финансово-юридический университет МФЮА
E-mail: gor4441@yandex.ru

На очередном заседании Президиума Российской академии наук с научным сообщением «Опыт Математического института им. В.А. Стеклова РАН в работе по популяризации и пропаганде математики» выступил кандидат физико-математических наук Н.Н. Андреев. В своем докладе он рассказал о работе по популяризации и пропаганде математики в ведущем научном центре нашей страны.

Традицией российского научного сообщества является деятельное участие ученых в организации образования в стране, признанно высокий уровень которого был достигнут благодаря этому влиянию. На этом поприще всегда активны были представители физико-математических наук, и в этом нет ничего удивительного, так как среди зачинателей этого движения были Н.И. Лобачевский, М.В. Остроградский, П.Л. Чебышев, А.Н. Крылов. Касается это и популяризации науки.

В XX веке традиция сохранилась. Академический Математический институт им. В.А. Стеклова и его сотрудники всегда участвовали в этой работе, а зачастую были авторами новых форм и инициатив. Всего несколько фактов. Первая олимпиада для школьников по математике была организована в 1934 году в Ленинграде членом-корреспондентом АН СССР Б.Н. Делоне, а в проведении первой московской олимпиады в 1935 году принимали участие академики и члены-корреспонденты РАН П.С. Александров, А.Н. Колмогоров, Л.А. Люстерник, С.Л. Соболев, Л.Г. Шнирельман. Академики И.А. Кикоин и А.Н. Колмогоров возглавляли физико-математический журнал «Квант», тираж которого в некоторые годы превышал 300 тысяч экземпляров. Классикой этого жанра стали увлекательные лекции и научно-популярные статьи и книги выдающегося математика, академика В.И. Арнольда.

В 2010 году в Математическом институте им. В.А. Стеклова РАН была создана лаборатория популяризации и пропаганды математики. Основными задачами лаборатории являются популяризация и пропаганда математики, достижений отечественной математической школы, исследований, ведущихся в Математическом институте, на-

учных результатов, полученных сотрудниками института. Проекты лаборатории широко известны. Среди них: «Математические этюды» (<http://etudes.ru>) – единственная в мире серия фильмов о решенных и нерешенных задачах (более 50); фильмы, детально восстанавливающие механизмы П.Л. Чебышева и принципы их работы (<http://tcheb.ru>).

В докладе заведующий лабораторией популяризации и пропаганды математики Математического института им. В.А. Стеклова РАН Н.Н. Андреев уделил внимание и опыту выпуска программ для современных мобильных устройств. Например, программу «В уме» (<https://itunes.apple.com/ru/app/id482487701?mt=8>), являющуюся интерактивной реализацией сборника С.А. Рачинского «1001 задача для умственного счета», установили на свои устройства более 300 тысячей пользователей.

В сообщении также затронуты и общие проблемы популяризации науки в современном обществе – новые методы обращения к молодежи и ведения диалога с ней. Было, в частности, констатировано, что при падении в России (по сравнению с СССР) тиражей научных журналов в 100 раз, а книг в 25 раз, использование киберсреды для пропаганды математических знаний дает следующий результат: количество обращений к выложенным в Интернет математическим статьям совпадает с тиражами математических журналов в СССР.

В ходе последующего обсуждения научного сообщения было констатировано, что роль математики в формировании научного мышления и научного мировоззрения огромна. Именно царица наук приводит «мозги в порядок», учит людей культуре рассуждений. Как следствие, вместо противопоставления «нравиться – не нравиться», обученные математике люди рассуждают в терминах «истинно – не истинно».

Сайты по математике для детей и взрослых:

<http://Math.ru>

<http://Math-Net.ru>

<http://etudes.ru>

<http://tcheb.ru>

<http://vofem.ru>

[http:// Mathesis.ru](http://Mathesis.ru)

**ВЕСТНИК
Московского финансово-юридического
университета МФЮА**

№ 1/2013

ИЗДАНИЕ ПОДГОТОВИЛИ:

Литературный редактор, корректор
И.М. Башлай

Компьютерная верстка
М.В. Потапова

Дизайн обложки
Г.Ю. Светланов

Сдано в набор 05.11.2012. Подписано в печать 25.12.2012.
Формат 60x90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Уч.-изд. л 15. Печ. л. 15.
Тираж 250 экз. Заказ

Отпечатано в типографии ФГУП «Типография» Россельхозакадемии.
115598, г. Москва, ул. Ягодная, д. 12.
Телефон (495) 329-52-00, 329-45-11, факс 329-45-00

Стоимость подписки на журнал указана в каталогах
Агентства «Роспечать»

ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ на ~~газету~~ журнал **66053**
(индекс издания)

Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА
(наименование издания) Количество комплектов: _____

на 20 **13** год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | X | X | X | X | X | X |

Куда _____
(почтовый индекс) (адрес)

Кому _____
(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

_____ на ~~газету~~ журнал **66053**
(индекс издания)

ПВ место литер

Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА
(наименование издания)

| | | | |
|----------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|
| Стои- мость | подписки | 900 руб. 00 коп. | Количество комплектов |
| | переадресовки | _____ руб. _____ коп. | |

на 20 **13** год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | X | X | X | X | X | X |

Куда _____
(почтовый индекс) (адрес)

Кому _____
(фамилия, инициалы)



**ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ
ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!**

На абонемента должен быть проставлен оттиск кассовой машины.

**При оформлении подписки (переадресовки)
без кассовой машины на абонемента проставляется оттиск
календарного штампа отделения связи.**

**В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией
об оплате стоимости подписки (переадресовки).**

**Для оформления подписки на газету или журнал,
а также для переадресования издания бланк абонемента
с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами,
разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями,
изложенными в подписных каталогах.**

**Заполнение месячных клеток при переадресовании
издания, а также клетки «ПВ-МЕСТО» производится
работниками предприятий связи и подписных агентств.**