



Пузанков Д. В. (председатель)

Кутузов В. М. (заместитель
председателя)

Мейев В. А. (ответственный
секретарь)

Малышев В. Н. («Радиоэлек-
троника
и телекоммуникации»)

Соломонов А. В.
(«Физика твердого тела
и электроника»)

Герасимов И. В. («Информа-
тика, управление и компью-
терные технологии»)

Путов В. В.
(«Автоматизация
и управление»)

Прокофьев Г. И. («Электро-
техника»)

Филатов Ю. В. («Приборо-
строение и инфор-мационно-
измерительные технологии»)

Попечителей Е. П. («Биотех-
нические системы в медицине и
экологии»)

Степанов С. А.
(«Управление качеством, инно-
вационный и антикризисный
менеджмент»)

Маркова О. Ю. («Гуманитар-
ные науки»)

Вендик О. Г.
(«История науки, образования
и техники»)

Лысенко Н. В..
(«Современные технологии
в образовании»)

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
тел.: 234-02-23

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

Громов А. Г. Расчет волноводов сложных сечений..... 3

Лавренко Б. Е., Малышев В. Н. Исследование зависимости
эффективной скорости передачи данных одноранговой
радиолинии от параметров пакетирования..... 12

Лавренко А. Е., Малышев В. Н. Пассивное обнаружение
и идентификация bluetooth-устройств 17

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Барченко В. Т., Лучинин В. В., Пронин В. П., Хинич И. И.
Аналитические возможности и экспериментальная база
спектроскопии упругого отражения электронов
с угловым разрешением..... 24

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кринкин К. В., Швецов М. Н. Применение трансляции
сетевых адресов для управления соединениями 31

Кузьмин С. А. р-Адический базис математического
обеспечения САПР объектов микро- и наносистемной техники..... 36

Крупенко Д. А. Методы организации информационного
обмена между программными компонентами САПР..... 42

Водяхо А. И., Жукова Н. А., Пантелеев М. Г., Пузанков Д. В. Онтоло-
гический подход к проектированию
проблемно-ориентированных информационных систем 46

Большев А. К., Лисс А. Р. Применение искусственных нейронных
сетей и методов сокращения размерности данных при решении
задач обнаружения сетевых вторжений 51

Кухарев Г. А., Каменская Е. И. Новый метод двумерного
канонического корреляционного анализа для задач
распознавания изображений лиц 56

Водяхо А. И., Жукова Н. А., Пантелеев М. Г. Интеграция технологий
и наследование знаний как средства повышения эффективности про-
цесса разработки информационных систем 61

Лисс А. Р., Жукова Н. А. Программный комплекс обработки оператив-
ной информации от сложных динамических объектов..... 67

Мурсаев А. Х. Представление в языках проектирования
аппаратуры потоковой, конвейерной и микропрограммной
реализации операционных устройств 73

Мурсаев А. Х., Бондаренко П. Н., Сафьянников Н. М. Организация
информационно-вычислительного комплекса системы непрерывного
контроля рельсового транспорта с актуализацией состояний 79

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Нгуен Ван Чьен, Нгуен Тиен Тханг. Диагностическая модель
дизель-генератора гребной электрической установки
переменного тока 85

Во Конг Фьонг. Прямые адаптивные системы управления
линейными электромеханическими объектами
с применением нейронных сетей..... 92

Учредитель:

Государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический
университет "ЛЭТИ"
им. В. И. Ульянова (Ленина)»
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-44-87
Факс: (812) 346-27-58

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.
выдано Управлением Федеральной
службы по надзору за соблюдением за-
конодательства в сфере массовых ком-
муникаций и охране культурного насле-
дия по Северо-Западному федеральному
округу

Редакторы

Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,
И. Г. Скачек
Комп. верстка:
Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 15.02.10 г.

Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 11,0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)

Заказ 7.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

197376, Санкт-Петербург,

ул. Проф. Попова, 5

Тел.: (812) 346-45-23

Факс: (812) 346-28-56

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Баринаева Е. А., Иващенко Е. М., Павлов П. А. Результаты
исследования погрешности гониометрической системы..... 98

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г., Петухова М. Н.
К вопросу о влиянии акустических свойств протектора
на длительность импульсов, излучаемых многослойным
преобразователем в твердую среду 103

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

Казанцева А. Г., Захаров И. С. Исследование влияния
биологических и технических факторов
на тест-реакцию гальванотаксиса..... 109

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Малиева З. К., Цагаряев В. А. Применение технологии
семиотического анализа объектов визуальной культуры
к духовно-нравственному воспитанию учащихся..... 115

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Бушуев В. С., Сазонова Е. Г. Мультисистемная
методология против кризисов 120

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Лавренко Ю. Е. Академик А. Н. Крылов и изобретение радио 131

Сведения об авторах 134

Правила представления рукописей авторами 138

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 45821 ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ
КАТАЛОГУ "ПРЕССА РОССИИ", ТОМ 1
"ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ"**

Подписка производится в любом почтовом отделении России

*Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых на-
учных журналов и изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора
и кандидата наук (решение Президиума Высшей
аттестационной комиссии Минобрнауки России
от 19 февраля 2010 года № 6/6)*



УДК 621.372.8

А. Г. Громов

РАСЧЕТ ВОЛНОВОДОВ СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ

Методом Галеркина находится расчетное уравнение для постоянной распространения в Н-, П- и крестообразных волноводах. Исследуется сходимость решений уравнения. Рассматривается влияние геометрических и частотных факторов на изменение параметра γ .

Волноводы сложной формы, постоянная распространения

В современной технике сверхвысоких частот находят применение волноводы сложного сечения. По сравнению с волноводами простых сечений (прямоугольными и круглыми) они имеют малую дисперсию и, следовательно, относительно широкую рабочую полосу частот на низшей волне, меньшие габариты и массу.

Настоящая статья посвящена расчету постоянной распространения основной электромагнитной моды Н-, П- и крестообразного волновода. Ее можно отнести к квази H_{10} -моду прямоугольного волновода. Геометрическая симметрия поперечного сечения и особенности распределения поля в основной моде позволяют перейти к эквивалентной структуре поперечного сечения, одинаковой для этих типов волновода. Известно, что метод частичных областей применяется к решению подобной задачи, которую можно свести к интегральному уравнению относительно распределения поля на общей границе частичных областей поперечного сечения. В данной статье для решения интегрального уравнения использован метод Галеркина и численная модель представлена системой линейных алгебраических уравнений; исследована сходимость решения и получены зависимости постоянной распространения.

Постановка и решение задачи. На рис. 1, а–в представлены поперечные сечения Н-, П- и крестообразного волновода соответственно, а на рис. 2 изображены две Г-образные структуры, эквивалентные для перечисленных волновода. На магнитных стенках этих структур касательные компоненты магнитного поля равны нулю.

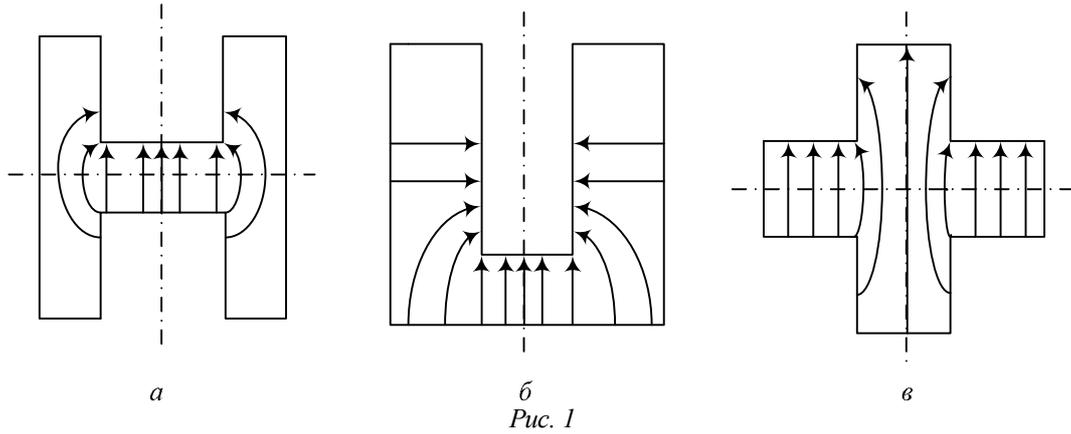


Рис. 1

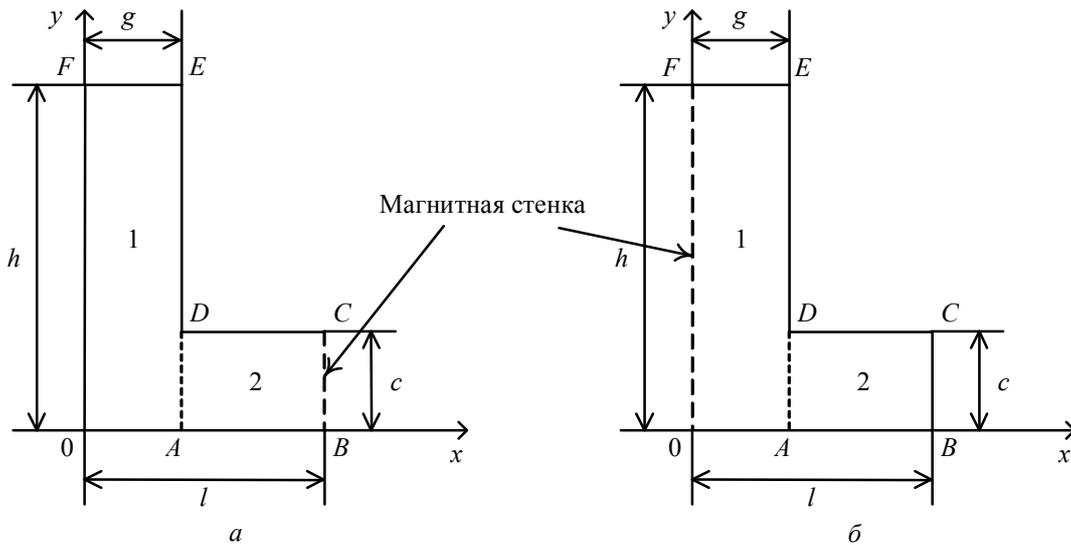


Рис. 2

Как известно, уравнения Максвелла для поля ТЕ-типов целесообразно свести к уравнению Гельмгольца относительно продольной компоненты магнитного поля. Считаем, что в областях поперечного сечения $\dot{H}_z^{(1,2)} = H_{mz}^{(1,2)}(x, y)e^{-j\gamma z}$. Уравнение Гельмгольца в каждой области поперечного сечения может быть приведено к виду

$$\nabla_{\perp}^2 \dot{H}_{mz}^{(1,2)}(x, y) + \chi^2 \dot{H}_{mz}^{(1,2)}(x, y) = 0,$$

где $\nabla_{\perp}^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$, $\chi^2 = k^2 - \gamma^2$, $k^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$, ϵ_0, μ_0 – проницаемости вакуума.

Граничные условия для $\dot{H}_{mz}^{(1,2)}$ имеют вид $\frac{\partial H_{mz}^{(1,2)}}{\partial n} = 0$ на металлических стенках поперечного сечения волноводов (n -нормаль к стенке) и $H_{mz} = 0$ на магнитных стенках. Решение уравнения Гельмгольца в областях эквивалентной Г-образной области с учетом граничных условий можно представить в следующем виде:

– для Г-образной области (рис. 2, а)

$$\begin{aligned} H_{mz}^{(1)} &= \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(\chi_{1,n} x) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right), \\ H_{mz}^{(2)} &= \sum_{n=0}^{\infty} B_n \sin(\chi_{2,n} (x-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right); \end{aligned} \quad (1)$$

– для Г-образной области (рис. 2, б)

$$H_{mz}^{(1)} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(\chi_{1,n}x) \cos\left(\frac{n\pi}{h}y\right),$$

$$H_{mz}^{(2)} = \sum_{n=0}^{\infty} D_n \cos(\chi_{2,n}(x-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c}y\right),$$
(2)

где $\chi_{1,n}^2 = k^2 - \gamma^2 - \left(\frac{n\pi}{h}\right)^2$, $\chi_{2,n}^2 = k^2 - \gamma^2 - \left(\frac{n\pi}{c}\right)^2$.

Из уравнения Максвелла следует, что $E_y = j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \frac{\partial H_{mz}}{\partial x}$, поэтому электрическое поле в областях имеет следующий вид:

– для Г-образной области (рис. 2, а)

$$E_y^{(1)} = -j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n}x) \cos\left(\frac{n\pi}{h}y\right),$$

$$E_y^{(2)} = j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} B_n \chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n}(x-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c}y\right);$$
(3)

– для Г-образной области (рис. 2, б)

$$E_y^{(1)} = j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \tilde{N}_n \chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n}x) \cos\left(\frac{n\pi}{h}y\right),$$

$$E_y^{(2)} = -j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} D_n \chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n}(x-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c}y\right).$$
(4)

Условия сшивания полей на границе областей при $x = g$ (вдоль линии AD) имеют вид:

$$\dot{E}_{my}^{(1)} = \dot{E}_{my}^{(2)} = \begin{cases} f(y), & 0 < y < c, \\ 0 & \text{на металле;} \end{cases}$$
(5)

$$\dot{H}_{mz}^{(1)} = \dot{H}_{mz}^{(2)}, \quad 0 < y < c$$
(6)

В (5) $f(y)$ – неизвестное распределение электрического поля по границе областей. Подставив в (5) соотношения (3), получим для Г-образной области (рис. 2, а):

$$-j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n}g) \cos\left(\frac{n\pi}{h}y\right) = f(y),$$

$$j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} B_n \chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n}(g-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c}y\right) = f(y).$$
(7)

Аналогично, для Г-образной области (рис. 2, б) подстановкой в (5) соотношений (4) найдем:

$$j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \tilde{N}_n \chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n}g) \cos\left(\frac{n\pi}{h}y\right) = f(y),$$

$$-j \frac{\omega\mu_0}{\chi^2} \sum_{n=0}^{\infty} D_n \chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n}(g-l)) \cos\left(\frac{n\pi}{c}y\right) = f(y).$$
(8)

Косинусы в левых частях соотношений (7) и (8) образуют ортогональный базис на интервалах $[0, h]$ и $[0, c]$. Воспользуемся приемом Фурье-анализа и найдем коэффициенты рядов в (7), (8):

$$\begin{aligned}
 A_n &= j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n} g)}, \\
 B_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n} d)}, \\
 C_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n} g)}, \\
 D_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n} d)},
 \end{aligned} \tag{9}$$

где $d = l - g$, $\delta_{n,0} = \begin{cases} 1, & \text{если } n = 0, \\ 1/2, & \text{если } n \neq 0. \end{cases}$

Воспользуемся условием непрерывности магнитных полей (6) и с учетом соотношений (1), (2) найдем:

$$\begin{aligned}
 &\sum_{n=0}^{\infty} j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n} g)} \cos(\chi_{1,n} x) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) + \\
 &\quad \text{при } 0 < y < c; \\
 &+ \sum_{n=0}^{\infty} -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n} d)} \sin(\chi_{2,n} d) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) = 0 \\
 &\quad \text{при } 0 < y < c; \\
 &\sum_{n=0}^{\infty} -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n} g)} \sin(\chi_{1,n} x) \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) - \\
 &\quad \text{при } 0 < y < c; \\
 &- \sum_{n=0}^{\infty} -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c f(y) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n} d)} \cos(\chi_{2,n} d) \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) = 0
 \end{aligned} \tag{10}$$

Как видно, соотношения (10) являются интегральными уравнениями относительно неизвестной функции $f(y)$. Решение уравнения получим методом Галеркина. Представим $f(y)$ на длине границы областей отрезком ряда по ортонормированному базису. Выбор базиса определяется граничным условием на ребре [1], которое образовано прямоугольным из-

ломом EDC (рис. 2). Можно показать [2], что условию на ребре такого вида удовлетворяют ортогональные на отрезке $[-1, 1]$ ультрасферические или полиномы Гегенбауэра $\tilde{N}_v^{1/6}(\xi)$ с весом $(1-\xi^2)^{-1/3}$ [3], где v – порядок полинома. На рис. 3 представлены графики полиномов $\tilde{N}_v^{1/2}(\xi)$ [3].

Нормируем координату «у» в пределах ширины области и введем $\xi = y/c$. С учетом характера распределения поля выберем полиномы четной степени и представим $f(\xi)$ в виде

$$f(\xi) = \sum_{m=0}^M a_m C_{2m}^{1/6} (1-\xi^2)^{-1/3}.$$

Подставив $f(\xi)$ в соотношения (9), получим:

$$A_n = j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c C_{2m}^{1/6}(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n} g)},$$

$$B_n = -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c C_{2m}^{1/6}(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n} d)},$$

$$C_n = -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c C_{2m}^{1/6}(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy}{h \chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n} g)}, \quad (11)$$

$$D_n = -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{\int_0^c C_{2m}^{1/6}(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy}{c \chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n} d)}.$$

Интегралы в соотношениях (11) вычисляются точно [4]:

$$\int_0^c C_{2m}^v(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{h} y\right) dy = c \frac{(-1)^m \pi \Gamma(2m+2v)}{(2m)! \Gamma(v) (2\alpha_n)^v} J_{v+2m}(\alpha_n),$$

$$\int_0^c C_{2m}^v(\xi) (1-\xi^2)^{-1/3} \cos\left(\frac{n\pi}{c} y\right) dy = c \frac{(-1)^m \pi \Gamma(2m+2v)}{(2m)! \Gamma(v) (2\beta_n)^v} J_{v+2m}(\beta_n),$$

где $J_{v+2m}(\alpha_n)$ и $J_{v+2m}(\beta_n)$ – функции Бесселя первого рода; $\Gamma(z)$ – гамма-функция; $\alpha_n = \frac{n\pi c}{h}$ и $\beta_n = n\pi$.

В данном случае $v = 1/6$. Введем обозначения:

$$I_m(\alpha_n) = \frac{(-1)^m \Gamma(2m+1/3)}{(2m)! \Gamma(1/6) (2\alpha_n)^{1/6}} J_{\frac{1}{6}+2m}(\alpha_n), \quad I_m(\beta_n) = \frac{(-1)^m \Gamma(2m+1/3)}{(2m)! \Gamma(1/6) (2\beta_n)^{1/6}} J_{\frac{1}{6}+2m}(\beta_n).$$

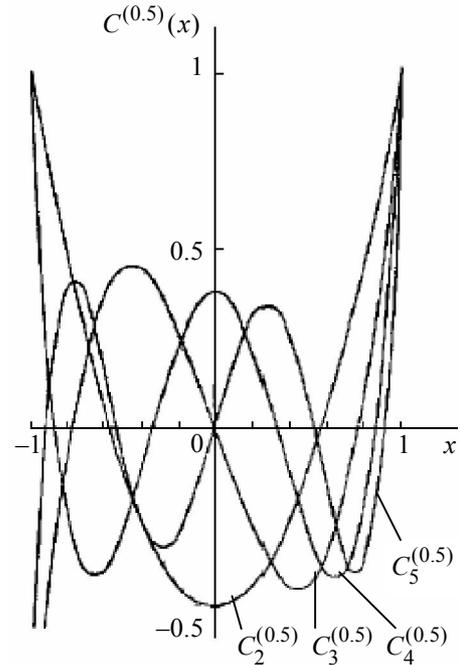


Рис. 3

С учетом этих обозначений перепишем соотношения (11) в виде:

$$\begin{aligned}
A_n &= j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{c}{h} \sum_{m=0}^M \frac{a_m I_m(\alpha_n)}{\chi_{1,n} \sin(\chi_{1,n} g)}, \\
B_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \sum_{m=0}^M \frac{a_m I_m(\beta_n)}{\chi_{2,n} \cos(\chi_{2,n} d)}, \\
C_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \frac{c}{h} \sum_{m=0}^M \frac{a_m I_m(\alpha_n)}{\chi_{1,n} \cos(\chi_{1,n} g)}, \\
D_n &= -j \frac{\chi^2}{\omega \mu_0} \delta_{n,0} \sum_{m=0}^M \frac{a_m I_m(\beta_n)}{\chi_{2,n} \sin(\chi_{2,n} d)}.
\end{aligned} \tag{12}$$

Подставим в соотношения (10) коэффициенты A_n , B_n , C_n и D_n из (12) и после преобразования получим

$$\begin{aligned}
&\frac{\tilde{n}}{h} \sum_{m=0}^M a_m \sum_{n=0}^{\infty} \delta_{n,0} \frac{\text{ctg}(\chi_{1,n} g)}{\chi_{1,n}} I_m(\alpha_n) \cos\left(\frac{n\pi y}{h}\right) - \\
&- \sum_{m=0}^M a_m \sum_{n=0}^{\infty} \delta_{n,0} \frac{h \text{tg}(\chi_{2,n} d)}{c \chi_{2,n}} I_m(\beta_n) \cos\left(\frac{n\pi y}{c}\right) = 0.
\end{aligned} \tag{13}$$

Следуя методу Галеркина умножим обе части уравнения (13) на $C_{2p}^{1/6}(\xi)(1-\xi^2)^{-1/3}$ и проинтегрируем на отрезке $[0, c]$. Получим для Н- и П-образного волноводов:

$$\sum_{m=0}^M a_m \sum_{n=0}^{\infty} \left(\delta_{n,0} \left(\frac{\text{ctg}(\chi_{1,n} g)}{\chi_{1,n}} I_m(\alpha_n) I_p(\alpha_n) - \frac{h \text{tg}(\chi_{2,n} d)}{c \chi_{2,n}} I_m(\beta_n) I_p(\beta_n) \right) \right) = 0. \tag{14}$$

Для крестообразного волновода данное равенство выглядит следующим образом:

$$\sum_{m=0}^M a_m \sum_{n=0}^{\infty} \left(\delta_{n,0} \left(\frac{\text{tg}(\chi_{1,n} g)}{\chi_{1,n}} I_m(\alpha_n) I_p(\alpha_n) - \frac{h \text{ctg}(\chi_{2,n} d)}{c \chi_{2,n}} I_m(\beta_n) I_p(\beta_n) \right) \right) = 0. \tag{15}$$

Уравнения (14) и (15) образуют систему линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов a_m . Представим ее в матричной форме

$$\sum_{m=0}^M a_m D_{mp} = 0,$$

где $p = 0, 1, \dots, M$, $D_{mp}^{(\gamma)} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\delta_{n,0} \left(\frac{\text{ctg}(\chi_{1,n} g)}{\chi_{1,n}} I_m(\alpha_n) I_p(\alpha_n) - \frac{h \text{tg}(\chi_{2,n} d)}{c \chi_{2,n}} I_m(\beta_n) I_p(\beta_n) \right) \right)$ для

Н-, П-образных волноводов и

$$D_{mp}^{(\gamma)} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\delta_{n,0} \left(\frac{\text{tg}(\chi_{1,n} g)}{\chi_{1,n}} I_m(\alpha_n) I_p(\alpha_n) - \frac{h \text{ctg}(\chi_{2,n} d)}{c \chi_{2,n}} I_m(\beta_n) I_p(\beta_n) \right) \right)$$

для крестообразного волновода.

$D_{mp}^{(\gamma)}$ представляет собой матрицу размером $(N+1)^2$. Однородная система уравнений (14) и (15) имеет решение, отличное от нуля, если ее определитель равен нулю. Поэтому постоянная распространения определяется из уравнения $\det(D_{mp}^{(\gamma)}) = 0$.

Численные результаты. Численный расчет γ производился в среде MathCad. Для расчета были заданы размеры Г-образной области (рис. 4).

Расчет производился на частоте 10 ГГц. Графики зависимости γ от определенного параметра построены при фиксированных остальных значениях. Для всех выбранных волноводов (крестообразного, П-образного, Н-образного) были проанализированы изменения параметра γ в зависимости от геометрических размеров волноводов, сделан расчет для различных частот, а также исследована сходимость решения уравнения при изменении порядка систем линейных алгебраических уравнений.

Сходимость решения представлена в таблице.

Порядок матрицы	γ (Н-обр. волновод)	γ (крестообр. волновод)	γ (П-обр. волновод)
2	1,4781165	0,2433249	0,3854381
3	0,2404959	0,240119	0,2490172
4	0,2394897	0,2372961	0,2477808
5	0,2382729	0,2359711	0,2465433
6	0,2376443	0,2347603	0,245551
7	0,2372156	0,2340497	0,2449663
8	0,2366742	0,2334408	0,2443
9	0,2363248	0,2327828	0,2437036
10	0,2360428	0,2323181	0,2433153

Данные показывают, что с увеличением порядка матрицы γ стремится к некоторому постоянному значению.

На рис. 5 представлено семейство графиков для Н-образного волновода при различных частотах. Из графиков следует вывод о сходимости численного решения на различных частотах.

Графики распределения γ в зависимости от геометрических размеров тоже подчиняются логическому объяснению: с ростом l постоянная распространения увеличивается и стремится к некоей асимптоте, так как волновод становится широким, приближаясь к виду параллельных металлических пластин, что отображают графики на рис. 6, а–в для Н-образного, крестообразного и П-образного волноводов соответственно.

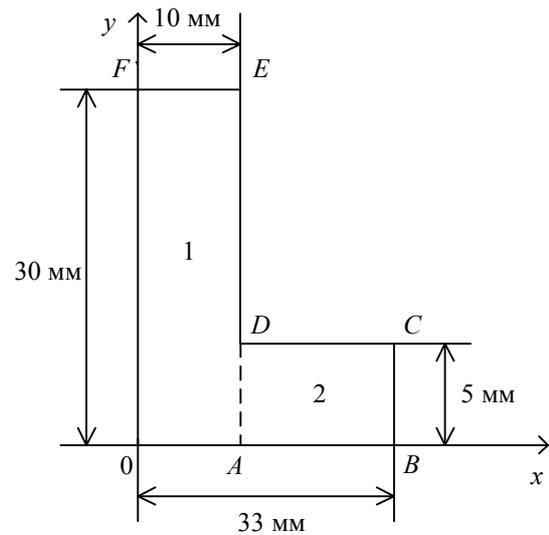


Рис. 4

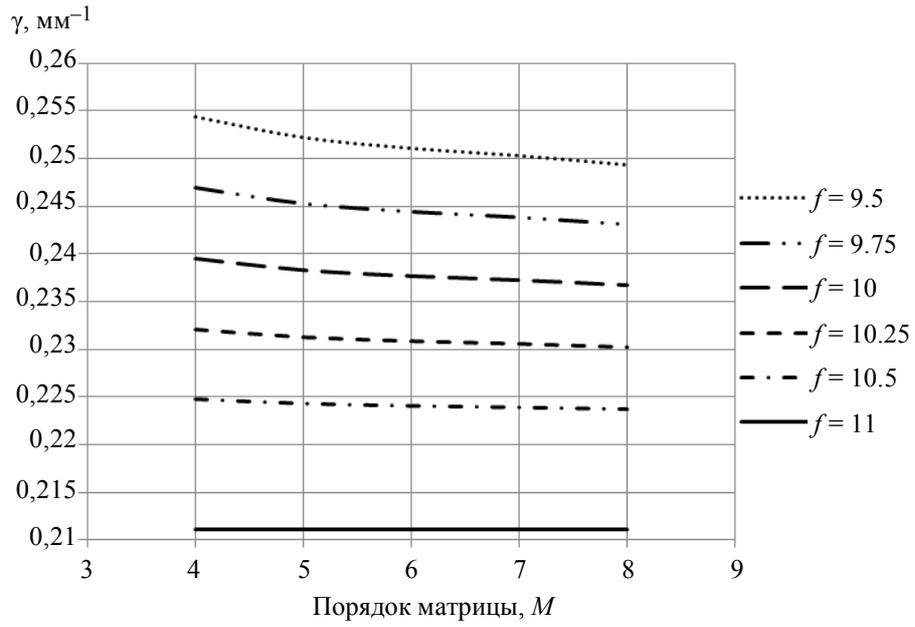


Рис. 5

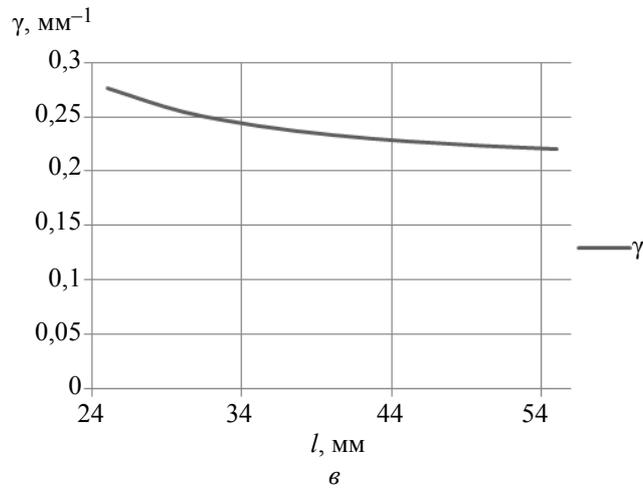
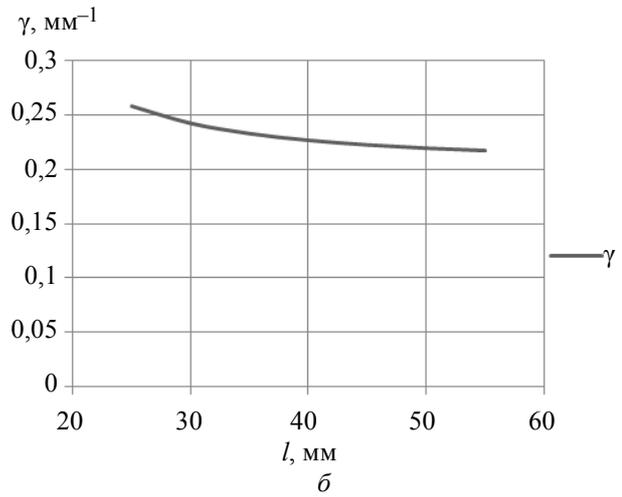
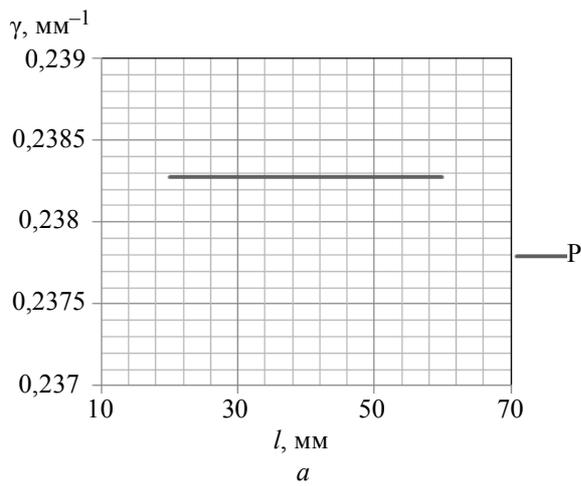


Рис. 6

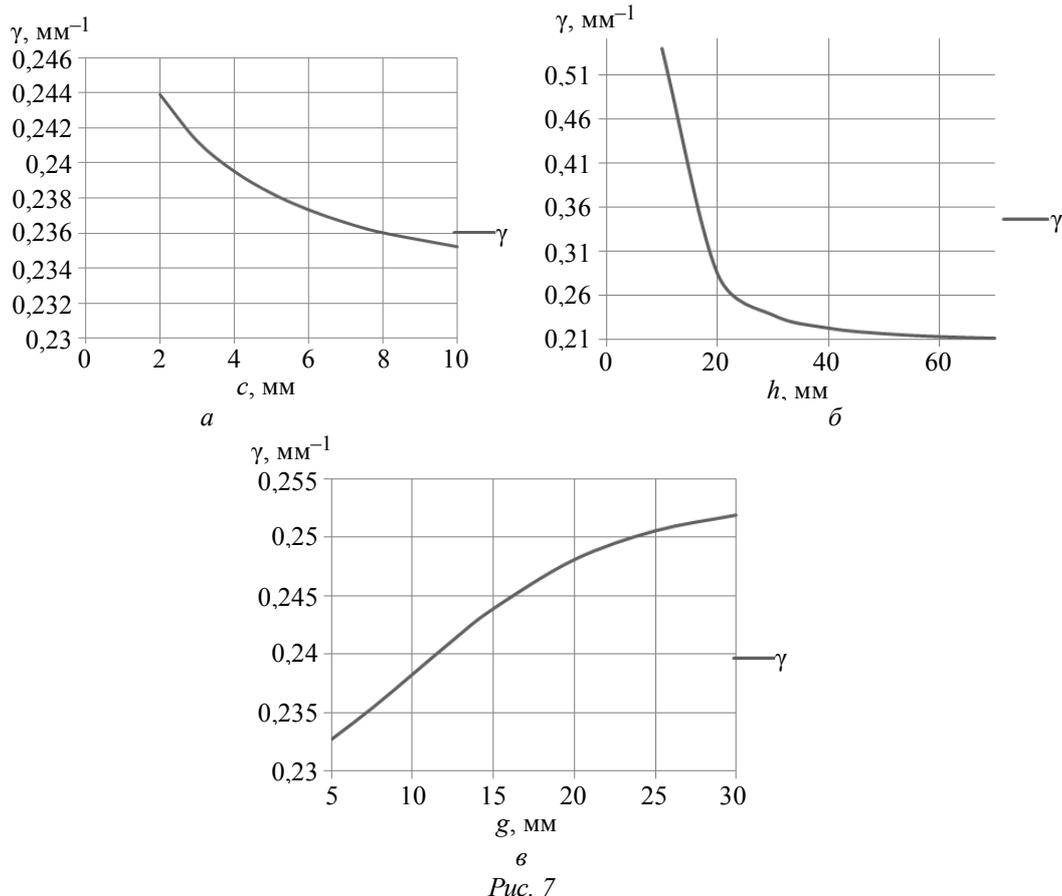


Рис. 7

На рис. 7, а–в представлены графики зависимости постоянной распространения от геометрических размеров волновода (c , h и g соответственно). При построении графика зависимости γ от g значение $l = 55$ мм.

Таким образом, получены расчетные соотношения для нахождения постоянной распространения волновода посредством метода Галеркина. Проанализированы изменения параметра γ в зависимости от геометрических и частотных характеристик, а также построены графики распределения γ в зависимости от различных параметров волновода. Полученные результаты показывают, что постоянная распространения меняется, а следовательно, этот факт можно использовать при разработке радиоаппаратуры специального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meixner J. The behavior of electromagnetic fields at edges // IEEE Trans. 1972. AP-20, July. P. 442–446.
2. Митра Р., Пи С. Аналитические методы теории волноводов. М.: Мир, 1974.
3. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган; Пер. с англ. М.: Наука, 1979.
4. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов сумм рядов и произведений. 4-е. изд. М.: Физматгиз, 1962.

A. G. Gromov

CALCULATION OF WAVE GUIDES OF DIFFICULT SECTIONS

Calculation of wave guides of the difficult form. There is a settlement equation a method of Galyorkina for a distribution constant in H – Π – and crosswise wave guides. Convergence of solutions of the equation is researched. Influence of geometrical and frequency factors on parameter change γ is considered.

Wave guides of the difficult form, distribution constant

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОДНОРАНГОВОЙ РАДИОЛИНИИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПАКЕТИРОВАНИЯ

Представлены результаты исследования влияния длины пакета на производительность одноранговой радиолинии. Использована математическая модель, позволяющая промоделировать поведение радиолинии в условиях наличия почти периодических блокирующих помех. Получено приближенное аналитическое выражение для определения оптимальной длины пакета.

Беспроводные технологии, математическое моделирование, распределение Пуассона

В настоящее время беспроводные технологии получили повсеместное распространение, они применяются не только для решения задачи покрытия «последней мили», но и для построения локальных и персональных сетей, систем беспроводной идентификации, пространственного позиционирования и т. д. При использовании беспроводных технологий для передачи данных в рамках однорангового соединения или в составе беспроводной сети на первый план выходит эффективность использования физической среды передачи данных.

С точки зрения протоколов высоких уровней, беспроводная передача данных ничем не отличается от проводной. Однако характерные особенности открытой среды передачи данных накладывают повышенные требования на протоколы канального и физического уровней. Возникновение коллизий, замирание сигнала на приемной стороне, наличие импульсных блокирующих помех приводят к резкому падению производительности беспроводного соединения. Для обеспечения целостности передаваемых данных применяются пакетирование, квитирование и избыточное кодирование. Однако перечисленные методы обеспечения качества работы беспроводной сети приводят к снижению скорости передачи полезных данных, а их эффективность зависит от сложившихся характеристик радиоканала и помеховой обстановки.

Оптимизация параметров протоколов нижних уровней под характерные особенности радиотрассы и помеховой обстановки может повысить эффективность работы радиолинии. На данный момент основным и самым эффективным методом оптимизации характеристик радиолинии является изменение модуляционной скорости в зависимости от параметров радиоканала. При этом многие параметры протоколов нижних уровней либо остаются статичными, либо жестко привязаны к модуляционной скорости.

В данной статье описаны результаты исследования влияния длины пакета данных на эффективную скорость передачи информации в одноранговой сети с пакетной коммутацией и квитирование при наличии блокирующих помех. Приводятся как результаты математического моделирования, так и экспериментальные данные для радиолинии на основе приемопередатчиков NanoNet [1].

Связь среднего значения битовой ошибки со средней пропускной способностью линейна, рост вероятности появления битовой ошибки приводит к падению средней пропускной способности канала. Увеличение длины пакета, с одной стороны, приводит к росту вероятности потери пакета данных, а с другой – к уменьшению доли накладных расходов. Таким

образом, для заданной вероятности битовой ошибки можно подобрать оптимальный размер пакета данных.

Однако подобная модель применима лишь в идеализированных условиях на фоне белого шума. На реальных радиотрассах, особенно в городских условиях, помехи имеют нестационарный характер, что осложняет их аналитическое описание. С другой стороны, нестационарные помехи, обусловленные производственной или иной деятельностью человека, должны подчиняться определенным логическим закономерностям. Сильно сужает задачу описания помеховой обстановки выбор конкретного частотного диапазона. Так в распространенном диапазоне 2.4 ГГц основными источниками помех являются сторонние приемопередатчики, работающие в этом же частотном диапазоне.

Для построения математической модели функционирования одноранговой радиолинии с пакетной коммутацией и квити́рованием на канальном уровне использовались следующие приближения:

- блокирующий характер помех;
- все квитанции приходят без ошибок;
- время принятия решения о перезапросе/повторной посылке пакета пренебрежимо мало.

Предложенная модель основана на предположении о почти периодическом характере помех. При невысокой интенсивности помех такой процесс можно описать с помощью временного ряда Пуассона [2]. В качестве примера почти периодического характера помех можно привести помехи типа маячковых пакетов от нескольких точек доступа Wi-Fi, а также помехи, связанные с периодической активностью беспроводной компьютерной периферии.

Результаты математического моделирования зависимости средней пропускной способности радиолинии C от длины пакета D_p и интенсивности помехи представлены на рис. 1. С ростом интенсивности помехи падает средняя скорость передачи. Чем длиннее пакет, тем сильнее деградирует скорость передачи. Анализируя представленные зависимости, можно выделить оптимальное значение длины пакета как функцию интенсивности помехи. С ростом интенсивности помехи оптимальное значение длины пакета уменьшается.

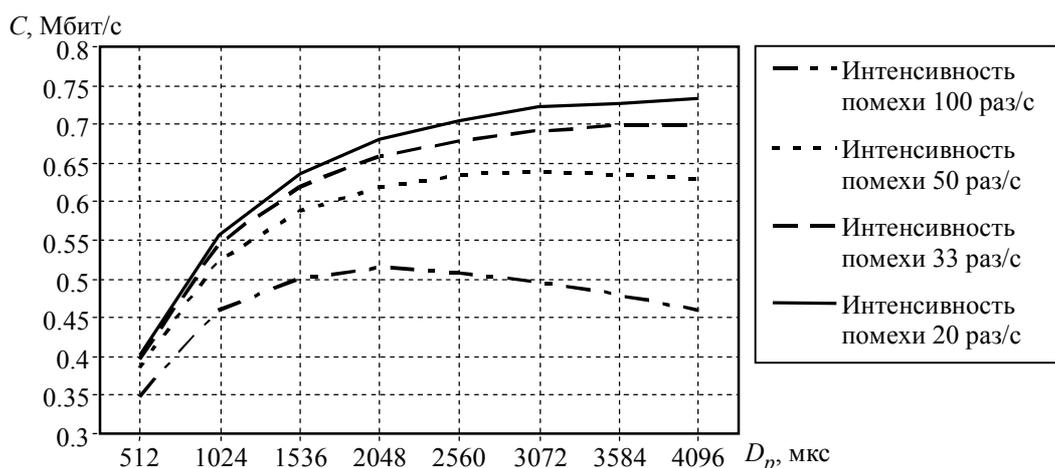


Рис. 1

Результаты математического моделирования зависимости средней пропускной способности радиолинии от длины пакета и длины помехи представлены на рис. 2. Отметим, что длина помехи слабо влияет на положение экстремума полученной характеристики. Средняя пропускная способность ожидаемо падает с ростом длины помехи.

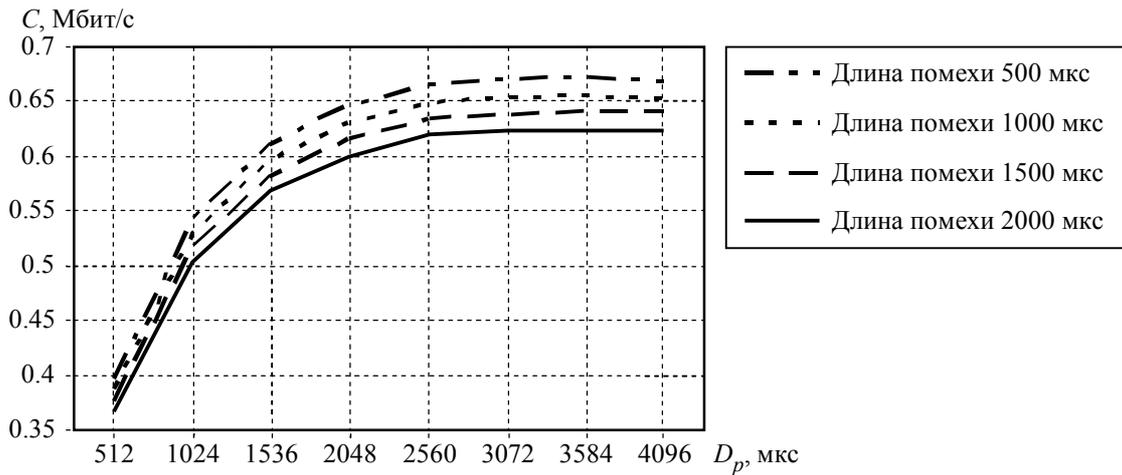


Рис. 2

Предположим, что блокирующая помеха имеет периодический характер с периодом, обратно пропорциональным параметру интенсивности, введенному ранее. Очевидно, что при малой интенсивности помехи такое приближение оправданно. Тогда можно получить аналитическое выражение для эффективной скорости передачи данных

$$C = \left[1 - \frac{D_i + D_p}{T_i} \right] \frac{D_p - d}{D + D_p}, \quad (1)$$

где D – временной интервал между последовательно передаваемыми пакетами, с; D_p – длина пакета, с; d – время, затраченное на передачу служебных полей пакета, с; D_i – средняя длина блокирующей помехи, с; T_i – величина, обратная средней интенсивности помехи, с.

Сравним результаты, полученные с помощью формулы (1) и математического моделирования. Зададимся двумя интенсивностями помехи 50 раз/с и 100 раз/с (рис. 3). Из представленных иллюстраций хорошо видно, что с ростом интенсивности блокирующей помехи и увеличением длины пакета предложенные математические модели и формула (1) начинают расходиться. Этот эффект связан с тем, что в приближенной модели не учитывается возможность «сгущения» помех, которое приводит к уменьшению эффективной интенсивности. Однако оценки положения оптимальной длины пакета при этом близки. С уменьшением интенсивности помехи математическое моделирование и приближенная формула сходятся.

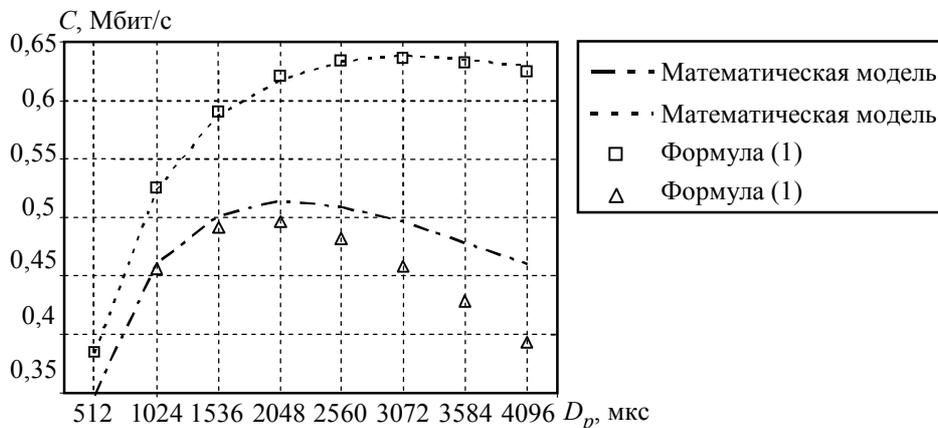


Рис. 3

Приближенная формула (1) позволяет получить оптимальную длину пакета как функцию средней интенсивности и длительности блокирующих помех:

$$D_{opt} = \sqrt{T_i(d + D) - (D_i - D)(d + D)} - d.$$

Был проведен ряд натурных экспериментов, в которых использовались приемопередатчики диапазона 2.4 ГГц. Длина передаваемых пакетов варьировалась от 64 до 512 байт, модуляционная скорость 1 Мбит/с, передатчики эксплуатировались в двустороннем режиме с подтверждениями и перезапросами. Один из приемопередатчиков располагался стационарно в типовом нежилом здании, а второй перемещался по тестовым точкам как в пределах одного этажа с первым приемопередатчиком, так и по смежным этажам.

На рис. 4 представлены результаты проведенных экспериментальных исследований. Точка 5 соответствует расположению второго приемопередатчика на смежном этаже с первым и соответствует наихудшим средним показателям. Точка 1 соответствует расположению обоих приемопередатчиков в одном помещении. Точка 3 и 4 соответствуют расположению приемопередатчиков в соседних помещениях, а точка 2 – расположению приемопередатчиков на одном этаже через помещение. Для точек 2–5 справедливо наличие блокирующих помех от точек доступа Wi-Fi в количестве не менее 4 штук.

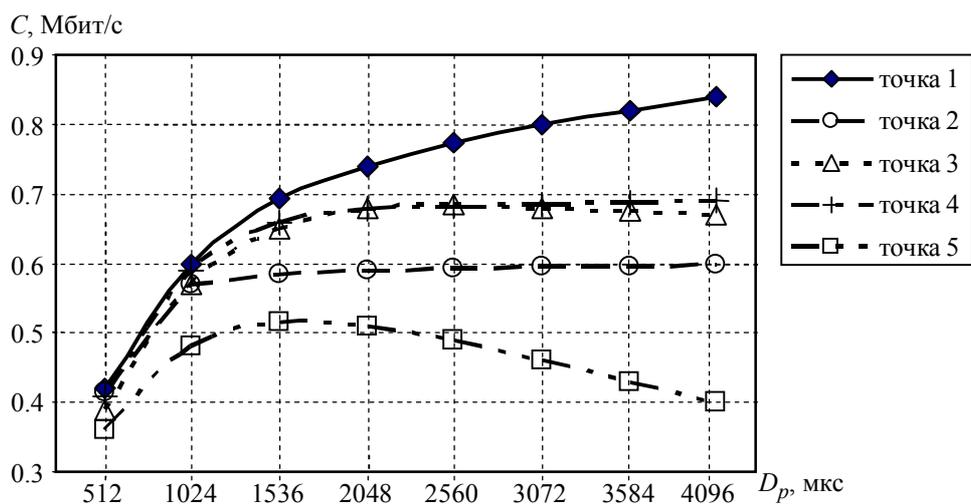


Рис. 4

На графике, построенном для точки 5, можно выделить экстремум в районе размера пакета 200 байт, что подтверждает результаты проведенного ранее математического моделирования. На графиках, соответствующих положению приемопередатчика в точках 2, 3 и 4, наблюдается приблизительно одинаковый уровень средней скорости передачи данных при длинах пакетов 256 и 512 байт. Можно предположить, что при дальнейшем увеличении длины пакета производительность радиолинии будет падать.

Из приведенных экспериментальных результатов видно, что в случае трассы 5 выбор длины пакета, оптимальной для трасс 1–4, даст проигрыш до 20 % от максимально достижимой средней пропускной способности радиолинии. В соответствии с результатами математического моделирования средняя пропускная способность радиолинии, полученная для пакетов минимальной длины, слабо зависит от типа радиотрассы и помеховой обстановки.

На рис. 5 и 6 экспериментальные результаты сопоставлены с полученными математическим моделированием и по приближенной формуле. Рис. 5 соответствует расположению приемопередатчиков в смежных помещениях при наличии блокирующих помех от точек доступа Wi-Fi. При этом сетевая активность отсутствовала. Точки доступа в таком режиме периодически, как правило с периодом 100 мс, излучают маячковые пакеты длительностью приблизительно 1 мс. Параметры математической модели, используемые для получения сходной с экспериментом характеристики, следующие: период помехи 20 мс, длительность 1 мс. Такие параметры могут быть поставлены в соответствие с несколькими точками доступа Wi-Fi.

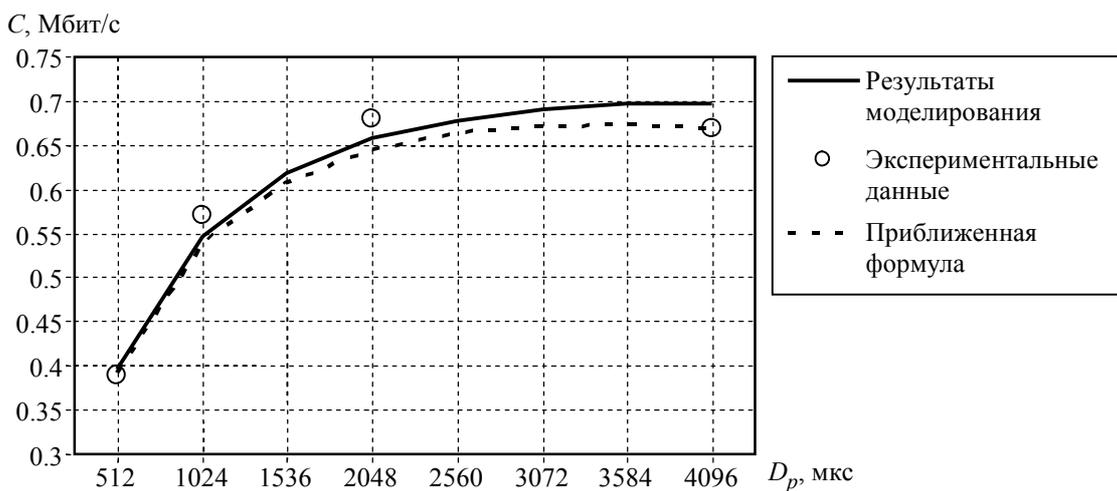


Рис. 5

Результаты на рис. 6 соответствуют расположению второго приемопередатчика в точке 5. При этом параметры математической модели и приближенной формулы следующие: период помехи 10 мс, длительность 1 мс.

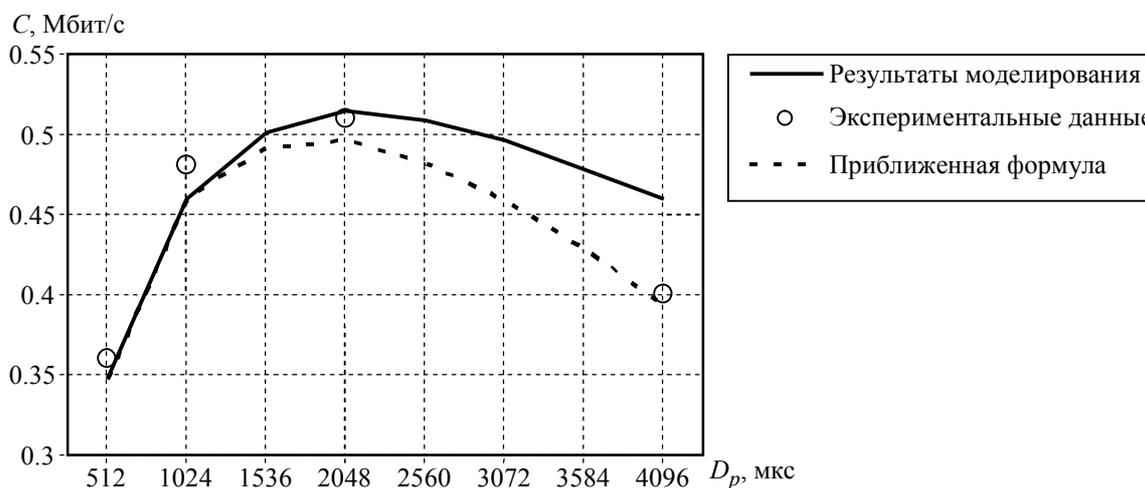


Рис. 6

Видно, что при соответствующем подборе параметров экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами математического моделирования и приближенной формулой. Стоит отметить, что экспериментальные данные, относящиеся к длине пакета 512 байт, несколько занижены ввиду снижения максимальной пропускной способности радиолинии. Это связано с особенностями аппаратной и программной реализации работы приемопередатчиков с большими пакетами.

В данной статье представлены результаты исследования влияния одного из параметров протокола нижнего уровня на производительность одноранговой радиолинии. На основе приближенного описания блокирующих помех периодическим процессом было выведено аналитическое выражение для эффективной скорости передачи данных. Получено выражение для определения оптимальной длины пакета, точность которого достаточна для приближенных оценок. Результаты математического моделирования, приближенной оценки и проведенные натурные эксперименты хорошо совпадают друг с другом, а зависимость пропускной способности радиолинии от длины пакета данных имеет экстремум. Выигрыш от оптимизации длины пакета может достигать десятков процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавренко А. Е., Лавренко Б. Е., Малышев В. Н. Эффективность блочного помехоустойчивого кодирования в беспроводной системе передачи данных // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. Вып. 6. С. 10–18.
2. Goldsmith A. WIRELESS COMMUNICATIONS. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

B. E. Lavrenko, V. N. Malyshev

Effective data rate of peer-to-peer radio link with packet switching vs. packet length

Investigation of packet length influence on data rate is present. A few simulation methods were use to analyze nonstationary interference influence. Approximate equation for computation optimal packet length is present.

Wireless technology, simulation, Poisson process

УДК 621.376.4

А. Е. Лавренко, В. Н. Малышев

ПАССИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ BLUETOOTH-УСТРОЙСТВ

Рассмотрены возможности обнаружения и идентификации устройств стандарта 802.15.1 посредством приема сигнала с помощью универсальных цифровых приемников с последующей цифровой обработкой полученных данных. Предложено возможное решение задачи выявления MAC-адреса Bluetooth-устройств, работающих в скрытом режиме обмена информацией.

Беспроводные системы передачи данных, цифровая обработка сигналов, демодуляция, частотная манипуляция с гауссовской фильтрацией, MAC-адрес

В связи с широким распространением беспроводных средств передачи информации остро встает вопрос обеспечения информационной безопасности, одним из аспектов которого является возможность контроля активности, особенно несанкционированной, беспроводных устройств. Методики и алгоритмы обнаружения и идентификации устройств с беспроводными интерфейсами могут быть основаны как на анализе трафика на различных уровнях, так и на анализе радиосигналов на физическом уровне.

Если задача мониторинга активности, а также анализа трафика устройств Wi-Fi (группа стандартов 802.11) не представляет технических сложностей и может быть решена применением типовых радиоинтерфейсов Wi-Fi и готовых программных продуктов, то с устройствами Bluetooth ситуация несколько сложнее. По спецификации каждое устройство Bluetooth идентифицируется 48-битным адресом, часто называемым BD_ADDR, или MAC-адрес. В режиме, допускающем обнаружение, устройство Bluetooth отвечает на широкополосные

запросы (inquiry) со стороны внешних устройств, сообщая свой адрес. Если MAC-адрес известен, то можно штатными средствами запросить расширенную информацию об устройстве, установить соединение на нижних (baseband) уровнях стека протоколов и организовать перехват трафика. Кроме того, располагая MAC-адресом, можно восстановить последовательность скачков по частоте. Однако Bluetooth-терминалы могут работать и в так называемом скрытом (non-discoverable) режиме, когда они не реагируют на широковещательные запросы. Обнаружить и тем более контролировать их активность, если априорно не известны MAC-адреса, с помощью штатных средств анализа становится практически невозможно. Обнаружение и идентификацию таких устройств можно реализовать посредством приема радиосигнала с помощью универсальных цифровых приемников с последующей программной обработкой полученных данных.

Для приема и оцифровки радиосигналов Bluetooth можно использовать универсальный аппаратно-программный комплекс Universal Software Radio Peripheral (USRP), состоящий из материнской (motherboard) и набора сменных приемопередающих плат*.

На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема аппаратно-программного комплекса USRP. Материнская плата USRP содержит четыре 12-битных аналого-цифровых преобразователя (АЦП), дискретизирующих аналоговый сигнал со скоростью $64 \cdot 10^6$ отсчетов в секунду. Помимо АЦП на материнской плате присутствуют четыре 14-битных цифроаналоговых преобразователя (ЦАП) с частотой дискретизации $128 \cdot 10^6$ отсчетов в секунду. Оцифрованный сигнал передается на ПЛИС, которая в свою очередь через USB-интерфейс обменивается данными с хост-компьютером (ПК). На ПЛИС осуществляется дополнительное гетеродинирование сигнала и децимация.

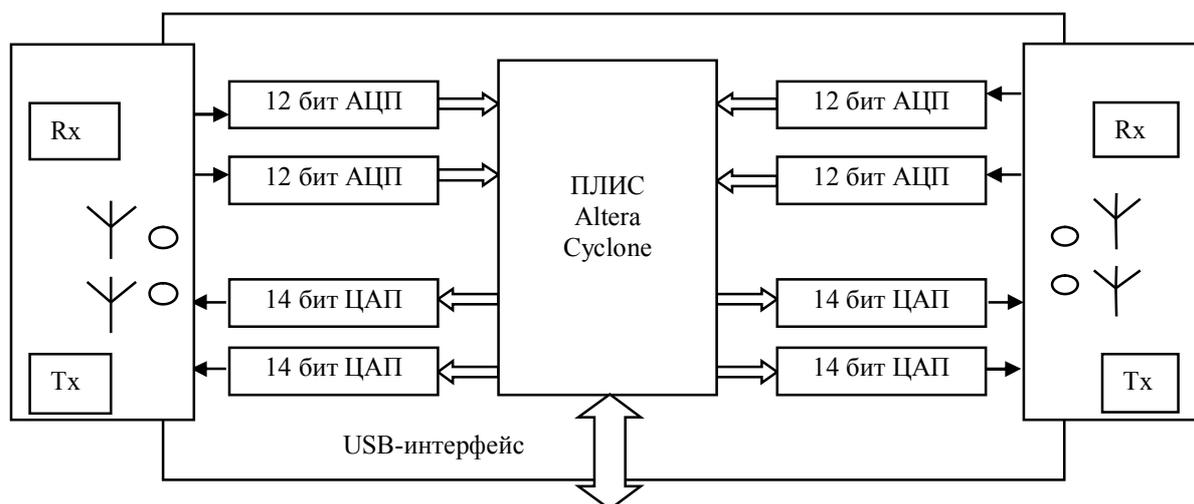


Рис. 1

USRP формирует отсчеты комплексной огибающей. Каждый передаваемый по интерфейсу USB отсчет сигнала представляет собой два 16-битных слова, что при максимальной скорости передачи в 32 Мбайт/с обеспечивает эффективную полосу принимаемого сигнала 8 МГц.

* <http://www.ettus.com>

На материнской плате установлены разъемы для подключения двух сменных приемопередающих плат, которые выполняют прием и/или передачу радиосигналов в полосе частот до 30 МГц, в том числе перенос сигнала из высокочастотной области на промежуточную частоту в диапазоне до 32 МГц и обратно, а также имеют высокочастотные антенные разъемы.

Для взаимодействия с USRP на ПК под управлением ОС Linux используется программный комплекс GNU Radio, представляющий собой свободно распространяемый комплект инструментальных средств разработки программного обеспечения для цифровой обработки сигналов в режиме реального времени. GNU Radio-приложения представляют собой написанные на языке программирования Python исполняемые коды. В библиотеках GNU Radio доступны различные готовые блоки обработки сигналов, в том числе блоки модуляции/демодуляции цифровых схем модуляции, фильтрации сигналов, быстрого преобразования Фурье и т. д. *

Для создания простейших приложений можно использовать специальный графический интерфейс GNU Radio Companion (GRC). В GRC присутствует набор блоков, позволяющий реализовывать различные преобразования получаемого через USB с USRP сигнала. Однако GRC не является универсальным средством обработки, а представляет собой скорее демонстрационный и отладочный продукт, поскольку набор возможных функций и режимов работы с USRP у него в значительной степени ограничен.

Прием и обработка радиосигналов Bluetooth требуют некоторого анализа реализации физического уровня. В соответствии со стандартом Bluetooth устройства функционируют в диапазоне частот 2400...2483.5 МГц **. Этот диапазон разбит на 79 рабочих частотных каналов шириной 1 МГц и 2 защитных частотных канала шириной 2 МГц в начале диапазона и 3.5 МГц в конце диапазона, передача в которых не производится. Таким образом, используя USRP и одну дочернюю плату, в полосе 8 МГц можно осуществить прием до 7 частотных каналов Bluetooth.

Для передачи заголовка физического уровня всегда используется частотная манипуляция с гауссовской фильтрацией (Gaussian Frequency Shift Keying – GFSK), с индексом модуляции 2.8–3.2, нормированной полосой гауссовского фильтра $BT = 0.5$ и символьной скоростью передачи информации 1 Мбит/с. Для передачи заголовков других уровней и полезных данных может использоваться базовая модуляция GFSK либо (на более высоких скоростях в случае применения EDR (Enhanced Data Rate)) фазовая манипуляция (Phase Shift Keying – PSK).

Поскольку в качестве технологии расширения спектра используется скачкообразная перестройка рабочей частоты со скоростью 1600 раз в секунду, а порядок смены частот во время передачи пакетов определяется в общем случае псевдослучайной последовательностью с равномерным распределением, доля захватываемых пакетов в полосе 8 МГц составляет 7...9 % от общего числа.

Уникальным идентификатором любого устройства Bluetooth является его MAC-адрес. Подмена MAC-адреса возможна, но выявление такой подмены представляет особую задачу. Во время сеанса связи информация о MAC-адресах принимающих в нем участие устройств передается в том или ином виде. Прием и обработка только части передаваемых устройством

* <http://www.gnuradio.org>

** <http://www.bluetooth.com>

пакетов не позволит вычислить MAC-адрес полностью [1], однако каждый пакет содержит как минимум одну из частей MAC-адреса, который делится на 3 части: Lower Address Part (LAP), Upper Address Part (UAP) и Non-significant Address Part (NAP). LAP-часть MAC-адреса представляет собой идентификатор устройства, тогда как оставшиеся UAP и NAP характеризуют производителя. На рис. 2 представлен общий формат пакета Bluetooth.

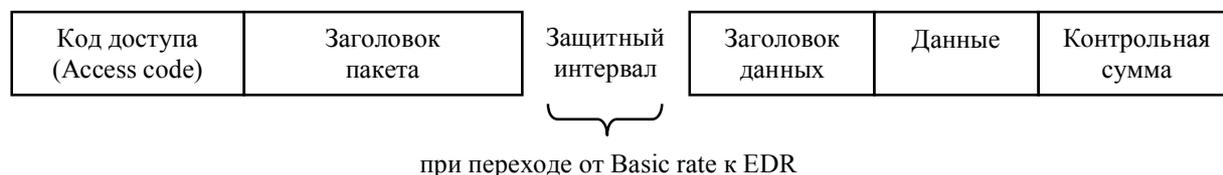


Рис. 2

Любой пакет обязательно должен начинаться с поля Access code (код доступа) длительностью 68/72 бита, состоящего из преамбулы (4 бита), синхрослова (64 бита) и окончания (4 бита), которое может отсутствовать у некоторых типов пакетов. Во время обмена данными синхрослово формируется из LAP-части MAC-адреса устройства следующим образом. К 24 битам LAP добавляется 6 дополнительных бит 001101 или 110010 в зависимости от значения последнего бита таким образом, чтобы сформировать семипозиционный код Баркера. Затем полученная последовательность из 30 бит суммируется по модулю 2 с соответствующей частью псевдослучайной последовательности, которая неизменна и задается стандартом, после чего кодируется расширенным кодом БЧХ (64, 30). И наконец, кодовое слово снова суммируется по модулю 2 с той же самой псевдослучайной последовательностью, дополненной до 64 бит. В результате сформированное синхрослово содержит в явном виде LAP-часть MAC-адреса устройства. Прием и демодуляция сигнала Bluetooth-устройства позволит выявить LAP устройства, его пославшего, как в явном виде, без проведения декодирования, так и с использованием исправляющих возможностей помехоустойчивого кодирования кодом БЧХ.

Процедура обработки принимаемого USRP и передаваемого на хост-компьютер сигнала содержит следующие этапы:

- Обнаружение сигнала. Осуществляется пороговым методом на скользящем окне (как во временной, так и в частотной области).
- Оценка несущей частоты (номера частотного канала) и отношения сигнал/шум (SNR).
- Тактовая синхронизация и символьная синхронизация. Поскольку АЦП на приемной стороне принципиально никак не синхронизирован с ЦАП на передающей стороне, возникает временная ошибка между моментами взятия отсчетов на передающей и приемной сторонах, что негативным образом сказывается на помехоустойчивости. Для оценки ошибки использовалась схема, представленная на рис. 3 [2].
- Демодуляция. Использовался дифференциальный фазовый детектор, т. е. решение о значении переданного символа выносилось на базе сравнения с порогом суммы отсчетов производной фазы комплексной огибающей за длительность одного символа.

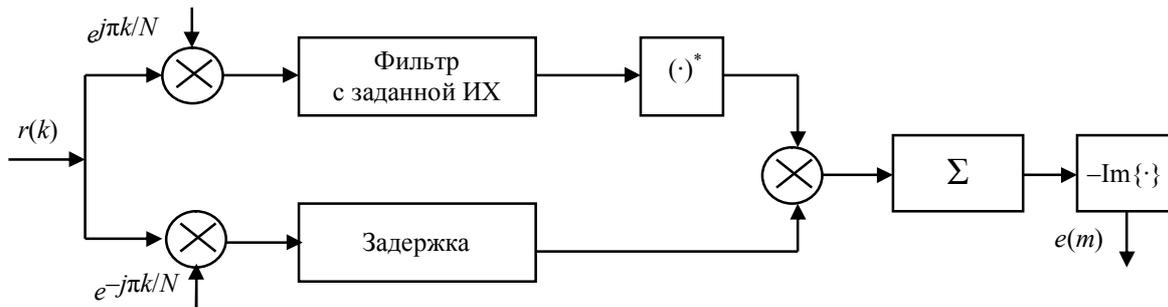


Рис. 3

- Декодирование синхрослова. Как уже отмечалось, для выявления LAR-части MAC-адреса необязательно декодировать синхрослово. Однако при относительно невысоком отношении сигнал/шум имеет смысл использовать возможности кода для исправления ошибок, возникающих при передаче сигнала по каналу связи. Был реализован итерационный алгоритм декодирования Берлекампа–Мессе [3].

На рис. 4 и 5 представлены типичный вид нормированного модуля (рис. 4) и производной фазы (рис. 5), представляющей собой мгновенную частоту, комплексной огибающей одного пакета Bluetooth.

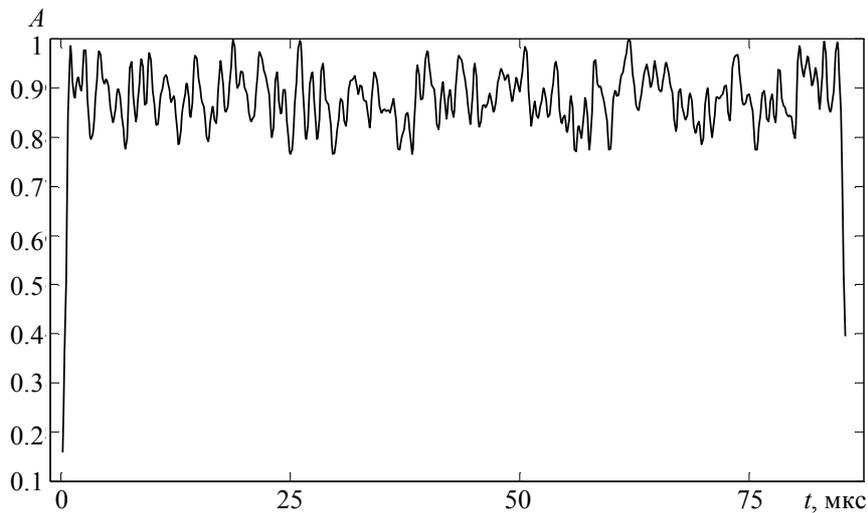


Рис. 4

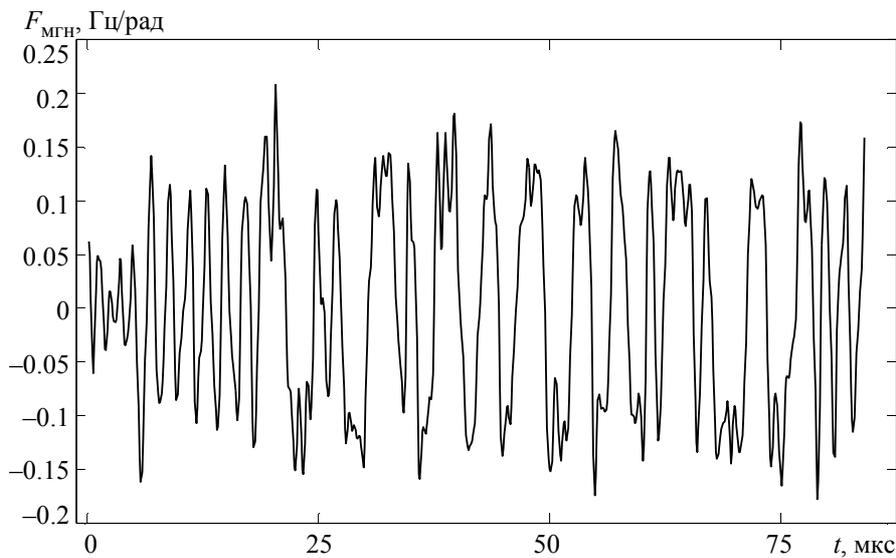


Рис. 5

Была проведена серия экспериментов по приему сигналов от различных Bluetooth-устройств с помощью USRP. В результате цифровой обработки данных были получены следующие зависимости вероятности неправильного определения LAR-части MAC-адреса P от оценки отношения сигнал/шум по мощности SNR (рис. 6). На рисунке приведены графики зависимости ошибки определения LAR при наличии и отсутствии как тактовой синхронизации до процедуры демодуляции сигнала, так и декодирования поля Access code после демодуляции. Для анализа в основном использовались пакеты типа inquiry длиной 68 бит. При таком небольшом количестве символов слепая тактовая синхронизация не в состоянии значительно повысить помехоустойчивость, что подтверждается представленными зависимостями. Однако при реальном обмене данными между Bluetooth-устройствами длины пакетов могут составлять до 5×625 бит, что позволит цепи тактовой синхронизации выйти на стационарный режим и функционировать более эффективно.

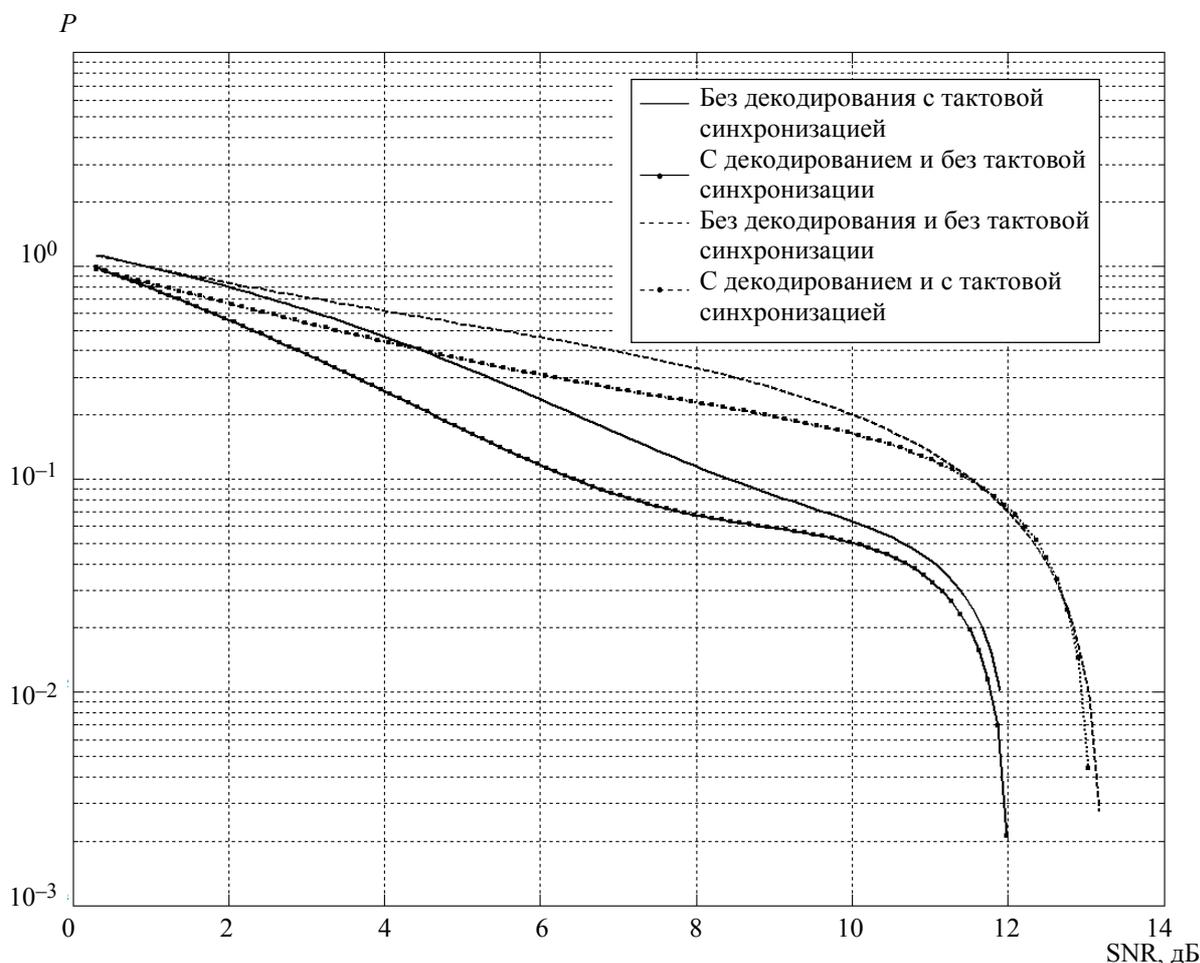


Рис. 6

Таким образом, выявление LAR-части MAC-адреса в принципе возможно на базе приема и обработки любого пакета, передаваемого в эфире. Однако точность обнаружения зависит от отношения сигнал/шум на приемной стороне. Как уже отмечалось, для передачи Access code применяется модуляция GFSK. Для упрощения обработки использовалась некогерентная демодуляция, в результате желательное отношение сигнал/шум для стабильного обнаружения LAR составляет порядка 13...14 дБ. Поэтому, по-видимому, имеет смысл накапливать список LAR-адресов с соответствующими оценками отношения сигнал/шум для дальнейшего анализа.

Решение задачи обнаружения оставшихся частей MAC-адреса – задача не столь очевидная, поскольку в явном виде ни UAP, ни NAP не передаются в каждом пакете. UAP-часть передается только в пакетах-квитанциях, однако каждый пакет содержит поле заголовка, контрольная сумма которого формируется с помощью UAP-части MAC-адреса. Это можно использовать для нахождения UAP. NAP-часть MAC-адреса при передаче пакетов Bluetooth не используется никак. На практике первый из двух байт NAP обычно представляет собой 0. Так что неопределенным остается только 1 байт и, следовательно, 256 возможных комбинаций. Определить верный адрес можно слепым перебором и посылкой запросов на каждый из возможных 256 вариантов адресов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

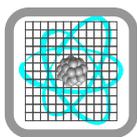
1. Spill D., Bittau A. BlueSniff: Eve meets Alice and Bluetooth // Proc. of the first USENIX workshop on Offensive Technologies, Boston, 6–10 August, 2007. P. 101–111.
2. Mengali U., Aldo N. D'Andrea. Synchronization Techniques for Digital Receivers. N. Y.: Springer-Verlag, 1997.
3. Todd K. Moon. Error correction coding: mathematical methods and algorithms. N. Y.: John Wiley & Sons, 2005.

A. E. Lavrenko, V. N. Malyshev

PASSIVE DETECTION AND IDENTIFICATION OF BLUETOOTH DEVICES

This article is aimed to examine the possibilities of passive 802.15.1 devices identification by the use of the Universal Software Radio Peripheral and subsequent digital signal processing on the host PC. The solution to the revealing the full MAC address of undiscoverable Bluetooth devices is proposed.

Wireless data transmission systems, digital signal processing, demodulation, Gaussian frequency shift keying, Media Access Control address



УДК 539.08: 539.2

*В. Т. Барченко, В. В. Лучинин,
В. П. Пронин, И. И. Хинич*

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА СПЕКТРОСКОПИИ УПРУГОГО ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Анализируются возможности количественной диагностики приповерхностной области твердых тел в режиме измерения коэффициентов упругого отражения электронов в узком телесном угле.

Электронная спектроскопия, упругое отражение, однократное рассеяние, кратное рассеяние

Электронная спектроскопия в настоящее время является одним из основных инструментов анализа приповерхностной области твердого тела. При этом все методы электронной спектроскопии в той или иной мере связаны с необходимостью знания элементарных процессов взаимодействия электронов с твердым телом, в том числе процесса упругого взаимодействия электронов с твердым телом. Без знания количественных закономерностей упругого рассеяния электронов невозможно решать задачи количественной диагностики поверхности и приповерхностной области твердого тела. Между тем анализ исследования характеристик потоков упругоотраженных электронов позволяет разработать методики, которые могут самостоятельно количественно решать некоторые задачи диагностики твердого тела.

Экспериментальное исследование интегрального коэффициента упругого отражения электронов r наиболее подробно проведено в [1] и [2]. На рис. 1 показаны зависимости интегрального коэффициента упругого отражения от энергии электронов: a – из [1]; b – из [2]. В [1] изучены r для широкого класса металлических, полупроводниковых и оксидных образцов в области $E < 1$ кэВ для различных углов падения электронов на поверхность твердого тела. В [2] проводилось исследование интегрального коэффициента упругого отражения от металлических образцов в диапазоне углов выхода электронов $\alpha = 6 \dots 52^\circ$ при нормальном падении электронов на поверхность твердого тела с $E \leq 2,5$ кэВ. Из-за измерения упругого отражения электронов (УОЭ) не во всем диапазоне углов рассеяния приведенные в работе [2] результаты отли-

чаются от r , регистрируемого в диапазоне углов выхода электронов $\alpha = 0 \dots 90^\circ$, однако проведенные оценки показали, что такое отличие не превышает 20 %.

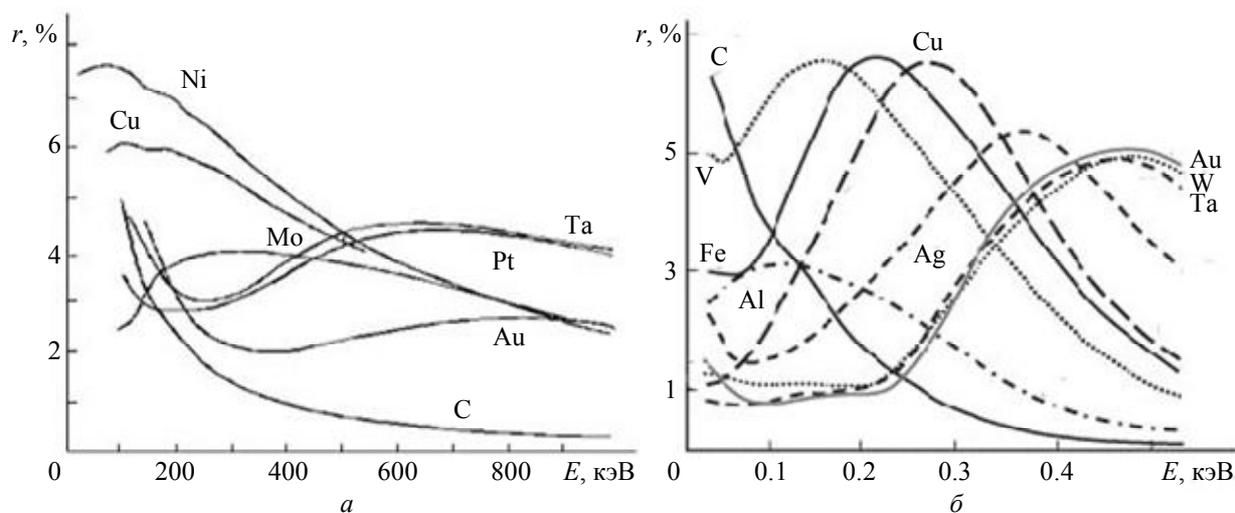


Рис. 1

Отмечая существенное различие представленных в [1] и [2] результатов, можно сделать следующие выводы:

1) доля электронов, упругоотражённых поверхностью твёрдого тела, достаточно велика и в рассматриваемом диапазоне энергий составляет несколько процентов от интенсивности падающего электронного пучка;

2) для элементов с большим атомным номером Z интегральный коэффициент упругого отражения r в рассматриваемой области энергий электронов немонотонно изменяется с энергией, достигая максимального значения при $E_{\max} \sim Z^2/8$ [эВ], и затем спадает с увеличением энергии электронов, для элементов с малым Z наблюдается монотонный спад зависимости $r(E)$;

3) при $E \leq 1,5$ кэВ коэффициент r немонотонно зависит от Z исследуемого образца, при больших энергиях налетающих электронов r является возрастающей функцией Z , например, при $E = 2$ кэВ для углерода – $r = 0,08$ %, для алюминия – $r = 0,3$ %, а для золота – $r = 4$ %.

Исследование углового распределения УОЭ представляет более сложную задачу, чем измерение интегрального коэффициента r . Эти трудности определяются необходимостью отладки, юстировки, корректной калибровки анализатора в узком телесном угле, обеспечения возможности его поворота, регистрации малых интенсивностей электронных потоков ($I \sim 10^{-12}$ А). В одной из первых работ по измерению углового распределения УОЭ [3] проведено сопоставление экспериментальных результатов для жидкой ртути (рис. 2, сплошные кривые) и её паров (рис. 2, штриховые линии) при энергиях электронов от 100 до 500 эВ и при углах падения $\varphi_1 = 8^\circ$ и $\varphi_2 = 31^\circ$. Показано, что все особенности на кривых углового распределения УОЭ для жидкой и газообразной ртути совпадают, однако контрастность максимумов углового распределения для жидкой ртути значительно меньше, чем для пара.

Основные результаты по исследованию упругого отражения электронов в узком телесном угле от поверхностей твердых тел в широком диапазоне углов падения и в широкой области энергий падающих электронов 20 эВ...2 кэВ представлены в [4]–[8].

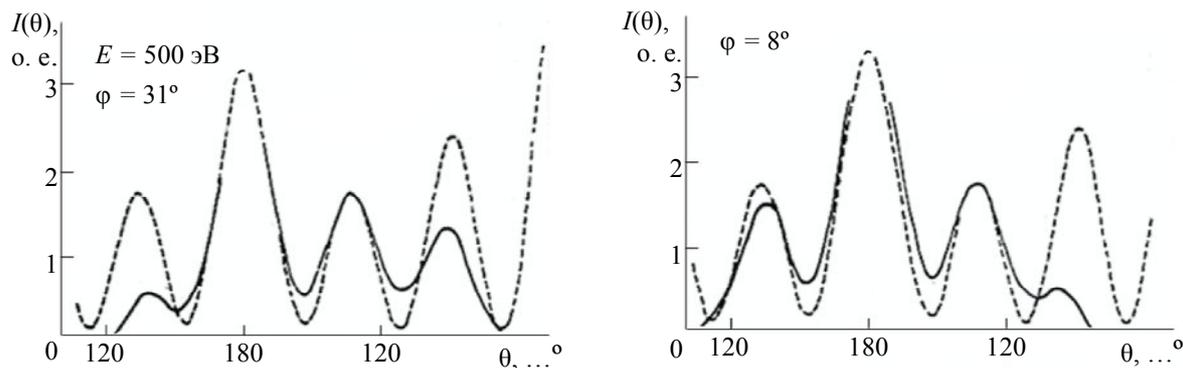


Рис. 2

Результаты измерений углового распределения УОЭ для Ag и Au при нормальном угле падения электронов на поверхность образца и энергиях электронов E [кВ]: 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,4; 5 – 0,6; 7 – 1; 8 – 1,5; приведены на рис. 3 [8]. Показано, что пространственные распределения УОЭ для веществ с Z имеют сложную структуру.

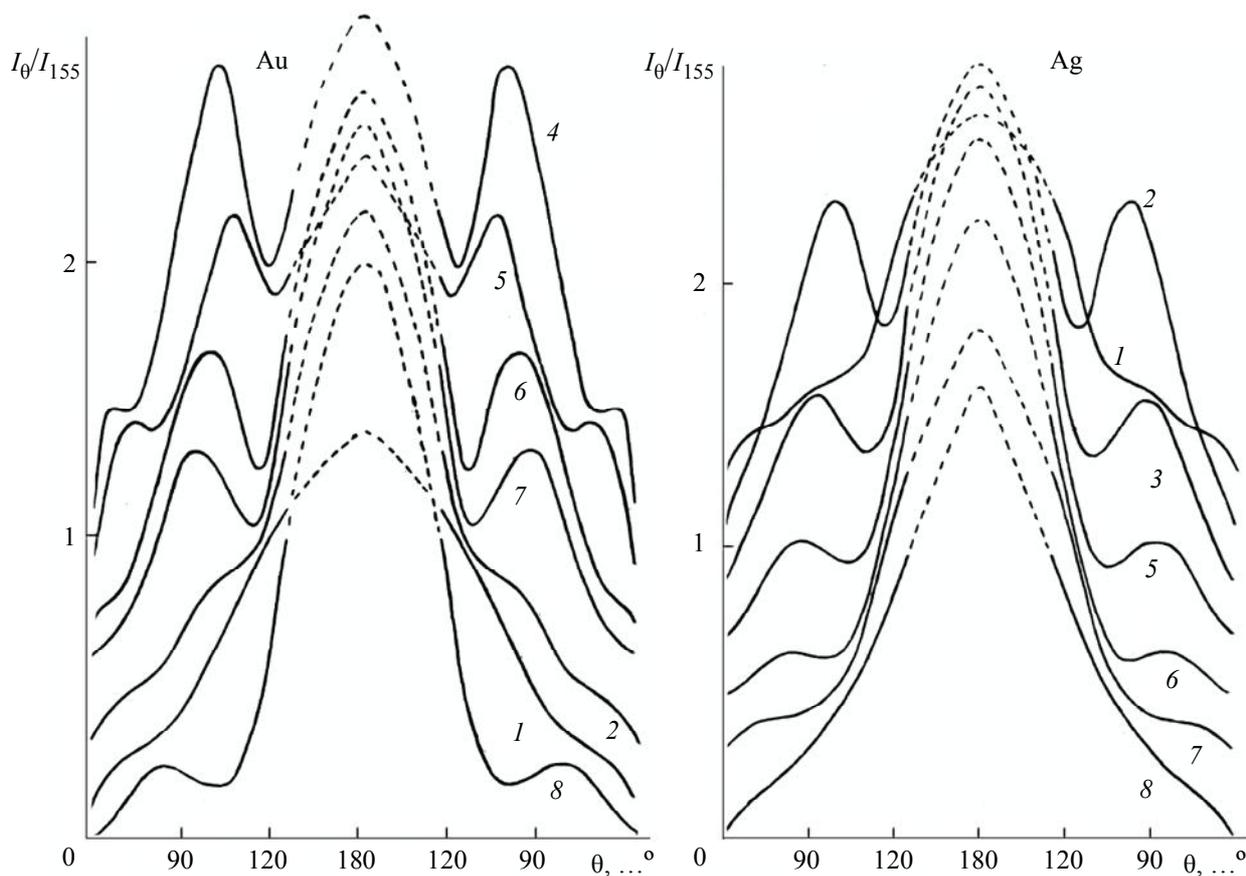


Рис. 3

Угловые распределения УОЭ $I(\theta)$ для массивного слоя Ва при $\varphi = 75^\circ$ (сплошные кривые) и соответствующие им дифференциальные сечения упругого рассеяния электронов $d\sigma_e(\theta)/d\Omega$ для атомов Ва (штриховые линии) показаны на рис. 4 (энергии налетающих электронов указаны около кривых).

Сопоставление экспериментальных результатов углового распределения УОЭ от поверхностей твердых тел с дифференциальными сечениями упругого рассеяния на свободных атомах $d\sigma_e(\theta)/d\Omega$ показало, что при $E \geq 100$ эВ особенности углового распределения

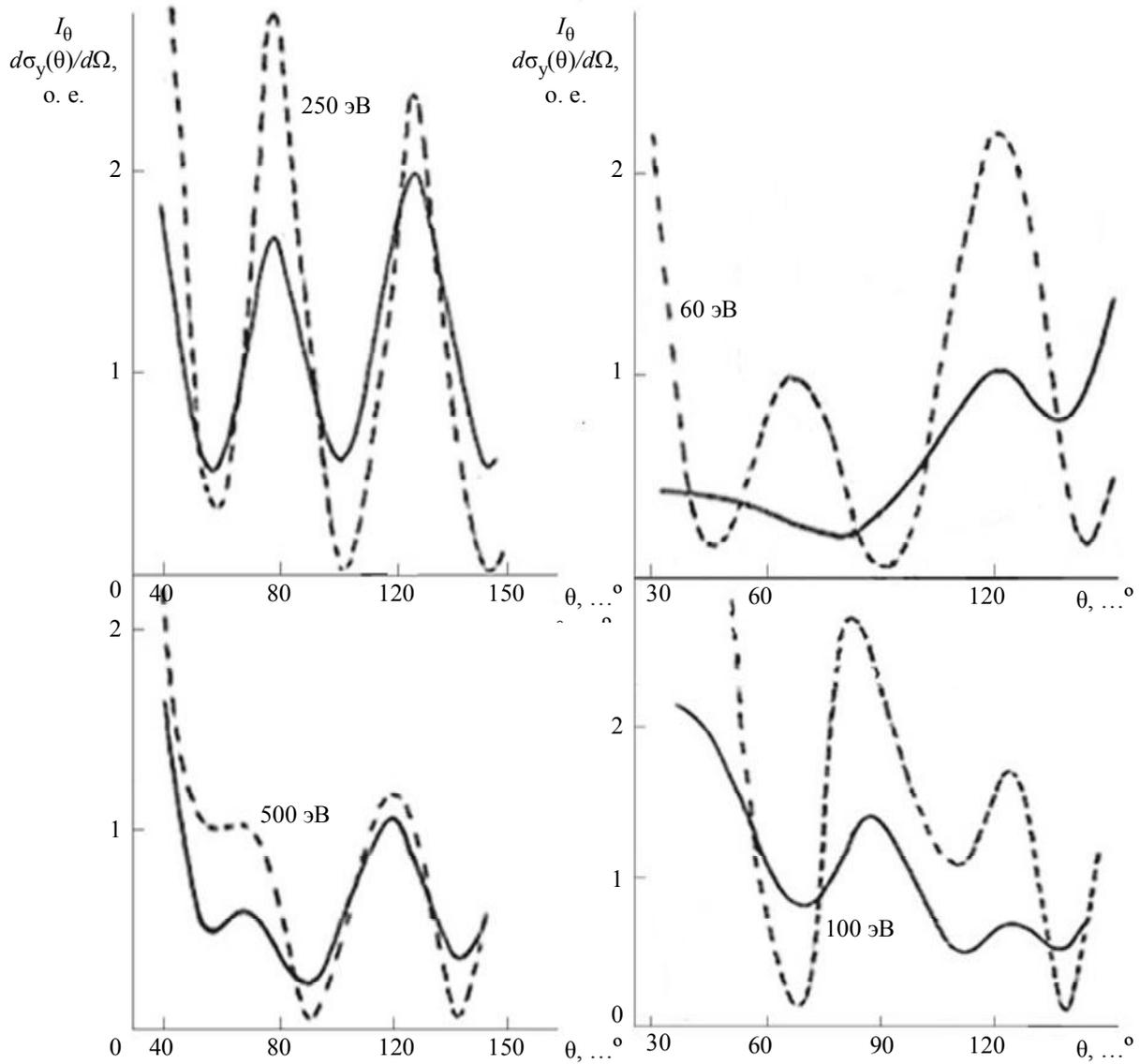


Рис. 4

УОЭ совпадают с особенностями дифференциальных сечений, а при меньших значениях энергии наблюдается их явное несовпадение.

Комплекс экспериментальных данных по изучению дифференциальных характеристик упругого отражения позволил сформулировать предположение о том, что упругое отражение электронов от твердых тел в области энергий $E \geq 100$ эВ можно рассматривать как результат рассеяния электронов на отдельных атомах. При этом с учетом кратного упругого рассеяния интенсивность потока упругоотраженных электронов в узком телесном угле для однокомпонентных твердых тел описывается выражением

$$I(\theta, \varphi) = I_0 r_\theta(\theta, \varphi) \Delta\Omega,$$

где I_0 – интенсивность первичного электронного пучка; φ, θ – углы входа и рассеяния электронов; $\Delta\Omega$ – телесный угол, в который регистрируют упругоотраженные электроны; $r_\theta(\theta, \varphi)$ – дифференциальный коэффициент упругого отражения электронов, который для неупорядоченной поверхности определяется по формуле [1]:

$$r_{\theta}(\theta, \varphi) = (1 - P(\alpha))(1 - P(\varphi)) \frac{\lambda n \sigma_{\delta}}{\left(1 + \frac{\cos \varphi}{\cos \alpha}\right)} \sum_{i=1}^{\infty} W_i S_i(\theta). \quad (1)$$

Здесь $P(\alpha)$, $P(\varphi)$ – вероятности поверхностных потерь; $\alpha = \pi - \theta - \varphi$ – угол выхода электронов; $\lambda = \lambda_{\delta} \lambda_i / (\lambda_{\delta} + \lambda_i)$ – длина свободного пробега в веществе (где λ_y и λ_H – длины свободных пробегов до упругого и неупругого соударений); n – концентрация рассеивающих центров; σ_y – интегральное сечение упругого рассеяния; W_i определяет вероятность выхода электронов в вакуум после i -кратного рассеяния; $S_i(\theta)$ – нормированная вероятность рассеяния электронов на угол θ при i -кратном рассеянии.

Расчеты двумя методами на основе теоретических значений дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов на атомах и длин свободного пробега относительно неупругого рассеяния из базы данных NIST [6], [7] для ряда веществ с Z от 3 до 92 и энергий $10^2 \dots 10^4$ эВ оказались в хорошем соответствии. Проведенные расчеты находятся в хорошем согласии с известными экспериментальными результатами.

По аналогии с (1) для многокомпонентных твердых тел дифференциальный коэффициент упругого отражения имеет вид

$$r_{\theta}(\theta, \varphi) = \frac{(1 - P(\varphi))(1 - P(\alpha))}{\left(1 + \frac{\cos \varphi}{\cos \alpha}\right)} \lambda \sum_z n_z \sigma_{\delta z} \sum_i W_i S_{iz}(\theta), \quad (2)$$

при этом $\lambda_y^{-1} = \sum_z n_z \sigma_{\delta z}$, где n_z – концентрация z -го компонента; σ_{yz} – соответствующее ему интегральное сечение упругого рассеяния.

Применимость феноменологической формулы (1) проверена сопоставлением расчетов характеристик упругого отражения электронов твердым телом, полученных с использованием формулы (2), с соответствующими результатами, полученными методом статистических испытаний.

Очевидно, что на основании измерения $r_{\theta}(\theta, \varphi)$ в предположении известных дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов $d\sigma_y(\theta)/d\Omega$ на атомах твердого тела можно определить: 1) концентрацию компонентов n_z , входящих в состав приповерхностной области твердого тела; 2) вероятности поверхностных потерь $P(E, \varphi)$ и $P(E, \alpha)$; 3) длину свободного пробега электрона относительно неупругого взаимодействия λ_H .

Варьирование энергии E первичных электронов дает возможность плавно изменять глубину анализа, определяющуюся эффективной длиной пробега электронов λ относительно упругого и неупругого взаимодействий, которая при изменении энергии электронов от сотен до тысяч электрон-вольт варьируется от долей до десятков нанометров.

Отметим, что погрешности определения характеристик приповерхностной области твердого тела в первую очередь определяются погрешностями измерения дифференциального коэффициента УОЭ $r_{\theta}(\theta)$. Так, для определения концентрации атомов с точностью порядка 1 % требуется аналогичная точность измерения $r_{\theta}(\theta)$.

Практическая реализация возможностей спектроскопии УОЭ может быть обеспечена в экспериментальных приборах, отвечающих следующему набору требований.

1. Измерение характеристик УОЭ должно проводиться в сверхвысоком вакууме при давлении остаточных газов $p < 10^{-7}$ Па вследствие высокой чувствительности этих характеристик к поверхностным загрязнениям.

2. Прибор должен обеспечивать измерение абсолютных значений коэффициента УОЭ в узком телесном угле, что обычно требует специальной калибровки детектора-анализатора электронов.

3. В качестве анализатора электронов в узком телесном угле целесообразно использовать анализатор с задерживающим полем, позволяющий измерять полный ток упругоотраженных электронов.

4. Энергетическое разрешение анализатора $\Delta E/E$ должно быть на уровне 0,1 % для обеспечения достаточной точности измерения абсолютных значений коэффициента УОЭ в узком телесном угле.

5. Необходимое угловое разрешение анализатора $\Delta\theta$ зависит от вида дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов $d\sigma_y(\theta)/d\Omega$ на атомах твердого тела и должно быть не более 2° .

6. В качестве детектора электронов целесообразно использовать детектор, работающий в режиме регистрации отдельных импульсов, что позволяет проводить измерения при достаточно малых токах первичного электронного пучка и обеспечивать, соответственно, неразрушающий характер исследования.

7. При анализе элементного состава целесообразно проводить измерения при углах падения электронов φ на образец, близких к нормали, и углах их рассеяния $\theta > 150^\circ$. В этой области углов отсутствуют особенности пространственных распределений упругоотраженных электронов, практически не сказываются эффекты преломления электронов на границе твердого тела и сводятся к минимуму эффекты шероховатости поверхности.

8. Для экспериментального определения вероятности поверхностных потерь прибор должен обеспечивать возможность измерения абсолютных значений коэффициента $r_\theta(\theta)$ в широком диапазоне углов падения φ .

Отметим, что корректное решение задач диагностики поверхности методом спектроскопии упругого отражения электронов, в частности задач определения глубины анализа, подразумевает знание дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов на атомах в конденсированном состоянии, которые могут существенно отличаться (особенно для малых углов рассеяния) от таковых для изолированных атомов.

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» (проект № 2.1.2/3382).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В. А. Отражение электронов средних энергий от твердых тел: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / ЛПИ. Л., 1973.
2. Gergely G. Elastic peak electron spectroscopy // Scanning. 1986. Vol. 8. P. 203–214.
3. Schilling J. S., Webb M. B. Low-energy electron diffraction from liquid Hg: multiple scattering, scattering factor, and attenuation // Phys. Rev. Ser. B. 1970. Vol. 2, № 6. P. 1665–1676.
4. Пронин В. П. Упругое отражение электронов средних энергий от поликристаллических металлических поверхностей: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / ЛГПИ. Л., 1976.

5. Упругое отражение электронов средних энергий от неупорядоченных металлических поверхностей / И. М. Бронштейн, А. А. Васильев, В. П. Пронин, И. И. Хинич. // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1985. Т. 49, № 9. С. 1755–1759.

6. Бронштейн И. М., Пронин В. П. Упругое отражение электронов средних энергий от твердых тел // ФТТ. 1975. Т. 17, вып. 7. С. 2086–2088.

7. Бронштейн И. М., Пронин В. П. Упругое рассеяние электронов средних энергий металлическими пленками // ФТТ. 1975. Т. 17, вып. 8. С. 2431–2433.

8. Powell C. J., Jablonski A. NIST electron elastic-scattering cross-section database. Version 3.1, Standard Reference Data Program Database 64 / National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD, 2003.

V. T. Barchenko, V. V. Luchinin, V. P. Pronin, I. I. Khinich

ANALITIC OPPORTUNITIES AND EXPERIMENTAL BASE OF ANGULAR-RESOLVED ELASTIC PEAK ELECTRON SPECTROSCOPY

The possibilities of quantitative analysis of solid state surface in a mode of measurement of elastic electron scattering coefficient in a narrow solid angle are analyzed.

Electron spectroscopy, elastic peak, one collision elastic scattering, repeatedly elastic scattering



УДК 004.7

К. В. Кринкин, М. Н. Швецов

ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСЛЯЦИИ СЕТЕВЫХ АДРЕСОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯМИ

Рассматривается механизм обеспечения взаимодействия узлов, находящихся в различных корпоративных сетях за счет, создания виртуального туннеля поверх сети Интернет. Предлагается модель системы, использующая особенности работы механизма трансляции сетевых адресов на пограничных маршрутизаторах. Приводятся результаты исследования построенной модели.

Система обеспечения взаимодействия пользователей, трансляция сетевых адресов, виртуальные локальные сети, виртуальные IP-адреса

Актуальность. В сетях TCP/IP используется IP четвертой версии, известный также как IPv4. В протоколе IP этой версии каждому узлу сети ставится в соответствие IP-адрес длиной 32 бита. Однако такого диапазона IP-адресов в 90-е гг. стало не хватать, поэтому была разработана технология трансляции сетевых адресов (NAT).

Простейший вариант NAT – это прямая трансляция IP-адресов, при этом таблица NAT содержит только старое значение IP-адресов до замены и новое значение после. Более распространенный вариант NAT – трансляция IP-адреса в зависимости от используемого транспортного протокола и порта.

Применение технологии NAT позволяет сэкономить IP-адреса за счет трансляции нескольких IP-адресов локальной сети в один или несколько IP-адресов глобальной сети. Поскольку NAT блокирует входящие соединения, для которых в таблице трансляции адресов отсутствует соответствующая запись, то узлы из разных локальных сетей, разделенных между собой NAT, не будут способны установить соединение.

Предоставление доступа к узлу, находящемуся в локальной сети, из глобальной сети редко имеет большое значение. Однако решение данной проблемы позволит расширить возможности пользователей сети, так как будут доступны те же функции, что и узлам в локальной сети, например удаленное администрирование узла, обмен документами и т. п. Со временем ожидается широкое использование новой версии IPv6, с применением которой отпадет необходимость в NAT, но механизм блокировки входящих соединений скорее всего будет применяться и дальше.

Рассмотрим механизм FlexibleNAT, позволяющий узлам из разных локальных сетей обмениваться между собой пакетами.

Механизм FlexibleNAT. Протокол обеспечения взаимодействия FlexibleNAT (или FlexNAT) позволяет создать между пользователями виртуальную локальную сеть поверх сети Интернет. В отличие от уже существующих технологий, таких, как IPSec, NAT-Traversal, IP next layer, VPN, механизм FlexNAT не требует наличия специализированного оборудования или модификации существующих протоколов. От пользователя системы не требуется знания сетевых технологий или настройки сетевого оборудования.

На рис. 1 представлено место протокола FlexNAT в иерархии протоколов.

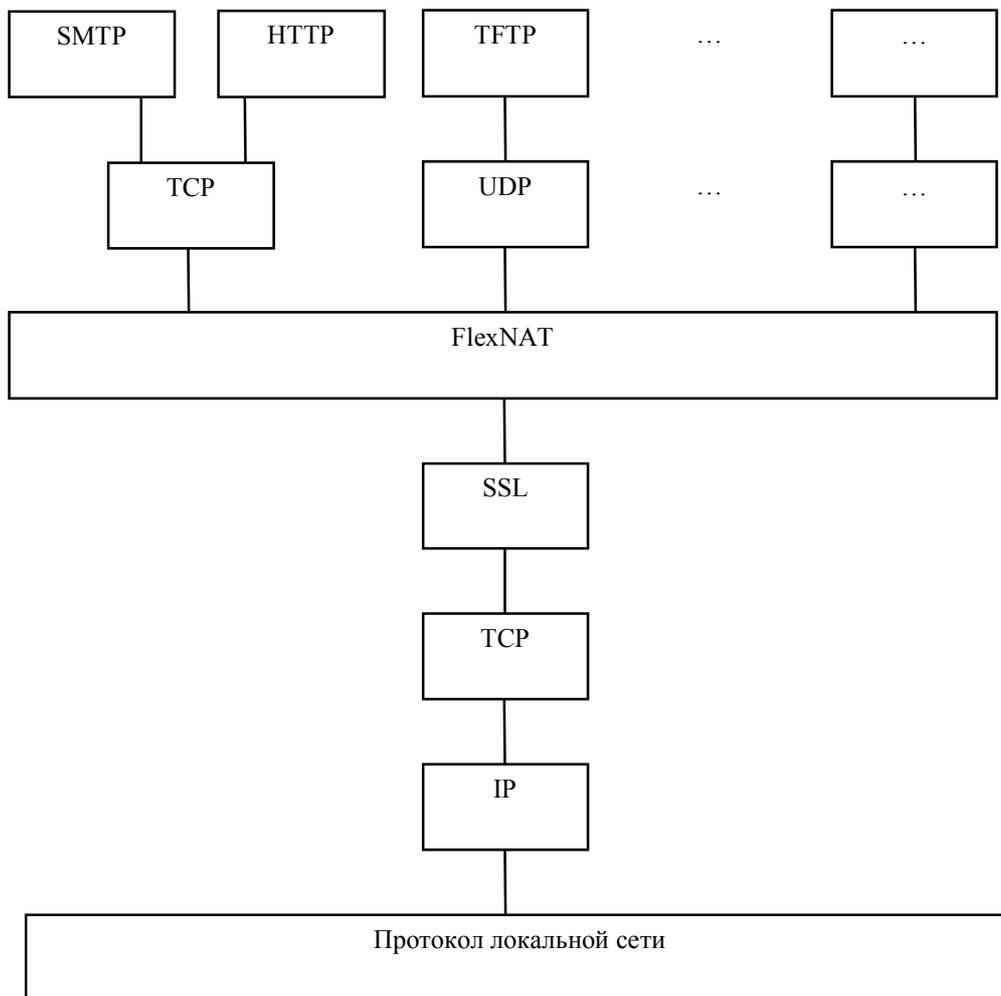


Рис. 1

Протокол FlexNAT взаимодействует с одной стороны с протоколом SSL, а с другой – с протоколами транспортного уровня. Если используется протокол TCP или UDP, в тело FlexNAT инкапсулируются настоящие порты назначения и источника, все остальные протоколы транспортного уровня протокол FlexNAT инкапсулирует целиком.

Рассмотрим алгоритм работы системы на примере (рис. 2).

В уже существующую сетевую топологию добавляется выделенный сервер. Для корректного обмена пакетами между узлами-клиентами сервер должен находиться в глобальной сети или быть доступным для узлов, желающих установить между собой соединение. Когда узел-клиент захочет передать данные другому узлу-клиенту, он должен установить

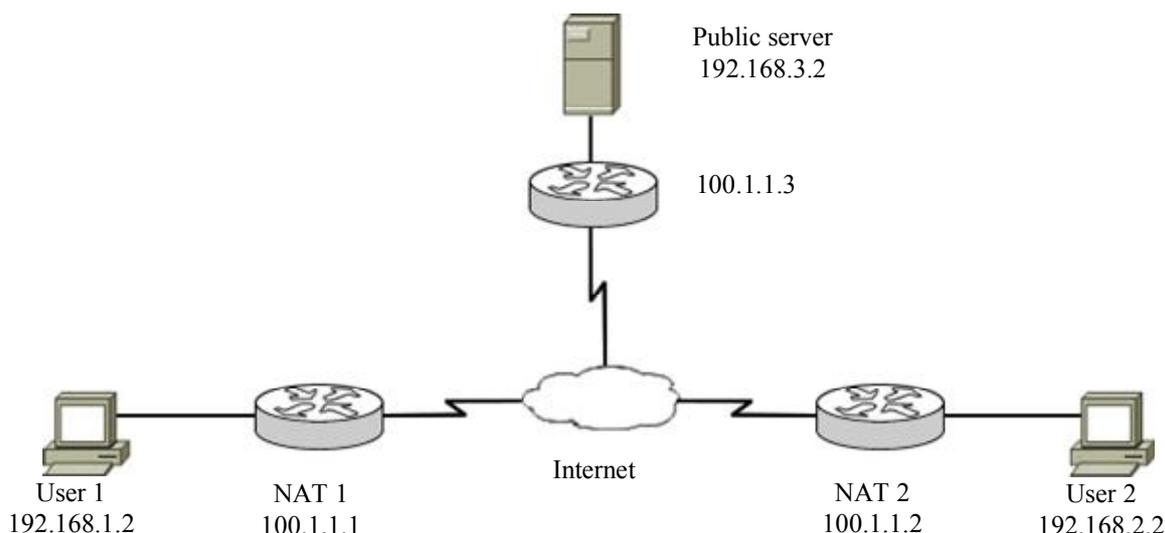


Рис. 2

соединение с сервером. Таким образом, на устройстве NAT в таблицу трансляции адресов будет добавлена запись, свидетельствующая о том, что данный узел-клиент доступен с соответствующей комбинацией IP-адреса и порта. Затем сервер пересылает подключившемуся клиенту список IP-адресов и портов, через которые доступны контакты данного клиента.

Через открытые порты устройства NAT пакеты могут быть доставлены узлу, находящемуся за NAT. Клиенты постоянно удерживают соединение с сервером с помощью KeepAlive сообщений, поэтому запись в таблице NAT остается до окончания работы системы.

Каждому контакту пользователя ставится в соответствие виртуальный IP-адрес, в качестве которого берется любой незадействованный IP-адрес в сети. Данный адрес действует только в пределах одного узла.

Процесс, отправляющий данные на виртуальный IP-адрес, вызывает программу транспортного протокола, который в свою очередь обращается к программе протокола Internet. Программа протокола FlexNAT перехватывает такого рода обращения, изменяет IP-адрес назначения, транспортный протокол на протокол TCP, порт назначения и порт источника на открытые порты устройств NAT и записывает вместе с передаваемыми данными настоящие порты назначения и источника.

Виртуальные IP-адреса. Каждому контакту пользователя ставится в соответствие виртуальный IP-адрес, позволяющий системе выявить пакеты, которые должны быть переданы через виртуальный туннель с контактом пользователя. Для пользователя же возникает иллюзия, что пакет был отправлен на виртуальный IP-адрес и ответное сообщение пришло с виртуального IP-адреса.

При отправке пакета на такой IP-адрес в заголовке IP адрес назначения заменяется на IP-адрес NAT устройства контакта, а в заголовке TCP порты назначения и источника заменяются на открытые порты устройств NAT, значения настоящих портов назначения и источника записываются в тело пакета. Обработанный пакет отправляется указанному контакту.

Если пакет был получен от одного из подключенных на данный момент узлов-контактов, то в IP-заголовке этого пакета IP-адрес источника будет заменен на виртуальный IP-адрес, привязанный к данному контакту.

Виртуальные IP-адреса действуют только в пределах одного узла, т. е. они не маршрутизируются по сети. Лучше всего для виртуальных IP-адресов брать неиспользуемый диапазон из локальной сети, например диапазон 10.255.255.1-10.255.255.254.

Модификация пакета перед отправкой контакту. Чтобы доставить IP-пакет до узла назначения, необходимо:

1. Убедиться, что IP-адрес назначения равен виртуальному IP-адресу одного из подключенных на данный момент контактов. Если это так, то заменить адрес назначения на IP-адрес контакта, полученный от сервера.

2. Преобразовать его к пакету TCP, если он таким не являлся. Для этого указать в поле Protocol заголовка IP значение 6 (протокол TCP). Также необходимо в тело датаграммы IP вставить заголовок TCP.

3. В заголовке TCP указать порт назначения, равный открытому порту на устройстве NAT, за которым стоит контакт.

4. Заменить порт источника на открытый порт устройства NAT, чтобы оно при выходе пакета в глобальную сеть не создало нового соответствия трансляции адресов.

5. Записать в тело TCP-пакета настоящее значение поля Protocol в заголовке IP, чтобы его можно было восстановить.

6. Если в оригинальном пакете использовался протокол TCP или UDP:

а) записать в тело TCP-пакета настоящие значения полей Source Port и Destination Port, чтобы его можно было восстановить;

б) записать в тело TCP-пакета тело исходного пакета TCP или датаграммы UDP.

7. Если в оригинальном пакете использовался транспортный протокол, отличный от TCP и UDP, его заголовок и тело полностью занести в тело пакета TCP.

В результате такой последовательности действий обработанный пакет будет доставлен получателю.

Модификация пакета после получения его контактом. После доставки пакета в узел назначения необходимо восстановить его исходный вид и передать на обработку операционной системе. Для этого необходимо:

1. Определить по IP-адресу источника и порту источника, от какого контакта был получен пакет (по информации, полученной от сервера). Если такой контакт будет найден, то заменить IP-адрес источника на виртуальный адрес этого контакта.

2. Определить из тела пакета, какой транспортный протокол использовался в исходном пакете, и заменить в заголовке IP значение поля Protocol.

3. Если использовался протокол TCP:

а) заменить порты источника и назначения на порты, записанные в теле пакета;

б) оставить содержимое исходного пакета.

4. Если использовался протокол UDP:

а) воссоздать заголовок UDP, указав в нем порты источника и назначения, равные портам, записанным в теле пакета;

б) оставить содержимое исходной дейтаграммы.

5. Если же использовался любой другой протокол, целиком восстановить его.

Таким образом, у операционной системы получателя возникнет иллюзия, что входящее сообщение пришло с виртуального IP-адреса контакта и ответное сообщение будет аналогичным образом отправлено обратно.

Исследование системы FlexNAT. Опишем результаты работы пользователя с созданной системой. При тестировании рассматривались следующие случаи:

1. Клиенты находятся в одной локальной сети, устройств NAT нет, применение FlexNAT не требуется.

2. Первый клиент находится в одной локальной сети, второй – в другой. Сети отделены друг от друга двумя NAT. Оба клиента не обладают выделенными IP-адресами на устройствах NAT. Применяется система FlexNAT.

Основными анализируемыми характеристиками являлись:

- среднее время на установление соединения между клиентами ($T_{\text{соед}}$);
- пропускная способность (BW).

Сведем результаты тестов в таблицу. Видно что, применение системы FlexNAT снижает пропускную способность на 12 % по сравнению с максимально возможной.

Номер случая	$T_{\text{соед}}$, мс	BW, Мбайт/с
1	30	11,49
2	34	10,14

Приведем преимущества и недостатки построенной модели.

Преимущества:

- не требуется наличия специализированного оборудования;
- обеспечивается конфиденциальность передаваемой информации;
- имеется встроенный механизм сжатия данных;
- применение механизмов аутентификации клиента.

Недостатки:

- снижение скорости передачи данных при их шифровании и сжатии;
- наличие выделенного сервера, требующего отдельного администрирования.

Таким образом, разработан механизм FlexibleNAT, позволяющий взаимодействовать между собой узлам, находящимся в различных локальных сетях. В результате тестирования было выяснено, что пропускная способность при применении системы понижается на 12 %. В будущем ожидается широкое применение протокола IPv6, позволяющего устранить проблему с нехваткой адресов, но даже тогда механизм блокировки входящих сообщений будет продолжать использоваться.

K. V. Krinkin, M. N. Shvecov

USING NETWORK ADDRESS TRANSLATION FOR CONTROL CONNECTIONS

The possibility of establishing connections between users located in different private networks by creating a virtual tunnel over the is considered. The system of user interaction is proposed. The results of system testing are presented.

The system of user interaction, network address translation, virtual private networks, virtual ip addresses

Р-АДИЧЕСКИЙ БАЗИС МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР ОБЪЕКТОВ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается проблема описания объектов с иерархической структурой с помощью p -адической арифметики. Приводятся алгоритмы p -адического представления рациональных чисел.

Математическое обеспечение САПР, технологии с атомарной точностью, объекты с иерархической структурой, неархимедова геометрия, p -адические числа

Проблема высококачественного проектирования наукоемких изделий, к числу которых относятся объекты микро- и наносистемной техники, весьма актуальна. Одним совершенствованием методов управления проектами ее не решить – необходимо использовать такие прогрессивные технологии, как *технологии с атомарной точностью (ТАТ)*, специализированные САПР и т. д.

Отличительной особенностью объектов микро- и наносистемной техники, объектов ТАТ является их *иерархическая структура*, свойственная, например, таким физическим системам, как спиновые стекла, кластеры, наночастицы, большие молекулы и биополимеры. Физика таких систем и структур породила ряд серьезных теоретических проблем. Оказалось, что иерархическую «конструкцию» неудобно описывать математикой, основанной на традиционных представлениях о числах [1]. И это не техническое неудобство. Есть понимание того, что противоречие имеет фундаментальный характер. Здесь нужна новая математика, пригодная для описания *неархимедовой геометрии*.

В настоящей статье выделен и рассмотрен один из фундаментальных аспектов общей проблемы математического обеспечения САПР ТАТ-объектов: изучение потенциальных возможностей *p -адической арифметики* для координатного описания неархимедовой геометрии в контексте концепции абстрагирования при определении математических структур данных.

Нотация p -адической арифметики*. Не равное нулю рациональное число x можно единственным способом представить как

$$x = p^k \frac{r}{s}, \quad (1)$$

где p – простое число; k – целое число, $k \in \mathbb{Z}$; ни r , ни s не делятся на p , т. е. r и s – взаимно просты с p .

Для записи x используется степенной ряд

$$x = \sum_{j=n}^{\infty} a_j p^j, \text{ где } a_j \in [0, p-1]. \quad (2)$$

* p -Адиические числа были введены в математику в конце XIX в. немецким математиком К. Гензелем по аналогии с полиномами в комплексной области. Оказалось, что числа и функции комплексного переменного во многом ведут себя *сходным образом* [2]. (<http://in-the-matrix.ru/pdf/23Mavrikidi.pdf>)

Норма числа x определяется как

$$|x|_p = p^{-n}, \quad (3)$$

если $a_n \neq 0$.

Существует взаимно-однозначное соответствие между разложением в степенной ряд $a_n p^n + a_{n+1} p^{n+1} + a_{n+2} p^{n+2} + \dots$ и последовательностью $a_n, a_{n+1}, a_{n+2}, \dots, a_j \in [0, p-1]$.

По аналогии с записью вещественных чисел вводится разделительная точка (так называемая *p-адическая точка*) как средство задания знака показателя степени p в разложении (2): $a_n a_{n+1} \dots a_{-2} a_{-1} \cdot a_0 a_1 \dots$ для $n < 0$;

$\cdot a_n a_{n+1} \dots$ для $n = 0$;

$\cdot 00 a_n a_{n+1} \dots$ для $n > 0$.

Такой вид записи называется *каноническим* [3]*.

Например, для $p = 5$: $13.41 = 1 \cdot 5^{-2} + 3 \cdot 5^{-1} + 4 \cdot 5^0 + 1 \cdot 5^1 = 241/25$;

$$.1341 = 1 \cdot 5^0 + 3 \cdot 5^1 + 4 \cdot 5^2 + 1 \cdot 5^3 = 241;$$

$$.01341 = 0 \cdot 5^0 + 1 \cdot 5^1 + 3 \cdot 5^2 + 4 \cdot 5^3 + 1 \cdot 5^4 = 1205.$$

Положительные целые имеют ограниченную по длине последовательность, отрицательные и многие числа, отличные от целых, представляются бесконечной по длине последовательностью вычетов x_j по модулю p^j , удовлетворяющих условию

$$x_j \equiv x_{j+1} \pmod{p^j}. \quad (4)$$

Таким образом, целое *p-адическое число* x для произвольного простого p представляет собой последовательность $x = \{x_1, x_2, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots\}$ вычетов x_j по модулю p^j , удовлетворяющую условию (4).

Беря в качестве элемента класса вычетов такое число x_j , что $0 \leq x_j \leq p^j$, можно записать каждое целое *p-адическое число* в виде $x = x_1 x_2 \dots x_j \dots$ однозначным образом. Это *каноническая форма записи*. В свою очередь, записывая каждое x_j в *p-ичной системе счисления* $x_j = a_n \dots a_2 a_1$ и учитывая условие (4), можно всякое *p-адическое число* в каноническом виде представить в *p-ичной форме записи* $x = a_0, a_1 a_0, a_2 a_1 a_0, \dots$ или в традиционном (начиная со старших разрядов) виде $x = a_{n-1} \dots a_1 a_0$.

Для рассматриваемого примера ($x = 241$) имеем:

* <http://islab.oregonstate.edu/papers/r09padic.pdf>

5^0	$x_1 \equiv 241 \pmod{5} = 1 = a_0 \cdot 5^0;$
5^1	$a_0 = 1;$
5^2	$x_2 \equiv 241 \pmod{5^2} = 16 = a_0 \cdot 5^0 + a_1 \cdot 5^1;$
5^3	$a_0 = 1, a_1 = 3;$
5^4	$x_3 \equiv 241 \pmod{5^3} = 116 = a_0 \cdot 5^0 + a_1 \cdot 5^1 + a_2 \cdot 5^2;$
5^5	$a_0 = 1, a_1 = 3, a_2 = 4;$
5^6	$x_4 \equiv 241 \pmod{5^4} = 241 = a_0 \cdot 5^0 + a_1 \cdot 5^1 + a_2 \cdot 5^2 + a_3 \cdot 5^3;$
5^7	$a_0 = 1, a_1 = 3, a_2 = 4, a_3 = 1.$

	...	a_0		
5^1	5^0			

	...	a_1	a_0	
5^2	5^1	5^0		

	...	a_2	a_1	a_0	
5^3	5^2	5^1	5^0		

	...	a_3	a_2	a_1	a_0
--	-----	-------	-------	-------	-------

Здесь: $x_1 = a_0 \Rightarrow 1 \cdot 5^0 = 1, a_0 = 1;$

$$x_2 = a_1 a_0 \Rightarrow 3 \cdot 5^1 + 1 \cdot 5^0 = 16, a_1 = 3, a_0 = 1;$$

$$x_3 = a_2 a_1 a_0 \Rightarrow 4 \cdot 5^2 + 3 \cdot 5^1 + 1 \cdot 5^0 = 116, a_2 = 4, a_1 = 3, a_0 = 1;$$

$$x_4 = a_3 a_2 a_1 a_0 \Rightarrow 1 \cdot 5^3 + 4 \cdot 5^2 + 3 \cdot 5^1 + 1 \cdot 5^0 = 241, a_3 = 1, a_2 = 4, a_1 = 3, a_0 = 1.$$

Видно, что условие (4) выполняется для всех $j = 1, 2, 3, 4$. Так, $x_2 \equiv x_3 \pmod{5^2}$, поскольку $x_3 - x_2 = 4 \cdot 5^2$ и $(x_3 - x_2) \pmod{5^2} = 0$.

Нетрудно заметить, что 5-адическая и 5-ичная формы записи рассматриваемого в качестве примера положительного целого числа $x = 241$ совпадают с точностью до порядка слагаемых в частичных суммах степенного ряда (2) $x = a_0 \cdot 5^0 + a_1 \cdot 5^1 + a_2 \cdot 5^2 + a_3 \cdot 5^3$, где $a_k \in [0, 4]; k = 0, 1, 2, 3$.

В 5-адической записи a_k записываются, начиная с младших разрядов, а в 5-ичной – традиционно, начиная со старших разрядов: $x = a_3 \cdot 5^3 + a_2 \cdot 5^2 + a_1 \cdot 5^1 + a_0 \cdot 5^0$.

Алгоритм p -адического представления натурального числа. Для неотрицательного числа x его p -адическое представление $x = \sum_{j=0}^{dx} a_j p^j$, где $a_j \in [0, p-1]$ и $dx \geq 0$ можно получить, используя, например, следующий алгоритм:

Дано: натуральное целое число x , простое число p .

Надо: последовательность a_j p -адических цифр.

Начало

$j := 0$

цикл пока $x > 0$

$a_j := x \bmod p$ – функция вычисления вычета числа x по модулю p

$x := [x/p]$ – функция вычисления целой части результата деления x на p

$j := j + 1$

конец цикла

$dx := j - 1$

Конец

Таким образом, если x – неотрицательное целое число, то его можно записать в виде

$$x = \sum_{j=0}^{dx} a_j p^j,$$

где $a_j \in [0, p-1]$ и $dx \geq 0$.

Алгоритм p -адического представления рационального числа. Расширим это представление на множество рациональных чисел. Рассмотрим очередной пример для $p = 5$ и рационального числа $x = -\frac{3}{20}$.

Следуя (1), запишем

$$-\frac{3}{20} = \frac{1}{5} \cdot \frac{3}{-4} = \frac{1}{5} \cdot \frac{3}{1-5} = \frac{3}{5} (5^0 + 5^1 + 5^2 + \dots) = 3 \cdot 5^{-1} + 3 \cdot 5^0 + 3 \cdot 5^1 + 3 \cdot 5^2 + \dots = \sum_{j=-1}^{\infty} 3 \cdot 5^j. \quad (5)$$

Пока воздержимся от комментариев, связанных с эквивалентными преобразованиями. Рассмотрим сумму (5) формально. Данный пример использован потому, что разложение в степенной ряд для $\frac{1}{1-5}$ хорошо известно, однако подобное разложение справедливо и для любого другого рационального числа.

В связи с данным примером отметим 2 важных обстоятельства. Во-первых, чтобы получить p -адическое представление рационального числа, необходима бесконечная последовательность степеней p , возможно, начинающаяся с отрицательной степени p (в данном случае $j = -1$).

Во-вторых, должен существовать предел бесконечной суммы. Другими словами, необходимо рассмотреть некоторую метрику, при которой последовательность частичных сумм бесконечной последовательности степеней p сходится. Как известно, это должна быть последовательность Коши.

Продолжая вводный пример, рассмотрим множество X , состоящее из всех формальных сумм x типа

$$x = \sum_{j=k}^{\infty} a_j p^j, \quad (6)$$

где k – целое число, $a_j = a_j(x)$ принадлежит отрезку $[0, p-1]$ для $j = k, k+1, \dots$ и $a_k \neq 0$.

Для точки 0 имеем $a_j = 0$ для $j \geq 0$.

Согласно вышеотмеченным свойствам метрики пространства p -адических чисел две формальные суммы (6) близки, если большинство их начальных термов совпадают.

Рассмотрим конечный степенной ряд $x_n = 1 + p + p^2 + \dots + p^{n-1}$. Преобразуем модуль разности $|x_{n+k} - x_n|_p = |p^n + p^{n+1} + \dots + p^{n+k-1}|_p = |p^n (1 + p + p^2 + \dots + p^{k-1})|_p = \frac{1}{p^n}$.

Для каждого $\varepsilon > 0$ можно выбрать такое M , для которого $p^M \geq \frac{1}{\varepsilon}$ с выполнением для $n > M$ $|x_{n+k} - x_n|_p < \frac{1}{p^M} \leq \varepsilon$.

Значит, последовательность x_n представляет собой последовательность Коши. Фактически эта последовательность имеет предел, связанный с нормой $|\cdot|_p$ (3).

Возьмем рациональное число, представленное дробью $x = \frac{1}{1-p} \in \mathbb{Q}$. Для x_n как суммы геометрической прогрессии можно записать $x_n = \frac{p^n - 1}{p - 1}$. Тогда $|x_n - \frac{1}{1-p}|_p = \left| \frac{p^n}{p-1} \right|_p = \frac{1}{p^n}$.

Для $\varepsilon > 0$ можно записать $|x_n - \frac{1}{1-p}|_p < \varepsilon$.

В итоге, предел по p -адической норме $\lim_{n \rightarrow \infty} {}^{(p)}(1 + p + p^2 + \dots + p^{n-1}) = \frac{1}{1-p}$.

Пусть, например, $x = 2 + 3p + p^2 + 3p^3 + p^4 + 3p^5 + p^6 + \dots = 2 + 3p(1 + p^2 + p^4 + \dots) + p^2(1 + p^2 + p^4 + \dots) = 2 + (3p + p^2) \cdot (1 + p^2 + p^4 + \dots)$. Так как $1 + p^2 + p^4 + \dots$ сходится к $(1 - p^2)^{-1}$, имеем

$$x = 2 + \frac{3p + p^2}{1 - p^2}.$$

При $p = 5$ получаем p -адическое представление для $x = \frac{1}{3}$, которое записывается в форме $\frac{1}{3} = .231313131\dots = (p = 5) = .\overline{231}$ (черта над «31» означает периодическое повторение 31).

Отрицательным числам соответствуют p -адические числа с бесконечным числом ненулевых цифр. Так, в пятеричной системе $-1 = .4444\dots = \overline{4}$.

Для не равного нулю рационального числа x его p -адическое представление

$$x = \sum_{j=n}^{\infty} a_j p^j,$$

где $a_j \in [0, p-1]$, можно получить, используя, например, следующий алгоритм:

Дано: p – простое число, $x \in \mathbb{Q}$ – рациональное число, не равное нулю, имеющее нормализованную форму представления $x = p^k (r/s)$.

Надо: коэффициенты a_j его p -адического представления в виде степенного ряда (2).

Начало

$$r_1 / s_1 := r / s$$

$$j := 0$$

цикл до тех пор, пока не обнаружен период повторения последовательности a_j

$$a_{n+j} := |r_{j+1}/s_{j+1}|_p$$

$$r_{j+2}/s_{j+2} := 1/p(r_{j+1}/s_{j+1} - a_{n+j})$$

$$j := j+1$$

конец цикла

Конец

Здесь $|r_{j+1}/s_{j+1}|_p = |r_{j+1}|_p |s_{j+1}^{-1}|_p$ – наименьший неотрицательный вычет $r_{j+1}/s_{j+1} \pmod{p}$.

Пример: $x = \frac{3}{4}$, $p = 5$. Тогда $x = \frac{3}{4} \cdot 5^0$, $\frac{r_1}{s_1} = \frac{3}{4}$;

$$a_0 = \left| \frac{r_1}{s_1} \right|_p = \left| \frac{3}{4} \right|_5 = |3 \cdot |4^{-1}|_5|_5 = |3 \cdot 4|_5 = |12|_5 = 2 \quad (\text{здесь } |4^{-1}|_5 = 4).^*$$

$$\text{Далее } \frac{r_2}{s_2} = \frac{1}{5} \left(\frac{3}{4} - 2 \right) = \frac{1}{5} \left(-\frac{5}{4} \right) = -\frac{1}{4}; \quad a_1 = \left| \frac{r_2}{s_2} \right|_p = \left| -\frac{1}{4} \right|_5 = | -1|_5 \cdot |4^{-1}|_5|_5 = |4 \cdot 4|_5 = 1;$$

$$\frac{r_3}{s_3} = \frac{1}{5} \left(-\frac{1}{4} - 1 \right) = \frac{1}{5} \left(-\frac{5}{4} \right) = -\frac{1}{4}; \quad a_2 = \left| \frac{r_3}{s_3} \right|_p = \left| -\frac{1}{4} \right|_5 = | -1|_5 \cdot |4^{-1}|_5|_5 = |4 \cdot 4|_5 = 1.$$

В общем случае этот процесс бесконечен, однако периодическое повторение 1 является условием завершения цикла. В этом случае 5-адическое представление числа $\frac{3}{4}$ имеет вид

$.211\dots = .2\bar{1}$ (1 в периоде). Действительно,

$$x = 2 \cdot 5^0 + 1 \cdot 5^1 + 1 \cdot 5^2 + 1 \cdot 5^3 + \dots = 2 + 5(1 + 5 + 5^2 + \dots) = 2 + 5 \cdot \frac{1}{1-5} = 2 - \frac{5}{4} = \frac{3}{4}.$$

Представление отрицательных чисел. Если $x = \sum_{j=n}^{\infty} a_j p^j$, тогда $-x = \sum_{j=n}^{\infty} b_j p^j$, где

$$b_n = p - a_n \text{ и } b_j = (p-1) - a_j \text{ при } j > n.$$

* Если p – простое число, то кольцо вычетов является конечным полем, изоморфным полю Галуа $GF(p)$, в котором каждый элемент b , не равный нулю, имеет обратный по модулю p элемент c , удовлетворяющий уравнению $|bc|_p = |cb|_p = 1$. Здесь c – обратный числу b по модулю p элемент: $|b^{-1}|_p = |c|_p$. При этом

$bc \equiv 1 \pmod{p}$, или $bc - 1 = kp$, $k \in \mathbb{Z}$, $bc = kp + 1$. Отсюда $c = \frac{kp+1}{b}$, причем число k подбирается таким образом, чтобы результат деления был целым числом.

Во всех случаях, в которых $|b^{-1}|_p$ существует, операция деления по модулю p определяется следующим обра-

$$\text{зом: } \left| \frac{a}{b} \right|_p = |ab^{-1}|_p.$$

Например: $\frac{1}{3} = .2313131\dots$ для $p = 5$; $-\frac{1}{3} = .3131313\dots$ для $p = 5$.

Значащие нули остаются без изменения: $\frac{5}{3} = .02313131\dots$ для $p = 5$; $-\frac{5}{3} = .03131313\dots$ для $p = 5$.

Выводы:

1. Определены место и роль p -адической арифметики при проектировании объектов микро- и наносистемной техники, отличительной особенностью которых является иерархическая структура, обуславливающая неприменимость аксиомы измеримости Архимеда и, соответственно, традиционных числовых систем.

2. Обоснована возможность рассмотрения p -адического числа как символической записи (слова) числового кода для рационального числа: эта запись образуется по правилам формирования бесконечной последовательности знаков (цифр), для которой можно выделить конечный период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров В. С., Волович И. В., Зеленев Е. И. p -Адический анализ и математическая физика. М.: Физматлит, 1994.
2. Маврикиди Ф. И. Фракталы: постигая взаимосвязанный мир // Дельфис. Сер. "Грани науки". М.: Дельфис, 2000. № 3 (23). С. 78-85.
3. Кос С. К. A Tutorial on p -adic arithmetic: Technical report // Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA, 2002.

S. A. Kuzmin

P-ADIC BASIS OF CAD MATHEMATICAL SUPPORT OF MICRO- AND NANOSYSTEM TECHNIQUES OBJECTS

The problem of describing objects with a hierarchical structure with p -adic arithmetic is considered. Algorithms for p -adic representation of rational numbers are given.

CAD mathematical support, atomic accuracy technologies, objects with hierarchical structure, non-Archimedean geometry, p -adic numbers

УДК 37.014.1

Д. А. Крупенко

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ПРОГРАММНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ САПР

Рассматривается метод трансляции графической базы данных топологии печатной платы из системы автоматизированного проектирования PCAD в AutoCAD для дальнейшего оформления конструкторской документации на печатные платы.

Графическая база данных, конструкторская документация, AutoCAD, PCAD

Одной из задач, возникающих при использовании системы PCAD, является организация информационного обмена между программными компонентами САПР. Эта задача возникает, в частности, при использовании AutoCAD для выпуска комплекта конструкторской документации.

Эффективность создания конструкторской документации на печатные платы в соответствии с требованиями ЕСКД в системе проектирования AutoCAD во многом зависит от входного файла. Состав и структура входного файла определяются при экспорте графической базы данных из системы автоматизированного проектирования для разработки печатных плат. Внутренние форматы данных систем проектирования PCAD и AutoCAD являются закрытыми, т. е. разработчики этих форматов не предоставляют третьим лицам спецификацию внутренней структуры файлов. В связи с этим необходимо создать алгоритм перехода от одной структуры данных к другой через промежуточный формат [1].

Так как база данных чертежей системы AutoCAD хранится в очень сжатом формате, то программам пользователя непосредственно прочесть эту информацию трудно. Кроме того, различные машинные реализации системы AutoCAD могут использовать различные внутренние форматы для базы данных, подобранные для получения максимальной производительности вычислительной машины, на которой запущена система AutoCAD. Для обмена файлами чертежей между различными машинными реализациями системы AutoCAD, а также между системой AutoCAD и другими программами был определен формат файла «обмена чертежами», *.dxf. Данный формат воспринимается всеми машинными реализациями системы AutoCAD, и существует возможность его преобразования как в их внутренний файл чертежа, так и наоборот [2].

Методика преобразования графической базы данных топологии печатной платы из системы проектирования PCAD должна сопровождаться предварительным анализом структуры файла, чтобы обеспечить в дальнейшем быстрое действие алгоритма формирования конструкторской документации. Наиболее важным фактором при работе алгоритма трансляции графической базы данных топологии печатной платы из системы проектирования PCAD в другую САПР является определение слоев, необходимых для формирования конструкторской документации.

В общем случае для оформления конструкторской документации на двуслойную печатную плату согласно ГОСТ 2.417–91 необходимо изображать слои проводников на обеих сторонах печатной платы, ее контур и контактные площадки [3].

В каждом проекте печатной платы в PCAD обязательно присутствует следующий, стандартный набор слоев:

- Top-проводники на верхней стороне платы (сторона установки компонентов);
- Top Assy – атрибуты на верхней стороне платы (текстовые обозначения компонентов);
- Top Silk – шелкография на верхней стороне платы (позиционные обозначения компонентов);
- Top Paste – графика пайки на верхней стороне платы;
- Top Mask – графика маски пайки на верхней стороне платы;
- Bottom – проводники на нижней стороне платы;
- Bot Mask – графика маски пайки на нижней стороне платы;
- Bot Paste – графика пайки на нижней стороне платы;
- Bot Silk – шелкография на нижней стороне платы;
- Bot Assy – атрибуты на нижней стороне платы;
- Board – границы платы.

С учетом этих факторов можно заключить, что для оформления конструкторской документации на двуслойную печатную плату необходимо из системы проектирования PCAD транслировать в AutoCAD следующие слои: top, top paste, bottom, bot paste, board.

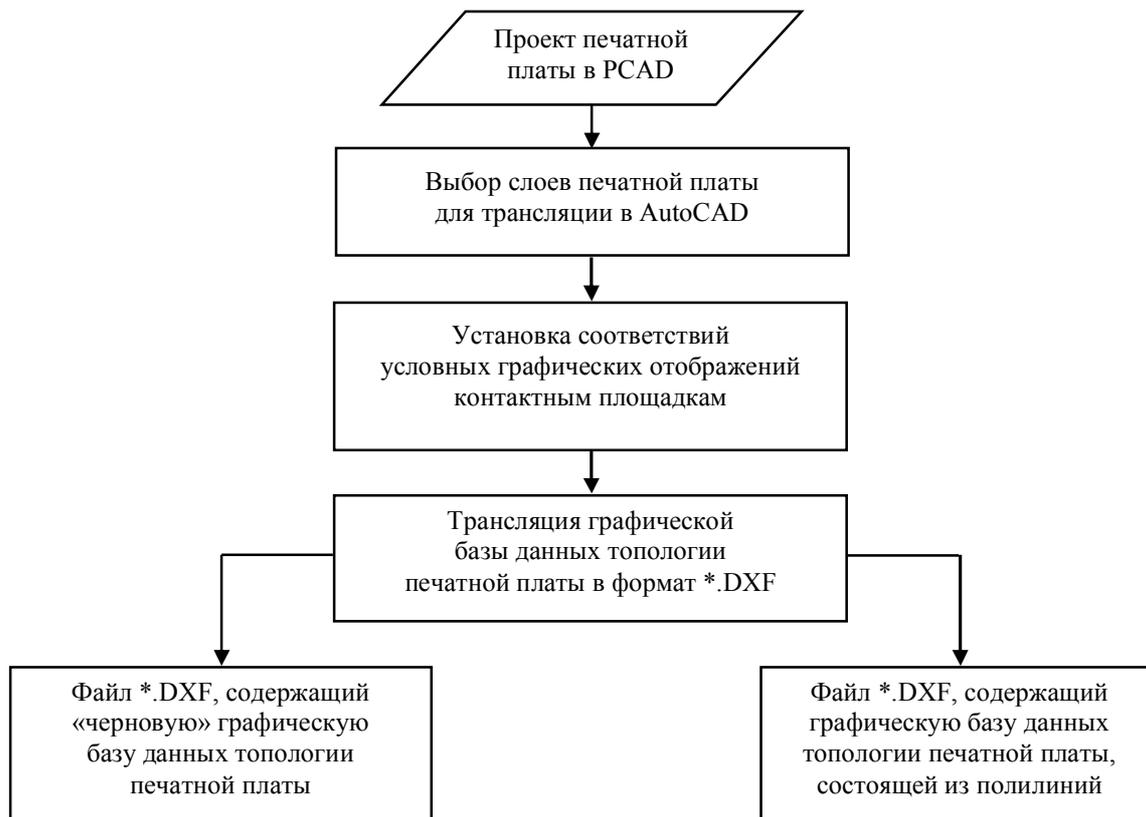
В составе конструкторской документации, как уже отмечалось, согласно ГОСТ 2.417–91 необходимо иметь изображения всех проводящих слоев, т. е. помимо топологии верхней стороны печатной платы должны быть аналогично описаны и слои обратной стороны: слой проводников «bottom» и слой контактных площадок «bot paste». При оформлении конструкторской документации на многослойные печатные платы конструктор должен отобразить в документации также и внутренние слои. В этом случае алгоритм выбора слоев аналогичен выбору слоев верхней и обратной сторон топологии печатной платы, причем обозначения слоев могут быть произвольными, так как конструктор печатной платы сам определяет их количество и имена.

Вторым, не менее важным элементом для понимания топологии печатной платы в конструкторской документации являются контактные площадки для выводных элементов, а также переходные металлизированные отверстия. Согласно требованиям ГОСТ 2.417–91 круглые контактные площадки с отверстиями, в том числе имеющие зенковку, и контактные площадки произвольной формы, размеры которых не указаны, изображают на чертеже одной окружностью. Допускается контактные площадки, в том числе круглые, в зависимости от их размеров изображать на чертеже условно в виде квадрата, прямоугольника, многоугольника и тому подобными условными графическими обозначениями. Размеры и форму контактных площадок указывают в технических требованиях на чертеж [3].

Для ускорения работы алгоритма модификации графической базы данных топологии печатной платы, а также для начала подготовки к оформлению конструкторской документации до стадии трансляции проекта печатной платы в формат dxf можно в системе проектирования PCAD задать условные графические отображения контактных площадок. Следует отметить, что разработчики печатных плат, работая в рассматриваемых системах автоматизированного проектирования, используют при работе различные единицы измерения. Это могут быть как миллиметры, так и дюймы, а при работе в PCAD довольно часто используются тысячные доли дюйма или милы. Следовательно, на следующем шаге методики подготовки проекта печатной платы к трансляции целесообразно откорректировать коэффициент масштабирования условного графического отображения контактных площадок.

Для дальнейшей модификации графической базы данных топологии печатной платы необходимо иметь файл с информацией о ширине проводников, которые могут быть представлены полилиниями с определенными параметрами. Однако использование глобального алгоритма преобразования графической базы данных топологии печатной платы, в которой абсолютно все элементы представлены в виде полилиний, может в значительной степени замедлить его работу в связи с большими объемами информации.

В результате выполнения алгоритма на выходе получаются 2 файла, содержащие топологию печатной платы, из которых затем можно получить изображение топологии печатной платы, оформленное в соответствии с требованиями ЕСКД. На рисунке изображена блок-схема алгоритма трансляции графической базы данных топологии печатной платы из системы проектирования PCAD в AutoCAD с использованием формата *.DXF как промежуточного.



На основе этих данных можно сделать вывод о том, что для создания конструкторской документации на печатные платы в системе проектирования AutoCAD необходимо иметь 2 входных файла. При этом один из них представлен как «черновой» вариант топологии печатной платы, т. е. все элементы печатной платы представлены отрезками, а второй построен полностью из полилиний и содержит информацию о толщинах печатных проводников. Для получения «чернового» представления графической базы данных топологии печатной платы необходимо в главном диалоговом окне параметров трансляции данных в формат *.DXF отметить опцию «draft», в противном случае графическая база данных топологии печатной платы транслируется в формат *.dxf в виде большого количества полилиний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский А. С., Швецов Е. Е. Выпуск конструкторской документации на печатные платы, спроектированные в системе PCAD 200x // Печатный монтаж. 2009. № 1. С. 26–29.
2. Уваров А. С. Выпуск документации на печатные платы, разработанные средствами PCAD 2001 // EDA express. 2002. № 6. Р. 14–18.
3. ГОСТ 2.417–91. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. М.: Изд-во стандартов, 1991.

D. A. Krupenko

METHODS OF THE ORGANISATION OF AN INFORMATION EXCHANGE BETWEEN PROGRAM COMPONENTS OF SYSTEMS OF THE AUTOMATED DESIGNING

In article the offered method of translation of a graphic database of topology of the printed-circuit board from system of automated designing PCAD in AutoCAD, for the further registration of the design documentation on printed-circuit boards is considered

Graphic database, the design documentation, AutoCAD, PCAD

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Описывается подход к проектированию проблемно-ориентированных информационных систем (ИС), основанный на использовании онтологий на всех этапах жизненного цикла, рассматриваются возможные варианты использования онтологий.

Проблемно-ориентированные информационные системы, онтологии, сервисно-ориентированные архитектуры, многоагентные системы

Современный этап развития техники и технологий характеризуется стремительным повышением сложности создаваемых антропогенных и, в частности, информационных систем, что приводит к увеличению их стоимости, удлинению сроков разработки. При этом высокие темпы развития информационных технологий (ИТ) приводят к быстрому моральному старению создаваемых систем. Совокупность перечисленных факторов, в свою очередь, приводит к повышению стоимости и уменьшению эффективности создаваемых ИС. Можно выделить 3 основных подхода к решению данной проблемы, которые обычно используются совместно: повторное использование кода, внедрение гибких (agile) методологий проектирования программных систем и расширение области применения создаваемых ИС.

Повторное использование кода является традиционным подходом к решению задачи уменьшения стоимости разработки, при этом можно выделить следующие типовые приемы: копирование кода, структурное программирование, стандартные библиотеки, объектно-ориентированный подход (ООП), компонентное программирование, сервисно-ориентированные архитектуры (СОА), использование типовых шаблонов (паттернов) проектирования, использование типовых решений (frameworks), аспектно-ориентированное программирование. Второй подход предполагает использование гибких (agile) методологий проектирования, таких, как экстремальное программирование, Scrum, Lean Development, Crystal Methods, Extreme Programming, которые позволяют оперативно отслеживать изменения требований заказчиков (бизнес-правил). Третий подход предполагает расширение области применения создаваемых ИС, т. е. переход от специализированных к проблемно-ориентированным системам, предназначенным для решения некоторого класса задач. В качестве реализации данного подхода можно рассматривать доменные архитектуры (Domain Architectures) и создание линеек продуктов (Software Product Line Engineering) [1].

Следует отметить, что, несмотря на определенные успехи, проблема создания высокоэффективных методологий проектирования ИС очень далека от своего разрешения.

В данной статье предлагается новый подход к проектированию ИС – гибкий (agile) подход, который в дальнейшем будем называть *A*-подходом. Его отличительные особенности:

- развиваемый подход ориентирован на повторное использование не только кода, но и знаний, при этом код рассматривается как один из видов декларативного знания;
- развиваемый подход ориентирован на интеграцию не только приложений, но и технологий;
- в качестве средства накопления знаний используются онтологии.

Принципы построения Agile-приложения. Общие принципы *A*-подхода (своего рода манифест) следующие:

1. Повторное использование знания является предпочтительным по сравнению с повторным использованием кода.
2. Использование готовых технологий (технологий с полки). При этом возможен переход на новые технологии с минимальными потерями.
3. Выигрыш по стоимости разработки на множестве систем, принадлежащих заданному классу систем, важнее, чем выигрыш, получаемый в рамках одного конкретного проекта.
4. Онтология используется, с одной стороны, как средство стандартизации, а с другой – как средство повышения гибкости предлагаемых решений. Знания сохраняются и накапливаются в базе знаний, структура которой является стандартной для соответствующего класса приложений.

В основу *A*-подхода положены 3 основных взаимосвязанных понятия: *A*-система, *A*-приложение, *A*-процесс:

- *A*-система представляет собой проблемно-ориентированную ИС, спроектированную с помощью *A*-процесса и (или) использующую в качестве программного компонента *A*-приложение.

- *A*-приложение представляет собой приложение, являющееся программным компонентом *A*-системы и использующее в качестве составной части онтологию. *A*-приложение имеет в своем составе *A*-модули, которые обладают динамической архитектурой.

- *A*-процесс – это процесс разработки программного обеспечения, ориентированный на широкое использование онтологий, который может быть отнесен к группе agile-процессов.

A-приложение является иерархическим. На верхнем уровне *A*-приложение включает в себя две подсистемы, которые представляют собой контейнеры:

- *B*-подсистему (контейнер), реализующую бизнес-функции, определяющие функциональность системы;

- *A*-подсистему (контейнер), реализующую функции, связанные с управлением архитектурой *B*-подсистемы.

A- и *B*-подсистемы представляют собой контейнеры, которые являются модулями более низкого уровня и могут быть как контейнерами, так и исполнительными модулями.

Модули относятся к одному из пяти типов: *A*-модули, *B*-модули, *AB*-модули, *R*-модули, *V*-модули. *A*-модули поддерживают *A*-интерфейсы, через которые реализуются функции, связанные с agility. Эти модули работают под управлением *A*-контейнера. *B*-модули поддерживают *B*-интерфейсы, через которые реализуются обычные бизнес-функции, которые обеспечивают функциональность системы. Эти модули работают под управлением *B*-контейнера и обладают

статической архитектурой. Они могут выдавать информацию о своем состоянии. *AB*-модули поддерживают оба типа интерфейсов и взаимодействуют как с *A*-, так и *B*-контейнерами. *R*-модули обеспечивают работу с репозиториями, в которых хранятся данные, и реестрами для хранения метаданных. *V*-модули реализуют функции визуализации и взаимодействия с пользователем. Обычно это портлеты.

Основным типом модулей являются *AB*-модули. Это модули с динамической архитектурой; *B*-модули имеют статическую архитектуру; *A*-модули не выполняют бизнес-функций, а реализуют функции управления архитектурой.

A-подход не накладывает никаких ограничений ни на реализацию интерфейсов, ни на реализацию контейнеров. Наибольший практический интерес представляют СОА и мультиагентные реализации, хотя в ряде случаев может оказаться целесообразной реализация на основе компонентных технологий.

Интерфейсы описываются в терминах используемых технологий.

Контейнеры реализуют функции, связанные с интеграцией модулей и управлением жизненным циклом, и, соответственно, должны поддерживать выбранные технологии.

В основу *A*-процесса положены следующие принципы:

1. В качестве основы используется стандартная архитектура, управляемая моделями, более известная как Model Driven Architecture (MDA).
2. В качестве языков описания моделей предлагается использовать 2 языка UML и онтологическое описание OWL, причем возможен переход между этими формами описаний.

Можно выделить 2 типа *A*-приложений: статические и динамические. Статические *A*-приложения – это *A*-приложения, которые создаются посредством использования *A*-процесса, но не используют онтологическое описание в процессе функционирования. Динамические *A*-приложения – это *A*-приложения, которые создаются посредством использования *A*-процесса и, кроме того, используют онтологическое описание в процессе функционирования.

Архитектурные стили, используемые для построения *A*-приложений. Можно выделить следующие архитектурные стили (архитектурные паттерны), которые являются наиболее подходящими для построения *A*-систем: объектные (компонентные) архитектуры (ООА); СОА, многоагентные архитектуры (МАО), комбинированные (смешанные) архитектуры.

Типовая ИС, имеющая ООА, компонуется на основе объектной (компонентной) шины. В качестве бизнес-объектов O_b выступают либо объекты языков высокого уровня (ЯВУ), либо компонентов (COM, CORBA, EJB). Репозиторий и реестр (R&R) являются подсистемами хранения данных (репозиторий) и метаданных (реестр).

A-подсистема представляет собой множество *A*-объектов (O_a), на которые возлагаются функции сбора данных о функционировании системы, сохраняемые в репозитории. Указанные данные могут быть обработаны подсистемой извлечения знаний, которая может быть либо реализована как составная часть *A*-системы, либо как внешняя подсистема. Полученные знания накапливаются в онтологии и используются как пользователями, так и аналитиками.

Возможности управления конфигурацией принципиально существуют, но они достаточно ограничены. Для объектной реализации фактически единственной альтернативой обеспечения гибкости в режиме выполнения является включение в состав системы кода, обеспечивающего поддержку реконфигурации.

COA строится на базе сервисной шины, в качестве которой могут использоваться различные программные продукты, такие, как очереди сообщений, брокеры сообщений; корпоративные шины – Enterprise Service BUS (ESB), сервер процессов, фабрики бизнес-служб [2], исполнительные подсистемы семантического веба [3].

В рамках COA-подхода можно выделить статические и динамические архитектуры. Статические архитектуры работают с brel-файлами, которые интерпретируются brel-процессором. При использовании динамических архитектур бизнес-процессы формируются в динамике, для чего служит специальный процессор. Как статические, так и динамические архитектуры могут поддерживать работу с бизнес-правилами. Статические COA представляет собой совокупность сервисных модулей (*S*-модулей), которые реализуют как бизнес-сервисы (*SA*) и agile-сервисы (*SB*).

С точки зрения реализации *A*-подхода, возможности статических COA, не поддерживающих работу с правилами, аналогичны OOA.

Следующим по сложности решением являются COA, поддерживающие работу с бизнес-правилами. Основная идея состоит во включении в текст brel-файла специального фрагмента, который фактически представляет собой управляемый условный оператор, настраиваемый пользователем. В реальных системах правила хранятся в реляционных базах данных. Для их интерпретации используется специальный процессор правил [2].

Можно выделить 2 альтернативных подхода к построению динамических COA. В рамках «слабого» подхода используются две основные концепции: бизнес-сервисы и композитные бизнес-приложения. Функционирование бизнес-сервисов описывается в терминах предметной области. Композитные приложения строятся на основе бизнес-сервисов в динамике средствами специального процессора (динамического ассемблера), при этом используется модель бизнес-объектов и бизнес-политики. Фабрика позволяет использовать OWL – онтологии для формирования композитных приложений. Ключевым моментом данного подхода следует считать ориентацию на стандартизацию доменных онтологий и, в частности, стандартизацию состава и интерфейсов бизнес-сервисов.

В качестве «сильного» подхода к реализации динамических COA можно рассматривать семантические веб-сервисы (СВС). Идея СВС заключается в стандартизации структуры онтологий, используемых для описания веб-сервисов, которые иногда называют сервисными онтологиями. В качестве стандарта на сегодняшний день принят OWL-S [4].

В настоящее время агентные технологии находят все более широкое практическое применение [3], [4]. Типовая многоагентная система komponуется на основе стандартной агентной платформы. *A*-подсистема представляет собой множество агентов, включающих в себя: персональных помощников (A_p); бизнес-агентов (A_b), отвечающих за реализацию конкретных бизнес-функций; агентов-менеджеров (A_m), отвечающих за реализацию функций, связанных с управлением, в частности, с управлением бизнес-процессами; агентов поддерж-

ки agility (A_a), реализующих функции, связанные со сбором статистики и управлением agility; агентов доступа к данным и метаданным, хранящимся в централизованных реестрах и репозиториях (A_r); агентов поддержки B2B-взаимодействий.

В зависимости от уровня интеллекта можно выделить следующие основные классы агентов: реактивные агенты; агенты, управляемые целями; агенты, архитектуры которых основаны на полезности; обучающиеся агенты.

Простейшими, с точки зрения поведения, являются реактивные агенты, поведение которых обычно описывается в коде агента. Функционирование типового реактивного агента относительно слабо связано с работой со знаниями. С точки зрения возможностей реализации agility, многоагентные системы не имеют каких-либо видимых преимуществ по сравнению с СОА-системами.

Агенты, управляемые целями, реализуют более сложное поведение. Их функционирование описывается в терминах целей, которые должны быть достигнуты. При этом агент выполняет такие действия, как определение желаемого конечного состояния, поиск путей достижения желаемого состояния (формирование плана) и реализация плана. Используя агентов, управляемых целями, можно строить достаточно зрелые agile-системы.

Если сравнивать МАА- и СОА-решения, то можно отметить, что, с точки зрения гибкости приложений, МАА не уступают СВС.

Основным доводом в пользу применения архитектур, интегрирующих агентные и сервисные технологии, является тот факт, что, с одной стороны, МАА безусловно являются более перспективными, а с другой – СОА используются практически повсеместно и поддерживаются всеми основными производителями в плане инструментальных средств. Можно выделить 2 альтернативных подхода к построению комбинированных архитектур: агентно-сервисные архитектуры, сервисно-агентные архитектуры.

В первом случае на верхнем уровне работают агенты, а на нижнем располагаются веб-сервисы. Во втором случае на верхнем уровне работают веб-сервисы, а на агентов возлагается решение отдельных задач. Основная идея агентно-сервисного подхода состоит в использовании на верхнем уровне агентов, обладающих более высокими «интеллектуальными способностями», для управления бизнес-процессами. СОА используются на нижнем уровне, и крайне желательно, чтобы они были стандартизированы на уровне в рамках отрасли или более узких рамках. Сервисно-агентный подход предполагает использование агентных технологий в рамках отдельных подсистем.

Типовые аспекты использования онтологий. Онтологии могут использоваться на всех основных этапах жизненного цикла A -системы.

Можно выделить 2 подхода к использованию онтологий в процессе функционирования ИС: непосредственно для преобразования информации; для управления процессом переработки информации. В первом случае речь идет об онтологически-ориентированных информационных системах, а во втором – о системах, управляемых онтологиями.

В рамках онтологически-ориентированных ИС можно выделить следующие основные подходы к использованию онтологий: в качестве хранилища данных (метаданных); для формирования пользовательского интерфейса из онтологии; для настройки параметров прикладного

программного обеспечения [3], [5]. В рамках систем, управляемых онтологиями, содержимое онтологий может использоваться для формирования бизнес-правил; в процессе функционирования динамических ассемблеров; стандартных онтологических описаний; в процессе функционирования многоагентных систем [проект онт].

На этапе проектирования онтологии могут использоваться аналитиками для анализа задачи проектирования, формирования структур баз данных на базе доменной онтологии, содержимое которой при этом конвертируется в архитектурные описания пользовательских интерфейсов. Конвертация содержимого онтологии в систему правил реализуется, например, средствами Jess.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duffy D. Domain Architectures: Models and Architectures for UML Applications. John Wiley & Sons, 2004.
2. Iyengar A., Jessani V., Chilanti M. WebSphere business integration primer: Process server, BPEL, SCA, and SOA. IBM Press, NJ, 2008.
3. Интеллектуальные агенты, многоагентные системы и семантический Web: концепции, технологии, приложения / Д. В. Пузанков, В. И. Мирошников, М. Г. Пантелеев, А. В. Серегин. СПб.: ООО «Технолит» / Изд-во «Технолит», 2008.
4. Walton C. Agency and the Semantic Web. N. Y.: Oxford University Press Inc., 2007.
5. Calero C., Ruiz F., Piattini M. Ontologies for Software Engineering and Software Technology. Springer-Verlag, 2006.

A.I. Vodyaho, N.A., Zhukova, M. G. Panteleev, D. V. Puzankov

ONTOLOGICAL APPROACH TO AGILE DOMAIN-ORIENTED INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT

The paper discusses an approach to agile domain-oriented information system development based on usage of ontologies. Possible aspects of ontology usage in frames of agile information systems are discussed.

Domain oriented information system, ontology, service-oriented architecture, multi-agent systems

УДК 004.492.3

А. К. Большев, А. Р. Лисс

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ

Предлагается подход к обнаружению вторжений на основе одноклассовой классификации с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). Рассматривается возможность применения метода главных компонент для редукции пространства признаков с целью повышения быстродействия системы. Проводится исследование полученной модели на модельных данных KDD Cup Data '99.

Безопасность компьютерных сетей, метод главных компонент (РСА), искусственные нейронные сети, системы обнаружения вторжений

Для защиты современных сетей все большую популярность приобретают решения на основе эвристических систем обнаружения вторжений (Heuristic Network Intrusion Detection Systems, HNIDS). Системы такого типа обучаются на «нормальном» трафике целевой сети и

в случае обнаружения отклонений сообщают об атаке или аномалии. Основными критериями оценки таких систем являются:

- CR – количество корректно распознанных аномальных и нормальных пакетов;
- FP (False Positive) – количество нормальных пакетов, принятых за аномальные;
- PPs (Packet per second) – максимальное количество пакетов, которое система может обработать за 1 с на этапе тестирования;
- устойчивость системы (ξ) – процент отрицательных векторов в обучающей выборке, при котором система начинает работать нестабильно;
- T – время, необходимое для обучения системы;
- FN (False Negative) – количество аномальных пакетов, принятых за нормальные.

Достоинствами HNIDS являются возможность обнаружения неизвестных атак и аномалий, а также слабая зависимость скорости работы от объема базы знаний системы. К сожалению, современные HNIDS обладают некоторыми недостатками:

- скорость работы на этапах тестирования и обучения невысока;
- невозможность получения чистых выборок положительного и отрицательного трафика ведет к вынужденному обучению только на положительном трафике при наличии слабого шума.

Решить указанные проблемы можно с помощью HNIDS, которые обучаются только на положительных (неаномальных) данных. Методы, применяемые в таких системах, могут быть основаны на одноклассовой классификации с использованием устойчивых к переобучению алгоритмов.

Задача одноклассовой классификации формулируется следующим образом: пусть A – полное множество объектов, а X – некоторое подмножество A . Существует отображение $y^*: X^m \rightarrow 1, P(X^m \in X) \rightarrow 1$. Требуется построить алгоритм $a: X \rightarrow 1$ и $a: (A \setminus X) \rightarrow 0$. В терминах предметной области обнаружения вторжений это выглядит следующим образом: имея обучающую выборку пакетов положительного трафика X^m , построить алгоритм, который переведет попадающий на сенсоры пакет в 1, если он неаномальный, и в 0, если он аномальный.

Использование ИНС в качестве одноклассового классификатора может обеспечить устойчивость к шуму в обучающей выборке и высокую скорость на этапе тестирования [1].

Применение ИНС к обнаружению вторжений. Рассмотрим многослойный перцептрон (МП) – нейронную сеть прямого распространения, состоящую из входного, выходного и нескольких внутренних слоев. Обучение нейронной сети на основе только положительных примеров было впервые рассмотрено в работе Маневича и Юсуфа [2]. Далее описан модифицированный автором метод одноклассовой классификации на основе МП. Выберем некую метрику P , которая описывает расстояние между векторами (в качестве расстояния можно взять евклидово или Чебышева). Построим МП с m входными нейронами, h нейронами скрытого слоя и n выходными нейронами, при этом скрытый слой имеет сигмоидальную функцию активации, выходной – линейную. Для обучения по методу обратного распростра-

нения будем использовать обучающую выборку \mathbf{X}_n вида $\{(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1), \dots, (\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_n)\}$. Другими словами, построенная ИНС будет работать как адаптивный фильтр, который, приняв входной сигнал (вектор), должен без искажений передавать его на выход. Таким образом, для векторов, похожих на векторы обучающей выборки, расстояние $\mathbf{P}(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) \rightarrow 0$, где \mathbf{y}_i – выходной вектор ИНС при поступлении на вход вектора \mathbf{x}_i . После обучения, если выбрана нестандартная метрика \mathbf{P} , нужно пропустить всю обучающую выборку через ИНС и получить пороговое значение

$$\text{thres} = (1 + \theta) \max_{\forall i \in (1, n)} \mathbf{P}(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i),$$

где θ – пороговый коэффициент. Далее, чтобы узнать, является ли произвольный вектор \mathbf{x} положительным, достаточно получить посредством ИНС вектор \mathbf{y} и проверить, не превышает ли порог thres значение $\mathbf{P}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$. Одноклассовый классификатор на базе ИНС обладает следующими важными характеристиками [3]:

- высокой производительностью и низкими аппаратными требованиями на этапе тестирования;
- низкой чувствительностью к шуму;
- высокими аппаратными требованиями и временными затратами на этапе обучения.

Существенным недостатком данного подхода являются высокие временные затраты на этапе обучения. Имея выборку размером в 2...3 млн векторов и размерность пространства $m = 41$ ИНС будет обучаться несколько суток. Необходимо разработать подход, который снижал бы временные и аппаратные затраты на этапе обучения. Одно из возможных решений проблемы – использование методов сокращения размерности обучающей выборки, что приведет к уменьшению количества нейронов в ИНС и увеличит скорость обучения. Рассмотрим одну из методик такого преобразования – метод главных компонент (РСА).

Метод главных компонент. РСА (Principal Component Analysis) – одно из основных средств уменьшения размерности данных с потерей наименьшего количества информации. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных.

Пусть имеется матрица переменных \mathbf{X} размером $N \times M$, где N – число образцов (строк), а M – число независимых переменных (столбцов). В методе главных компонент используются новые, формальные переменные \mathbf{t}_a ($a = 1, \dots, M'$), являющиеся линейной комбинацией исходных переменных \mathbf{x}_j ($j = 1, \dots, M$):

$$\mathbf{t}_a = \mathbf{p}_{a1}\mathbf{x}_1 + \dots + \mathbf{p}_{aJ}\mathbf{x}_J.$$

С помощью новых переменных матрица \mathbf{X} разлагается в произведение двух матриц \mathbf{T} и \mathbf{P} :

$$\mathbf{X} = \mathbf{TP} + \mathbf{E} = \sum_{a=1}^{M'} \mathbf{t}_a \mathbf{p}_a + \mathbf{E}.$$

Матрица \mathbf{T} называется матрицей счетов (scores) размером $N \times M'$, матрица \mathbf{P} – матрицей нагрузок (loadings) размером $M \times M'$, \mathbf{E} – матрица остатков размером $N \times M$. Новые переменные \mathbf{t}_a называются главными компонентами, а сам метод – методом главных компонент. Число столбцов (\mathbf{t}_a в матрице \mathbf{T} , и \mathbf{p}_a в матрице \mathbf{P}) равно M' и называется числом главных компонент. Это значение заведомо меньше числа переменных M и числа образцов N .

После того как построено пространство из главных компонент, новые образцы \mathbf{X}_{new} могут быть на него спроецированы, иными словами – определены матрицы их счетов \mathbf{T}_{new} . В методе PCA это делается просто:

$$\mathbf{T}_{\text{new}} = \mathbf{X}_{\text{new}} \mathbf{P}^T.$$

Размерность результирующего пространства будет зависеть от числа выбранных главных компонент. Например, выбрав 5 главных компонент исходного пространства размерностью $M = 10$, можно редуцировать размерность пространства до $M' = 5$.

Теперь, объединив одноклассовый классификатор с методом редукции пространства, можно построить модель эвристической системы обнаружения вторжений. Описанная далее модель предназначена для работы на наборах трафика KDD Cup 1999. Такая специализация использовалась намеренно, для сравнения эффективности работы данной модели с моделями других авторов.

Модель системы. На этапе тестирования модель системы можно представить в следующем виде (\mathbf{v} – произвольный входной вектор):

$$\mathbf{F}(\mathbf{v}) = \mathbf{D}(\text{ИНС}(\mathbf{v}\mathbf{P}^T), \mathbf{v}),$$

где \mathbf{D} – функция расстояния; \mathbf{P} – матрица главных компонент; ИНС – одноклассовый классификатор на базе МП. Если $\mathbf{F}(\mathbf{v}) > \text{thres}$, то \mathbf{v} – аномален, иначе – нормален. Этап обучения в данной модели будет состоять из нахождения параметра thres , который может быть описан в виде (\mathbf{V}_N^M – входная выборка):

$$\text{thres} = \max_{\forall i \in (1, N)} \mathbf{D}(\text{ИНС}(\mathbf{v}_i \mathbf{P}^T), \mathbf{v}_i).$$

Исследование модели проводилось в среде Octave с применением библиотеки FANN для реализации ИНС. В качестве обучающей выборки использовался 6 %-й случайный KDD Cup '99 training set¹, в качестве тестовой – 30 %-й случайный KDD Cup '99 test set.

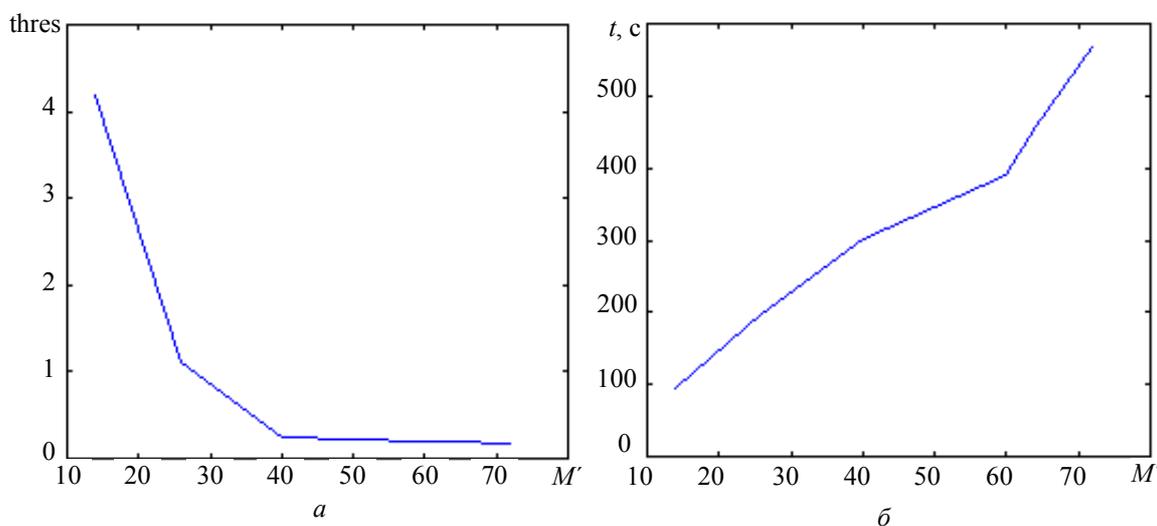
Результаты исследования представлены в таблице.

Здесь в качестве параметров ИНС приведены: количество нейронов скрытого слоя, η , μ ; а w_{\min} – минимальный вес компоненты. Видно, что даже при $w_{\min} = 10^{-4}$, достигаются хорошие результаты по обнаружению аномальных векторов.

¹ <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>

Модель (h, η, μ), w_{\min}	CR, %	FP, %	FN, %	t , с
ИНС (32, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 0$	96.63	0	3.37	568
ИНС (30, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 1.0 \cdot 10^{-5}$	96.63	0	3.37	457
ИНС (28, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 1.0 \cdot 10^{-4}$	92.78	0	7.22	389
ИНС (20, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 1.0 \cdot 10^{-3}$	75.43	0.010	24.56	301
ИНС (14, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 0.01$	56.24	0.002	43.76	197
ИНС (10, 0.03, 0.003), $w_{\min} = 0.01$	56.54	0.110	43.35	94
Эталонные модели				
Геометрический подход (Эскин [4])	89	10	1	319
fpMafia (Леки [5])	90.2	5.4	4.6	351

Зависимость порога от новой размерности пространства представлена на рисунке, а. Из рисунка, б можно сделать вывод, что время обучения почти линейно зависит от количества выбранных компонент.



Для сравнения в таблице приведены результаты испытаний моделей геометрического подхода Эскина и Арнольда [4] и метода fpMafia Кристофера Леки [5]. Если не уменьшать размерность пространства, то результаты модели намного превосходят показатели эталонных моделей, что в свою очередь компенсируется очень большим временем обучения. При сокращении пространства до 35 (28 нейронов скрытого слоя) результаты модели сопоставимы с эталонными, при этом затраты времени при обучении заметно сокращаются, а количество ложных срабатываний на положительных векторах по-прежнему стремится к нулю.

Итак, показано, что комбинация ИНС и метода главных компонент способна эффективно обнаруживать вторжения (при этом количество ложных срабатываний на положительных векторах стремится к нулю); разработанная модель превосходит эталонные по критериям обнаружения и сопоставима с ними по времени обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. С. 33.
2. Larry M. Manevitz M. Y. Document Classification on Neural Networks Using Only Positive Examples / University of Haifa. Haifa, 2005.
3. Большев А. К., Яновский В. В. Применение нейронных сетей для обнаружения вторжений в компьютерные сети // Вестник СПб. ун-та. Сер. 10 «Прикладная математика, информатика, процессы управления». 2009. Вып. 4. С. 38–44.
4. Eskin E., Arnold A., Portnoy L. A Geometric Framework for Unsupervised Anomaly Detection: Detecting Intrusions in Unlabeled Data. N. Y.: Columbia University Press, 2001.

5. Leung K., Leckie C. Unsupervised anomaly detection in network intrusion detection using clusters // Proc. of the Twenty-eighth Australasian conf. on Computer Science, Australian Computer Society, Inc. Newcastle, 04.02.2005. Vol. 38. P. 333–342.

A. K. Bolshev, A. R. Liss

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND DIMENSIONALITY REDUCTION METHODS FOR NETWORK INTRUSION DETECTION

Intrusion detection model based on one-class classification via artificial neural network is proposed. Model dimensionality reduction through principal component analysis is reviewed. Developed model is being simulated over «KDD Cup Data '99» modeling data.

Network security, principal component analysis, artificial neural networks, intrusion detection systems

УДК 004.93.14

Г. А. Кухарев, Е. И. Каменская

НОВЫЙ МЕТОД ДВУМЕРНОГО КАНОНИЧЕСКОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ

Представлен новый метод двумерного канонического корреляционного анализа (Canonical Correlation Analysis – CCA), ориентированный на обработку цифровых изображений.

Канонический корреляционный анализ (ССА), распознавание лиц, редукция размерности пространства признаков

В задачах распознавания образов важными характеристиками являются размерность (DIM) исходного признакового пространства и количество образов K . В задачах распознавания изображений лиц DIM определяется размерами исходных изображений: $DIM = M \times N$, где M и N – число строк и столбцов. При этом обычно $DIM \gg K$, что называют проблемой малой выборки (Small Sample Size – SSS [1], [2]). Применение ССА в приложении к задачам распознавания изображений возможно только в случае, когда выполняется условие

$$DIM < K. \quad (1)$$

Методология ССА в приложении к распознаванию изображений основана на двух подходах, связанных, с одной стороны, с обеспечением выполнения условия (1), а с другой – с возможностью использования базового метода ССА, ориентированного изначально на обработку векторных данных, представляющих каждый образ [3]–[7].

Цель настоящей статьи – представить новый метод ССА. Предлагаемый метод реализуется по каскадной схеме вычислений: в первом каскаде обрабатывается ССА строк, а во втором – ССА столбцов по результатам первого каскада (или наоборот – сначала столбцов, а потом строк результата). При этом определяются 2 взаимосвязанных собственных базиса, и проекция исходных изображений в пространство канонических переменных (ПКП) реализуется на основе двумерного преобразования в этих новых (взаимосвязанных) базисах.

Идея и реализация нового метода двумерного ССА (2D ССА). Пусть заданы 2 набора, состоящие из K изображений размером $M \times N$ пикселей каждое:

$$X = [X^{(1)} X^{(2)} \dots X^{(K)}] \text{ и } Y = [Y^{(1)} Y^{(2)} \dots Y^{(K)}], \quad (2)$$

где $X^{(k)}, Y^{(k)}$ ($k = 1, \dots, K$) – пары изображений, причем $MN \gg K$.

Целью 2D ССА является нахождение четырёх матриц проекции W_{x_1} и W_{y_1} , W_{x_2} и W_{y_2} и выполнение двумерной проекции изображений $X^{(k)}$, $Y^{(k)}$ в ПКП, где соответствующие пары переменных будут связаны устойчивой корреляцией, отсутствующей, как правило, между изображениями в (2).

Стратегия «каскадного ССА» схематически представлена на рис. 1. На первом этапе базовая процедура ССА выполняется относительно строк исходных данных, входящих в наборы X и Y . Этап заканчивается вычислением матриц проекции W_{x_1} и W_{y_1} , выполнением проекции исходных данных в ПКП и формированием наборов переменных U_1 и V_1 . При этом в наборах U_1 и V_1 каждый блок переменных размером $M \times N$ представляет собой результат проекции каждого отдельного изображения из исходного набора данных.

Второй этап начинается с реорганизации переменных U_1 и V_1 в новые наборы данных. Реорганизация реализуется блоком «R» и основана на транспонировании всех отдельных матриц-результатов размером $M \times N$ в наборах U_1 и V_1 и составлении новых наборов данных – \tilde{U}_1 и \tilde{V}_1 .

Далее выполняется базовая процедура ССА также относительно строк реорганизованных данных в \tilde{U}_1 и \tilde{V}_1 . При этом вычисляются новые матрицы проекций W_{x_2} и W_{y_2} , с помощью которых выполняется проекция \tilde{U}_1 и \tilde{V}_1 в новое ПКП. Результат проекции представлен на рис. 1 составами переменных \tilde{U}_2 и \tilde{V}_2 . Поскольку данные в \tilde{U}_1 и \tilde{V}_1 реорганизованы процедурой транспонирования, то фактически ССА на этом этапе выполняются для столбцов матриц-результатов первой проекции. Этап заканчивается процедурой реорганизации канонических переменных в наборах \tilde{U}_2 и \tilde{V}_2 с получением наборов U_2 и V_2 , в которых каждая матрица-результат будет представлена в системе координат, соответствующей исходным данным – т. е. наборам X и Y .

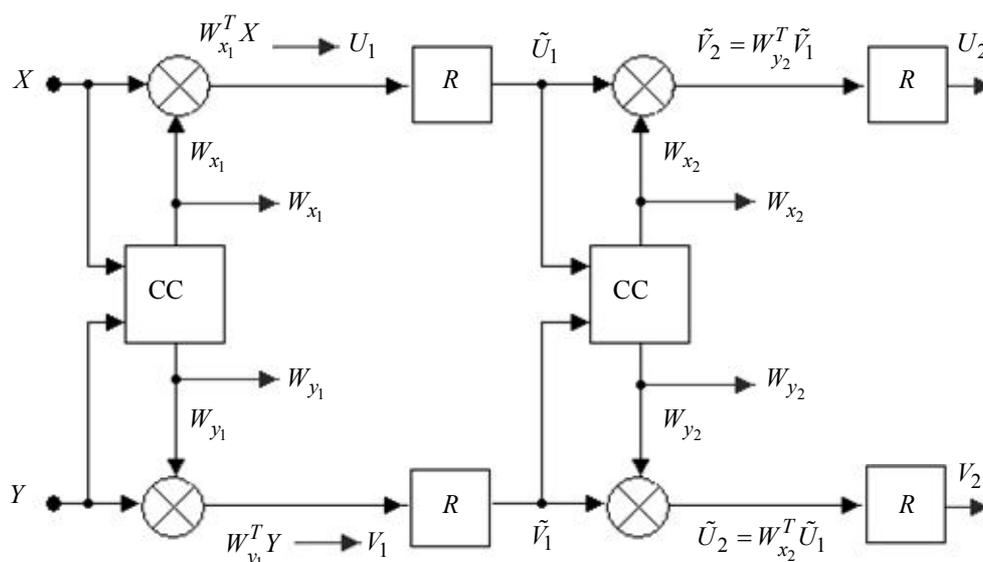


Рис. 1

В результате выполненного канонического корреляционного анализа получаем 4 матрицы проекции: W_{x_1} и W_{y_1} , W_{x_2} и W_{y_2} и 2 набора канонических переменных со структурой, соответствующей исходным данным.

В компактной форме «модель каскадного ССА» можно представить таким образом:

$$\{X, Y\} \xrightarrow{\text{CCAr}} \{U_1, V_1\} \xrightarrow{R} \{\tilde{U}_1, \tilde{V}_1\} \xrightarrow{\text{CCAr}} \{\tilde{U}_2, \tilde{V}_2\} \xrightarrow{R} \{U_2, V_2\} \quad (3)$$

Отдельную матрицу-результат из (3) можно получить для каждого исходного изображения:

$$U_2^{(k)} = W_{x_1}^T X^{(k)} W_{x_2}; V_2^{(k)} = W_{y_1}^T Y^{(k)} W_{y_2}, \forall k = 1, 2, \dots, K. \quad (4)$$

В выражении (4) отчетливо выражен метод двумерной проекции исходных данных, а, поскольку эта проекция выполнена как двумерное преобразование в базисе собственных функций, то ее можно рассматривать как процедуру двумерного преобразования Карунена–Лоэва (2D KLT).

Редукция размерности. Для редукции размерности процедуру (4) необходимо модифицировать так, чтобы в проекции участвовали только те собственные векторы, которые соответствуют « d » главным компонентам [8]. Для этого из матриц $[W_{x_1}]^T$ и $[W_{y_1}]^T$ выберем « d » строк, соответствующих « d » наибольшим собственным значениям, и на их основе сформируем матрицы редукции F_{x_1} и F_{y_1} ; из матриц W_{x_2} и W_{y_2} выберем « d » столбцов, соответствующих « d » наибольшим собственным значениям, и на их основе сформируем матрицы F_{x_2} и F_{y_2} .

Теперь «усеченное» 2D KLT можно представить в следующей форме:

$$\hat{U}_2^{(k)} = F_{x_1}^T X^{(k)} F_{x_2}; \hat{V}_2^{(k)} = F_{y_1}^T Y^{(k)} F_{y_2}, \forall k = 1, 2, \dots, K. \quad (5)$$

Результирующие матрицы $\hat{U}^{(k)}$, $\hat{V}^{(k)}$ в (5) имеют в общем случае размеры $d_1 \times d_2$ и представляют исходные изображения в ПКП.

Оценка характеристик нового метода. Представленный метод двумерного канонического корреляционного анализа (2D ССА) имеет следующие характеристики:

1. ССА выполняется по двум направлениям относительно системы координат исходных данных и реализуется по каскадной схеме в 2 этапа на основе базовых процедур канонического корреляционного анализа.

2. На первом этапе ССА выполняется относительно строк исходных данных, а результат реорганизуется транспонированием входящих в него матриц-результатов размером $M \times N$ и подается на вход второго этапа ССА; на втором этапе ССА выполняется также для строк реорганизованных данных, что фактически приводит к выполнению ССА относительно столбцов системы координат исходных данных; полученный результат реорганизуется еще раз, что позволяет представить его в системе координат, соответствующей исходным данным.

3. Отдельная матрица-результат в ПКП может быть получена на основе двумерного преобразования Карунена–Лоэва в соответствии с соотношением (4) или (5). Матрицы $\hat{U}^{(k)}$, $\hat{V}^{(k)}$ в (5) содержат по d^2 элементов, что меньше размера исходного изображения в MN/d^2 раз. Степень редукции размерности пространства признаков будет определяться соотношением MN/d^2 .

4. Наибольший порядок матриц ковариации при реализации базовой процедуры ССА равен $\max\{M, N\}$, что предопределяет практическую возможность решения задач (4) на собственные значения и стабильность этого решения даже для изображений, отвечающих стандарту* по размерам.

5. Наконец, в новом методе ССА также решается проблема SSS [1], когда $\text{DIM} > K$.

Эксперименты на изображениях базы FERET. Для целей первого эксперимента подготовлена база [2], [8], составленная из изображений лиц мужчин и женщин, выделенных из портретов базы FERET [9]. Каждое изображение имеет размер 224×184 пикселей, который не будет изменяться в рамках всего эксперимента. База состоит из двух групп. Группы имеют структуру (2), где $K = 100$. Каждой паре изображений $X^{(k)}$ и $Y^{(k)}$ одной группы соответствует пара изображений другой группы, которые отличаются мимикой лица и небольшими изменениями размеров и ориентации головы. Одна группа базы предназначена для «обучения», а другая выполняет функцию тестовых образов (и наоборот).

В формулировке задачи поиска база изображений [2], [8] содержит 100 пар образов-эталонов, а в качестве тестовых использованы 100 образов «X» и 100 образов «Y». Результат считался правильным, если на первом месте ($\text{rank} = 1$) в группе результатов поиска находился образ из того же класса, что и тестовый образ. Текущие результаты в эксперименте оценивались как отношение количества правильно классифицированных тестовых образов к общему числу тестовых образов. Классификация выполнена по критерию минимума расстояния (КМР) на основе метрики L_1 (КМР/ L_1). Размер переменных в ПКП составил $d \times d$. Модель выполненного эксперимента имеет вид [2], [8]:

$$\text{FERET}(100/1_x + 1_y/1_x + 1_y)\{224 \times 184 \rightarrow 2D \text{ ССА: } d \times d / \text{КМР}/L_1/\text{rank} = 1\},$$

где 2D ССА реализовано по методу [8] и новому методу (NEW).

Результаты тестов классификации и поиска образа «X» по образу «Y» (и наоборот) для обоих методов и значений $d = 1, 2, \dots, 16$ показаны в таблице. Попробуем качественно оценить представленные результаты в сравнении с другим методом. Для этого решим задачу классификации, используя вместо ССА процедуру двумерного дискретного преобразования Фурье (2D DFT [10]). Выбор этого метода обусловлен тем, что в 2D DFT трансформация исходных изображений в новое пространство признаков (спектральное) также выполняется на основе строчно-столбцового метода преобразования по процедурам, аналогичным (4) и (5).

Метод	База FERET(100/(1+1)/1)													
	D	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	mean
[8]	Тест «X → Y»	87	89	90	91	91	91	91	91	90	90	89	88	89.8
	Тест «Y → X»	85	87	87	88	89	91	91	90	90	88	87	86	88.2
NEW	Тест «X → Y»	89	90	91	92	93	93	93	93	92	92	92	92	91.8
	Тест «Y → X»	88	88	90	92	93	93	92	92	92	92	92	92	91.3

Для улучшения репрезентативности результатов эксперименты выполнены для переменного количества пар образов, начиная со значения $K = 2$. Модели экспериментов примут при этом следующий вид:

* ISO/IEC JTC 1/SC 37 N 506: Biometric Data Interchange Formats, Part 5: Face Image Data – www.icao.int/mrtd/download/technical.cfm.

$\text{FERET}(2 \div K / 1_x + 1_y / 1_x + 1_y) \{ \text{CCArc}: 224 \times 184 \rightarrow 10 \times 10 / \text{KMP} / L_1 / \text{rank} = 1 \};$
 $\text{FERET}(2 \div K / 1_x + 1_y / 1_x + 1_y) \{ 2\text{D CCA}: 224 \times 184 \rightarrow 10 \times 10 / \text{KMP} / L_1 / \text{rank} = 1 \};$
 $\text{FERET}(2 \div K / 1_x + 1_y / 1_x + 1_y) \{ 2\text{D DFT}: 224 \times 184 \rightarrow 10 \times 10 / \text{KMP} / L_1 / \text{rank} = 1 \};$

где K – число семейных пар ($K = 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, \dots, 100$); $d = 10$.

На рис. 2 представлены результаты методов «New 2D CCA» и «CCArc», на рис. 3 – результаты взаимного распознавания « $X \leftrightarrow Y$ ». Ось ординат определяет результат правильной классификации образов (в процентах), а ось абсцисс – текущее значение параметра K – числа классов (семейных пар) в базе. Знаками « \square » и « Δ » на рис. 2 отмечены результаты для нового метода 2D CCA и метода CCArc соответственно. Знаки « \square » и « \bullet » на рис. 3 соответствуют результатам для нового метода 2D CCA и 2D DFT.

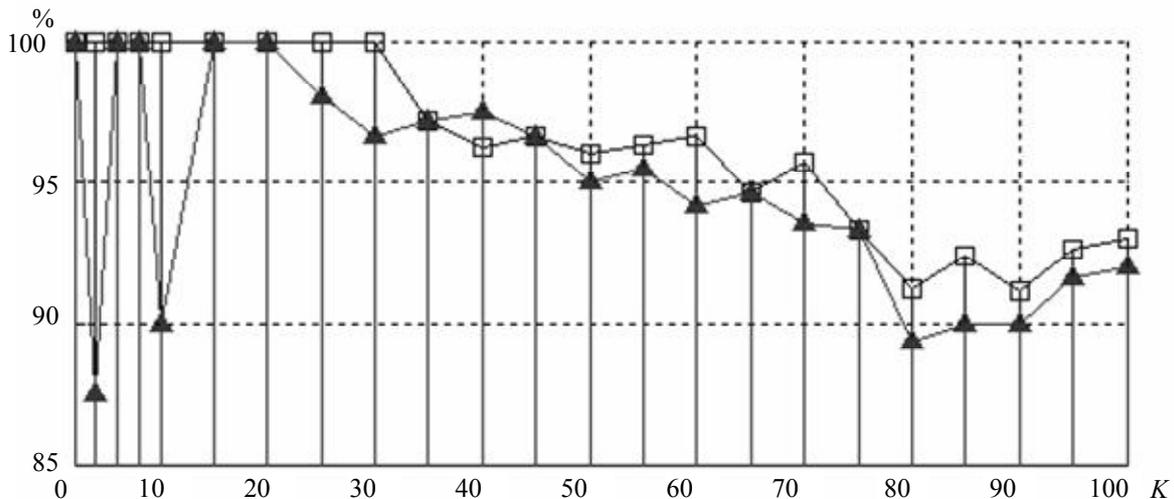


Рис. 2

Новый метод 2D CCA дает более стабильные результаты в сравнении с методом CCArc [8] и обеспечивает значительно более высокие результаты, чем метод, основанный на 2D DFT. Это отличие заметно в обоих случаях уже при значениях $K > 4$. С ростом числа классов разрыв в результатах между новым методом 2D CCA и методом 2D DFT увеличивается до 33 % при $K = 100$.

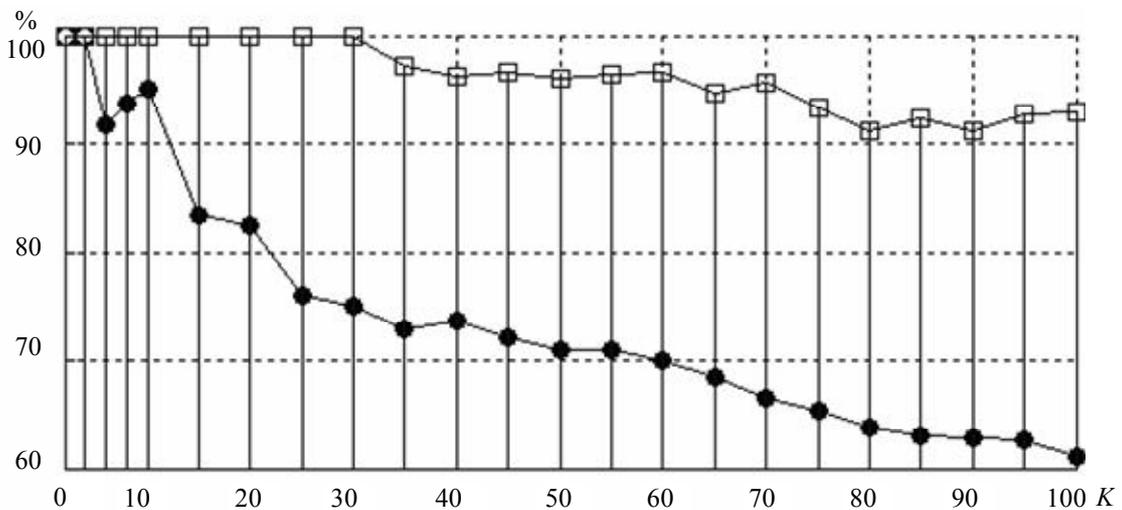


Рис. 3

Выводы. В статье представлен новый метод 2D ССА, ориентированный на обработку цифровых изображений. Результаты экспериментов свидетельствуют о высокой эффективности предложенного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zou Cai-rong, Sun Ning, Ji Zhen-hai, Zhao Li. 2DCCA: A Novel Method for Small Sample Size Face Recognition // IEEE Workshop on Application of Computer Vision. 2007. WACV'07. P. 43–47.
2. Kukharev G., Kamenskaya E. Two-Dimensional Canonical Correlation Analysis for Face Image Processing and Recognition // Metody informatyki stosowanej. 2009. Vol. 18, № 3. P. 103–112.
3. Hotelling H. Relations between two sets of variates. Biometrika 28. 1936. P. 321–377.
4. Fast Active Appearance Model Search Using Canonical Correlation Analysis / R. Donner, M. Reiter, G. Langs et al. // IEEE Transaction on PAMI. 2006. Vol. 28, № 10. P. 1960–1964.
5. Face Matching Between Near Infrared and Visible Light Images / Dong Yi, Rong Liu, RuFeng Chu et al. // Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4642. P. 523–530.
6. Kamenskaya E., Borawski M., Szaber M. Visible and Infrared Recognition using Canonical Variables // Polish Journ. of Environmental Studies. 2009. Vol. 18, № 3B. P. 39–43.
7. Lee Sun Ho, Choi Seungjin. Two-Dimensional CCA // IEEE Signal Processing Letters. 2007. Vol. 14, № 10. P. 735–738.
8. Кухарев Г. А., Каменская Е. И. Двумерный канонический корреляционный анализ в приложении к обработке изображений лиц // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 1. С. 23–29.
9. The FERET database and Evaluation Procedure for Face Recognition algorithms / P. J. Philips, H. Wechler, J. Huang, P. Rauss // Image and Vision Computing. 1998. Vol. 16, № 5. P. 295–306.
10. Кухарев Г. А., Щеголева Н. Л. Системы распознавания человека по изображению лица. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.

G. A. Kukharev, E. I. Kamenskaya

NEW TWO-DIMENSIONAL CANONICAL CORRELATION ANALYSIS METHOD FOR FACE RECOGNITION TASKS

In this paper the new method of two-dimensional Canonical Correlation Analysis (CCA) is represented in application to image processing.

Canonical Correlation Analysis (CCA), face recognition, feature space reduction

УДК 007:681.512.2

А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, М. Г. Пантелеев

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И НАСЛЕДОВАНИЕ ЗНАНИЙ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Предлагается подход к проектированию информационных систем (ИС), позволяющий получить положительный эффект при проектировании нескольких семейств ИС, ориентированных на заданную проблемную область. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является использование онтологических описаний на всех этапах жизненного цикла ИС.

Проектирование проблемно-ориентированных информационных систем, онтологии, архитектура информационных систем

В последние годы отмечается быстрый прогресс в области информационных технологий (ИТ), причем постоянно меняются бизнес-требования, предъявляемые к ИС как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации. При этом стоимость сопровождения ИС очень высока, наблюдается дефицит квалифицированных исполнителей и жесткая конку-

рентная борьба за заказы на рынке ИС. Перечисленные факторы приводят к необходимости поиска путей радикального повышения эффективности создаваемых ИС, прежде всего в плане уменьшения стоимости их создания, поддержания и модернизации.

Можно выделить, в частности, следующие проблемы, стоящие на пути дальнейшего повышения эффективности создания и эксплуатации ИС:

1. Широко используемые методы agile-проектирования ориентированы, в первую очередь, на максимально быстрое получение работоспособного кода, что, естественно, не самым положительным образом влияет на стоимость сопровождения и возможность повторного использования кода.

2. В качестве стандартных средств архитектурного описания ИС в настоящее время используются MDA и UML, которые недостаточно хорошо подходят для описания множества альтернативных решений [1].

3. Время жизни конкретного изделия и время жизни отдельной ИТ становятся сопоставимыми, и достаточно часто возникает ситуация, когда каждый новый продукт, входящий в состав семейства, или дополнительные функциональные модули реализуются уже на новых платформах.

Описанную ситуацию можно улучшить, если перенести центр тяжести проектирования (моделирования) на более высокий, платформенно-независимый уровень, содержащий механизмы накопления опыта предыдущих разработок. Решить перечисленные выше проблемы можно посредством использования механизмов работы со знаниями. На сегодняшний день стандартом для представления знаний являются онтологии, представленные в формате OWL [2]. Использование других подходов вряд ли целесообразно.

Следует отметить, что метамодели и онтологии имеют много общего, в частности, предполагают использование одних и тех же языков, но их назначение и характеристики существенно различны. Как утверждается в [1] (и с этим можно согласиться), разница состоит в том, что онтология описывает проблемы, принадлежащие некоторой предметной области, а метамодель описывает множество вариантов решения проблемы.

Наиболее прагматичным представляется подход, предполагающий использование двух параллельных описаний: онтологического и MDA-UML-описания. При этом UML используется в качестве языка представления, а OWL-онтологии – в качестве средства описания окружающей среды и описания множества возможных архитектурно-структурных решений.

Следует отметить, что вопросы прямого и обратного преобразований между двумя упомянутыми описаниями достаточно давно и активно прорабатываются, при этом уже доступны такие средства, как Metadata Interchange (XMI); Ontology Definition Metamodel (ODM); UML Profile (OUP), который позволяет создавать онтологии средствами UML.

В качестве выхода из сложившейся ситуации предлагается использовать проблемно-ориентированный подход к проектированию ИС, который можно рассматривать как обобщение известного подхода «разработка семейств продуктов»[3]. В основу предлагаемого подхода положены 3 принципа:

1. Процесс проектирования оптимизируется применительно к множеству семейств архитектур, относящихся к определенной проблемной области (домену).

2. На всех основных этапах жизненного цикла для описания функционирования ИС используется 2 параллельных взаимодополняющих описания – MDA-UML-описание и онтологическое описание. При этом онтологии используются как средство описания множества задач, относящихся к конкретной предметной области, а MDA-модели – как средство описания множества возможных решений этих задач.

3. Процесс проектирования описывается в терминах трех жизненных циклов: жизненный цикл проблемного домена, жизненный цикл семейства ИС и жизненный цикл отдельной ИС.

Ключевым моментом предлагаемого подхода является использование онтологий на всех основных этапах жизненного цикла ИС: на этапе разработки, на этапе эксплуатации, в процессе функционирования, для решения задач сопровождения и на этапе модификации.

Обычно ИС, использующие онтологии в процессе функционирования (run time), принято называть ИС, управляемыми онтологиями (ontology-driven information system), а в случае, когда онтологии используются в процессе разработки, сопровождения и (или) модификации, говорят о проектировании, основанном на использовании онтологий (ontology-driven development of the information system) [1].

Можно выделить 2 подхода к использованию онтологий в процессе функционирования ИС: онтологии используются непосредственно для преобразования информации; онтологии используются для управления процессом переработки информации. В первом случае речь идет об онтологически-ориентированных информационных системах (ontology-aware information system), а во втором – о системах, управляемых онтологиями (ontology-driven information system).

В рамках онтологически-ориентированных информационных системах используется большое число паттернов архитектурного уровня. В качестве основных архитектурных паттернов можно определить следующие [1]: использование онтологий в качестве хранилища данных (метаданных); из онтологии формируется пользовательский интерфейс; содержимое онтологии используется для настройки параметров прикладного программного обеспечения.

Можно выделить следующие основные варианты использования онтологий в рамках систем, управляемых онтологиями: использование содержимого онтологий для формирования бизнес-правил; использование онтологий в процессе функционирования динамических ассемблеров; использование стандартных онтологических описаний, таких, как OWL-S, для обеспечения функционирования семантических Web-сервисов; использование онтологий в процессе функционирования мультиагентных систем [2].

Можно выделить следующие аспекты использования онтологий на этапе проектирования: использование онтологий, описывающих предметную область, аналитиками для анализа задачи проектирования, формирование структур баз данных на базе доменной онтологии; содержимое доменной онтологии конвертируется в архитектурные описания пользовательских интерфейсов; содержимое доменной онтологии конвертируется в архитектурное описание системы и (или) ее компонентов, конвертация содержимого онтологии в систему правил и реализацию их средствами, например, Jess [4].

Известно достаточно много предложений по использованию моделей (фреймворков), которые бы определили, по крайней мере частично, онтологии, ориентированные на поддержку процесса проектирования программных систем. Наиболее интересен подход, описан-

ный в [1]. В соответствии с данным подходом онтология, ориентированная на поддержку процесса разработки, состоит из трех подонтологий (доменов): домена метамоделей (metamodel domain), который содержит набор базовых концепций, определяющих принципы построения программных систем; домена методов (method domain), описывающего как методы получения экземпляров из классов представленных в домене метамоделей, так и сами реализации; домена возможных реализаций (endeavour domain), содержащего описание возможных реализаций классов описанных в домене методов.

После своего создания система переходит в фазу использования и сопровождения, которая может длиться в течение нескольких лет и включает в себя такие действия, как исправление ошибок, изменение и (или) расширение функциональности системы с целью ее адаптации к изменяющимся бизнес-правилам. Поскольку фаза сопровождения растягивается на несколько лет, то не только знания, накопленные в процессе разработки системы, но даже документация очень часто оказываются неполными, а иногда и утраченными. Как показывает практика, при решении задачи модификации системы от 40 до 60 % времени уходит на то, чтобы специалисты, занимающиеся модификацией ИС, смогли понять принцип ее работы [5].

Задача модификации системы может рассматриваться как некоторый специальный тип проекта, поэтому онтология, способная обеспечить эффективный процесс модификации системы, должна представлять собой некоторый «срез» онтологии, обеспечивающий процесс проектирования.

Под доменной моделью (ДМ) будем понимать систему моделей (поддоменов) более низкого уровня, описывающих совокупность знаний, используемых при работе с проблемно-ориентированной ИС на всех этапах ее жизненного цикла. ДМ включает в себя 3 поддомена: домен (поддомен), описывающий знания о предметной области; домен (поддомен), описывающий ИС; домен (поддомен), описывающий методологии проектирования и сопровождения системы. Домену, описывающему знания о предметной области, может быть поставлена в соответствие доменная онтология [1].

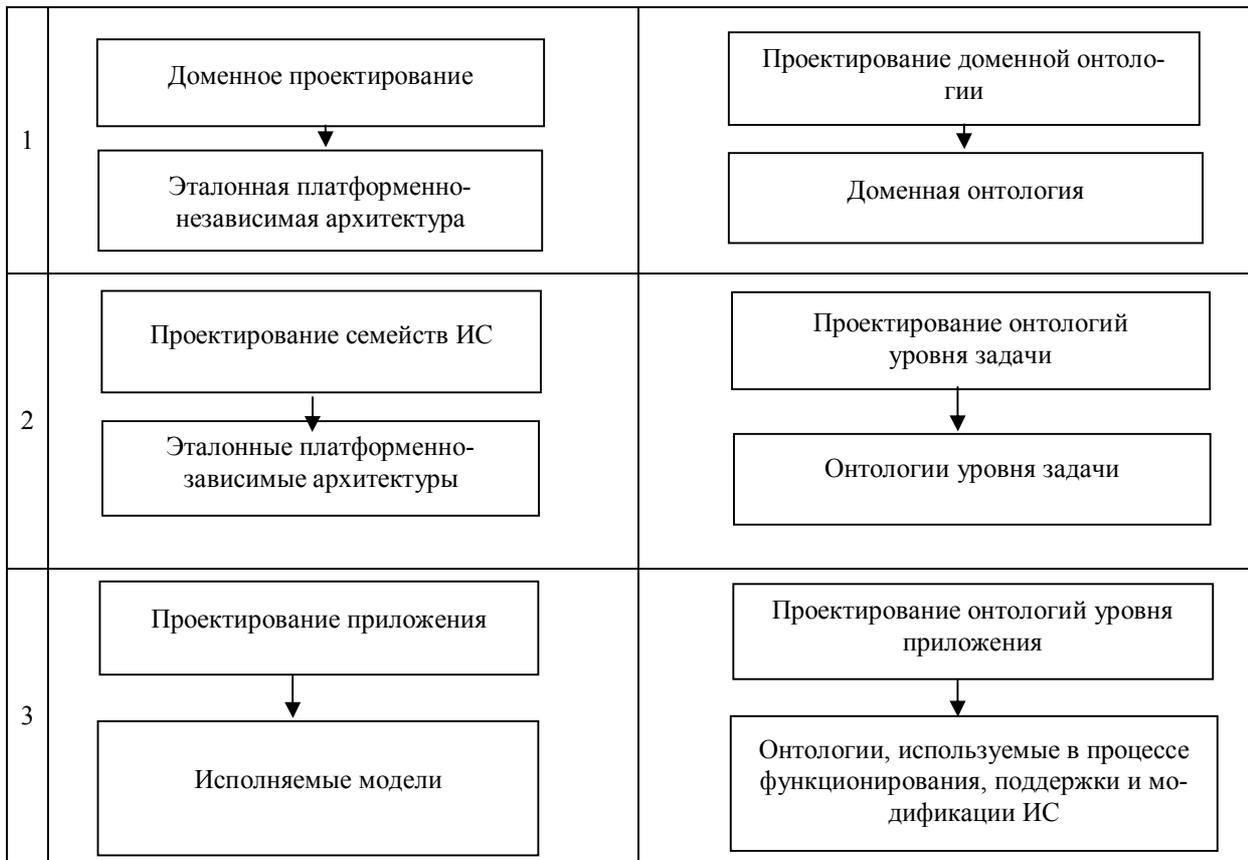
Домен, описывающий ИС, содержит знания о самой системе, в частности, следующие модели: модель класса систем, модель семейства систем, модель системы, модель, описывающую систему в конкретный момент времени.

Домен, описывающий методологии проектирования и сопровождения системы, содержит следующую совокупность знаний: знания о процессе проектирования; знания о типовых задачах данной предметной области, представленные, например, в виде контекстов [5]; знания о методах решения задач, относящихся к данной проблемной области; репозиторий типовых решений разного уровня, в частности, архитектурные паттерны (фреймворки) и структурные паттерны.

В самом общем виде проблемно-ориентированный подход к проектированию можно представить в виде трехуровневой эталонной модели (фреймворка), структура которой показана на рисунке. Данная модель является развитием эталонной модели двойного жизненного цикла, описанной в [3]. Представленная в [3] модель жизненного цикла семейства продуктов описывает жизненный цикл семейства приложений и включает в себя описания жизненных циклов на уровне домена и жизненного цикла отдельного приложения. В рамках развиваемого подхода предлагается увеличить число уровней до трех, при этом выделяются следующие уровни:

- уровень 1 (уровень проблемной области);

- уровень 2 (уровень семейства продуктов);
- уровень 3 (уровень приложения).



На каждом из уровней используются 2 параллельных и взаимодополняющих описания: MDA-UML-описания и описания в терминах знаний (онтологические описания).

Основными артефактами уровня 1 являются эталонная платформенно-независимая эталонная модель и доменная онтология, описывающая предметную область.

Основными артефактами уровня 2 являются множество эталонных платформенно-зависимых эталонных архитектур и онтологические описания, описывающие множество возможных архитектурно-структурных решений, относящихся к конкретному семейству продуктов. Описание осуществляется применительно к конкретной платформе (сервисно-ориентированные архитектуры, грид, мультиагентные архитектуры).

Основными артефактами уровня 3 являются описания в терминах UML-описаний и онтологий, ориентированных на использование в процессе функционирования, сопровождения и модернизации ИС.

С точки зрения наследования знаний, при проектировании семейств продуктов можно выделить 3 основных подхода: каждый новый продукт проектируется «с чистого листа», т. е. не применяется каких-либо специальных мер по накоплению знаний; подход на основе семейств продуктов в смысле [1]; проблемно (доменно)-ориентированный подход, основанный на наследовании знаний.

Очевидно, что накопление знаний – это дополнительные расходы, которые должны быть возмещены за счет экономии средств при проектировании множества приложений.

В таблице приведены условия, при которых целесообразно использовать каждый из перечисленных подходов. (Под термином «организация» понимается группа разработчиков, которая может быть, например, сотрудниками определенного подразделения компании.)

Подход	Условия целесообразности применения
Проектирование «с чистого листа»	Организация работает с уровнем СММИ ниже, чем 3. Разрабатываемые ИС имеют экстремальные характеристики по стоимости, сложности, производительности и т. п. Организация ведет разноплановые разработки. Организация не имеет возможности вкладывать средства в формирование репозитария знаний
Проектирование семейств ИС	В своих разработках организация ориентируется на определенный сегмент рынка. Организация имеет планы по разработке достаточно «длинных» линеек продуктов, использующих стандартные платформы
Доменно-ориентированное проектирование, использующее наследование знаний	Организация использует несколько платформ и ориентирована на разработку линеек продуктов, разные модели которых реализуются на разных платформах. Организация разрабатывает системы, ориентированные на работу со знаниями. Организация работает с уровнем СММИ 3 или выше. Организация готова вкладывать средства в формирование репозитария знаний

Таким образом, проблемно-ориентированный подход к проектированию ИС может являться действенным средством уменьшения сроков разработки, стоимости поддержки и модернизации достаточно сложных ИС и, в первую очередь, ИС, ориентированных на работу со знаниями. Необходимым условием получения положительного эффекта является создание линеек продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gasevic D., Djuric D., Devedzic V. Model Driven Architecture and Ontology Development. N. Y.: Springer-Verlag, 2006.
2. Интеллектуальные агенты, многоагентные системы и семантический Web: концепции, технологии, приложения/Д. В. Пузанков, В. И. Мирошников, М. Г. Пантелеев, А. В. Серегин. СПб. ООО «Технолит» / Изд-во «Технолит», 2008.
3. van der Linden F., Schmid K., Rommes E. Software Product Lines in Action. N. Y.: Springer Berlin, 2007.
4. Wagter R. et al. Dynamic Enterprise Architecture. N. Y.: John Wiley & Sons, 2005.
5. Bjorner D. Software Engineering 3. Domains, Requirements, and Software Design. N. Y.: Springer-Verlag, 2006.

A. I. Vodyaho, N. A. Zhukova, M. G. Panteleev

TECHNOLOGY INTEGRATION AND KNOWLEDGE INHERITANCE AS TOOLS FOR IMPROVING EFFICIENCY OF INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT

The paper discusses an approach to information system (IS) development. Suggested approach has a goal to improve IS efficiency of developing a number of IS families that belong to defined problem domain. Specific feature of the approach is usage of ontologies for all phases of IS life cycle.

Domain oriented information system development, ontology, information system architecture

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается программный комплекс обработки телеметрической информации в оперативном режиме, основанный на применении методов интеллектуального анализа данных. Оперативность обработки достигается за счет применения разработанной иерархии моделей описания телеметрических данных на различных этапах обработки. Приводятся обобщенное описание структуры программного комплекса и результаты его апробации.

Модели описания измерительных данных, интеллектуальная обработка данных, информационно-аналитические программные комплексы

Обработка измерительной информации, в частности телеметрической (ТМИ), позволяет решить ряд ключевых задач, возникающих в процессе эксплуатации сложных технических объектов (СТО) с динамическим поведением, таких, как ракетно-космические комплексы и производственные системы. К данной группе задач относятся задачи контроля состояния СТО, локализация неисправностей и исследование поведения объекта [1]. Требования к оперативности обработки данных предъявляются при контроле состояния СТО и при локализации неисправностей. В рамках каждой из перечисленных задач проводится анализ соответствия фактических и эталонных реализаций параметров.

На сегодняшний день для решения данной задачи разработано достаточное число методов обработки ТМИ, основанных на применении алгоритмов интеллектуального анализа данных, в частности, алгоритмов сегментации данных, кластерного анализа, классификации, секвенциального анализа, которые успешно применяются для постсеансной обработки данных [2]. Современные комплексы обработки и анализа телеметрической информации, основанные на применении интеллектуальных методов анализа, предоставляют эффективный инструментарий для “ручной” работы с данными.

Большой объем поступающих данных требует автоматизации процесса обработки в условиях, когда предъявляются жесткие требования ко времени обработки. Типовой процесс обработки ТМИ предполагает обязательное наличие трех составляющих элементов: восстановление структуры группового телеметрического сигнала (ГТС), семантический анализ ГТС и распознавание выявленных телеметрических параметров. При реализации процессов обработки могут в зависимости от обрабатываемых данных применяться различные алгоритмы. Использование процессов обработки требует наличия стандартных форматов описания данных на всех этапах обработки.

При создании программного комплекса оперативной обработки ТМИ (ПК ОО ТМИ) были разработаны иерархия моделей представления данных и механизм организации процессов обработки на их основе.

Иерархия моделей представления ТМИ включает 3 уровня:

$$M = \{G_{Str}, G_{Sem}, O\},$$

где G_{Str} – модель описания структуры ГТС; G_{Sem} – модель описания семантического состава ГТС; O – модель описания образов параметров. К разрабатываемым моделям предъявлялись следующие требования: переход от данных к модели их представления не должен сопровождаться потерей части информации; модель должна носить общий характер и быть применима для широкого круга типов ГТС; модель должна быть компактной с точки зрения хранимого объема данных. Перейдем к описанию разработанных моделей.

Первый уровень иерархии моделей представления ТМИ содержит описание структуры ГТС. Под структурой группового телеметрического сигнала будем понимать набор данных, достаточный для декоммутации ГТС и получения множества параметров. Следует отметить, что в ГТС в произвольный момент времени возможна смена структуры кадра. Как показано в [3], для корректной декомпозиции ГТС достаточен следующий набор параметров: длина информационного слова, длина кадра в словах, описание суперкоммутируемых параметров, описание субкоммутируемых параметров. Под суперкоммутируемыми параметрами понимаются параметры, передача которых осуществляется с частотой, кратной частоте главного коммутатора. Под субкоммутируемыми понимаются параметры, передаваемые с частотой, субкратной частоте главного коммутатора. Для описания любого суперкоммутируемого параметра достаточно следующей информации: индекс суперкоммутируемого параметра, период суперкоммутации – расстояние в информационных словах, через которое снова появится значение данного параметра. Для описания любого субкоммутируемого параметра достаточно следующей информации: индекс субкоммутируемого параметра, глубина субкоммутации – количество кадров, через которое на указанной позиции снова появится значение данного параметра. Один и тот же параметр не может являться одновременно и суперкоммутируемым, и субкоммутируемым. В общем виде структура ГТС может быть представлена следующим образом:

$$G_{Str} = \langle F_k, t_k \rangle, k = 0 \dots N,$$

где F_k – k -я структура ГТС; t_k – момент времени, начиная с которого наблюдается структура F_k ; N – общая продолжительность ГТС. Структура ГТС F_k представляется в виде

$$F_k = \langle L_{и.с}, L_k, Sup, Sub \rangle,$$

где $L_{и.с}$ – длина информационного слова; L_k – длина кадра; Sup – множество суперкоммутируемых параметров; Sub – множество субкоммутируемых параметров. Множество Sup определяется как множество пар $(i \ f)$, где i – индекс суперкоммутируемого параметра, f – период суперкоммутации. Множество Sub определяется как множество пар $(j \ d)$, где j – индекс субкоммутируемого параметра, d – период субкоммутации.

Второй уровень иерархии моделей представления ТМИ содержит семантическое описание ГТС. Определение семантического состава ГТС предполагает представление исходного

сигнала в виде набора групп параметров. Формируемые группы параметров можно условно разделить на две группы с точки зрения формирования признакового пространства, в котором они могут быть описаны без потери информации. К первой группе параметров относятся параметры, для которых может быть сформировано признаковое пространство без дополнительных преобразований (константные параметры, счетчики, контактно-кодовые параметры, меандры). Функциональные параметры представляют собой в общем случае сложные нестационарные процессы и образуют вторую группу. Формирование признакового пространства для параметров второй группы представляет собой трудоемкий процесс, который может быть выполнен экспертом в ручном режиме. Отсутствие возможности автоматизированного формирования описания функциональных параметров существенно затрудняет их дальнейший анализ, поскольку делает неприменимыми современные методы интеллектуального анализа данных. В связи с этим понятие семантического состава расширяется для функциональных параметров и подразумевает их представление в виде последовательности стационарных процессов (сегментов), для каждого из которых может быть автоматически сформировано описание. Дополнительно на этапе семантического анализа целесообразно выявить функциональные зависимости между параметрами, в частности, найти синусно-косинусные пары, интегрально-дифференциальные пары и элементы матриц пересчета координат. В общем виде модель семантического описания ГТС имеет вид

$$G_{\text{Sem}} = \langle P_{\text{const}}, P_{\text{code}}, P_{\text{count}}, P_{\text{meandr}}, P_{\text{mantesse}}, P_{\text{order}}, P_{\text{low}}, P_{\text{high}}, P_{\text{func}}, P_{\text{dependence}} \rangle,$$

где P_{const} – множество константных параметров; P_{code} – множество контактно-кодовых параметров; P_{count} – множество счетчиков; P_{meandr} – множество меандров; P_{mantesse} – множество мантисс; P_{order} – множество порядков; P_{low} – множество младших частей распределенных параметров; P_{high} – множество старших частей распределенных параметров; $P_{\text{dependence}}$ – набор $\langle P_{\text{sincos}}, P_{\text{diff}}, P_{\text{9M}} \rangle$; P_{sincos} – множество синусно-косинусных пар; P_{diff} – множество интегрально-дифференциальных пар; P_{9M} – множество матриц пересчета координат. Под параметром P понимается последовательность элементов $C_N = \{x_n, t_n\}$, $n = 1, 2, \dots, N$, где $\{x_n\}$ – последовательность дискретных измерений; $\{t_n\}$ – упорядоченная последовательность временных отсчетов на интервале измерения

$$I : \min(I) \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_N \leq \max(I).$$

При формировании описания сегментированных функциональных параметров используется следующая модель:

$$P(I) = \langle N_{\text{blocks}}, \{n_k\}, k = 1, 2, 3, \dots, N_{\text{blocks}} \rangle,$$

где N_{blocks} – количество сегментов; $n_k = \{(x_j, t_j)\}_{j=\text{block}_k}^{\text{block}_{k+1}}$, $j = 1, \dots, N_{\text{blocks}} - 1$ – множество сформированных сегментов. Для каждого сегмента n_k формируется вектор характеристик

$$V_{Sk} = \{v_j\}_{j=1}^M,$$

где M – размер вектора характеристик. Состав вектора определяется типом описываемого процесса и представляет собой набор статистических характеристик. Как показано в [4], [5], при обработке быстро меняющихся параметров целесообразно использовать спектральные характеристики для описания процессов, а для медленно меняющихся параметров описание формируется на основе результатов, получаемых при аппроксимации анализируемых процессов полиномами.

Третий уровень иерархии моделей представления ТМИ содержит описания образов параметров. При формировании образа параметра решается задача формирования описания параметра на основе имеющихся реализаций таким образом, чтобы при появлении новых параметров иметь возможность распознать их тип и при наличии отклонений выявить их характер, момент и место возникновения. При формировании образа параметра применяется подход к распознаванию образов, основанный на прецедентах, однако в качестве прецедентов используется вектор описаний параметров V_{Sk} . Образ каждого параметра содержит две составляющие – выборочные данные о реализациях, полученных при штатном функционировании объекта, и полные данные о реализациях, полученных в результате нештатного функционирования объекта, в которых выявлены отклонения от типового поведения. При формировании выборочных данных сохраняются граничные значения, типовые реализации объединяются в группы, для каждой группы формируется обобщенный (усредненный) вектор характеристик, который включается в образ параметра. Формально образ параметра имеет вид

$$O = \langle O^+, O^- \rangle,$$

где O^+ – множество векторов данных описаний параметров, полученных при штатном функционировании объекта; O^- – множество векторов данных описаний параметров, полученных при нештатном функционировании объекта. Множество O^+ может быть представлено как

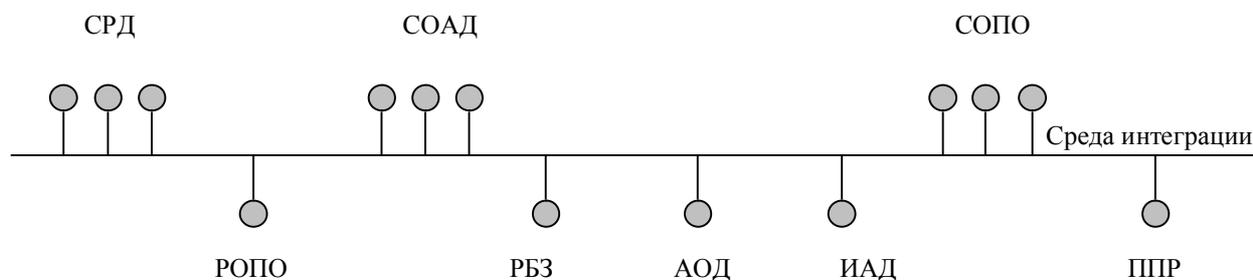
$$O^+ = \{O_k^{\sim}\}, k = 1, \dots, N,$$

где $O_k^{\sim} = \{V_{Sk}, V_{Sk}^{Cp}\}$ – элемент образа, представляющий собой вектор описаний параметров V_{Sk} или обобщенный вектор V_{Sk}^{Cp} . Множество O^- содержит набор векторов описаний параметров $O^- = \{V_{Sk}\}$.

Рассмотренный перечень моделей обработки данных является основой для представления данных в реализованном программном комплексе оперативной обработки телеметрической информации. Для представления данных и работы с ними используется онтологический подход. Данные включают 3 категории: данные об анализируемых сложных технических объектах и условиях их функционирования; телеметрические данные, поступающие с СТО, и

результаты их обработки; описание процессов обработки данных. Описание исходных телеметрических параметров осуществляется в формате xml, для описания моделей второго, третьего и четвертого уровней достаточным является применение формата rdf. СТО и процессы обработки описываются в формате owl dl. Знания, формируемые экспертом, хранятся в форме продукционных правил.

ПК ОО ТМИ представляет собой клиент-серверное приложение (рисунок). В состав серверной части включены 3 группы сервисов: сервисы работы с данными СРД, сервисы обработки и анализа данных СОАД и сервисы организации процессов обработки СОПО. Сервисы работы с данными обеспечивают доступ к данным и знаниям, их расширение и модификацию. Сервисы обработки и анализа данных предоставляют доступ к набору алгоритмов обработки, к которым относятся алгоритмы статистической и интеллектуальной обработки данных. Сервисы организации процессов обработки на основе информации об обрабатываемых данных и решаемой задачи с применением правил из базы знаний выбирают процесс обработки из перечня ранее сформированных.



В состав клиентской части ПК ОО ТМИ включены следующие компоненты: редактор онтологии предметной области РОПО, редактор базы знаний РБЗ, компонент аналитической обработки данных АОД, компонент интеллектуального анализа данных ИАД и компонент поддержки принятия решений ППР. Редактор описания предметной области адаптирован для описания измерительных данных и результатов их обработки. Редактор основан на использовании библиотеки Jena Framework. Редактор базы знаний предоставляет инструмент для работы с продукционными правилами, формируемыми экспертами, или автоматически в процессе анализа данных. Компонент аналитической обработки данных представляет собой графический инструмент для анализа данных в “ручном” режиме, в частности, в нем реализованы методы OLAP-обработки. Компонент интеллектуального анализа данных позволяет пользователю применять отдельные алгоритмы анализа данных и формировать процессы их обработки с использованием библиотеки алгоритмов, а также формулировать критерии использования процессов. Компонент поддержки принятия решений используется при принятии решения о соответствии/не соответствии поведения параметра типовому на основе правил, размещенных в базе знаний. При наличии в базе знаний экспертных описаний типовых неисправностей СТО, причин их возникновения и путей устранения пользователю ПК ОО ТМИ выдаются описание неисправности и рекомендации по ее устранению.

Представленный программный комплекс реализован в рамках опытно-конструкторской разработки, посвященной вопросам обработки и анализа телеметрической информации при контроле результатов пусков. Работоспособность комплекса подтверждена результатами обработки реальных данных, полученных в ходе испытательных пусков ракетно-космической техники. Общий объем обработанных данных составляет порядка 2000 параметров, полученных в результате проведения четырех испытаний однотипных СТО. При формировании иерархии моделей для описания данных исследуемых СТО использовались накопленные ранее данные, общий объем которых составил 4000 параметров. Оценка результатов работы комплекса давалась экспертами на основе сопоставления результатов, полученных в ходе “ручной” обработки данных и с использованием ПК ОО ТМИ. Процент параметров с нетиповым поведением, отклонения в которых не были выявлены программным комплексом, составил 0,2 %, процент параметров, в рамках которых были ошибочно обнаружены расхождения с типовым поведением, составил 8 %. Среднее время обработки 100 параметров составляет 100...120 с.

Дальнейшее направление развития программного комплекса связано с расширением набора алгоритмов обработки данных, что предположительно позволит существенно снизить процент ошибки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная телеметрия в теории и на практике / А. В. Назаров, Г. И. Козырев, И. В. Шитов и др. СПб.: Наука и техника, 2007.
2. Automatic control system of complex dynamic objects state on the base of telemetering information analysis. / A. Vasiljev, V. Geppener, N. Zhukova et al. // 8th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies. 2007. Vol. 2, № 4. P. 376–379.
3. Метод идентификации групповых телеметрических сигналов на основе частотно-рангового распределения / В. Э. Балтрашевич, А. В. Васильев, Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Математические методы распознавания образов (ММРО-14): 14-я Всерос. конф., Суздаль, 21–26 сент. 2009. М.: МАКС Пресс, 2009. С. 305–308.
4. Жукова Н. А., Орешко Н. И. Сегментация кусочно-постоянных случайных процессов по спектральным характеристикам на основе нечеткой кластеризации и вейвлет-технологии // Междунар. конф. и выставка «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Вып. X-1. М., 2008. С. 408–412.
5. Методы сегментации медленно меняющихся телеметрических сигналов / А. В. Васильев, В. В. Геппенер, Н. А. Жукова, Д. М. Клионский // X Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям: Сб. докл. Т. 1. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.

A .R. Liss, N. A. Zhukova

SOFTWARE SYSTEM FOR OPERATIVE INFORMATION PROCESSING FROM COMPLEX DYNAMIC OBJECTS

System of operative telemeteric information processing based on application of methods of intellectual data analysis is considered. Efficiency of processing is reached at the expense of application of the developed telemeteric data description models hierarchy at various processing stages. Generalized description of the system structure and results of its approbation are described.

Models of measuring data description of the, intellectual data processing, information-analytical systems

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В ЯЗЫКАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ПОТОКОВОЙ, КОНВЕЙЕРНОЙ И МИКРОПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Рассматриваются основные подходы к структурной организации операционных устройств и задание структуры при проектировании с использованием распространенных языков проектирования аппаратуры VerilogHDL и VHDL на примерах.

Операционные устройства, конвейер, микропрограмма

Под операционным устройством понимают вычислительный узел, способный многократно выполнять любое преобразование из набора, предусмотренного для этого узла, каждый раз, когда на него поступает сигнал, инициирующий преобразование (команда, синхросигнал или просто изменение входных данных).

Алгоритм работы цифрового устройства задает некоторую последовательность преобразований. При реализации в аппаратуре каждому действию или группе однотипных действий сопоставляется функционально законченный узел, а исполнение действия в узле сопоставляется с шагом алгоритма. Если на некотором шаге используются результаты, полученные на предыдущих шагах, а также если какая-либо операция не может быть исполнена одним блоком за приемлемое время, прибегают к «дроблению» алгоритма, заключающемуся во временном или/и пространственном разнесении исполнения элементарных действий. Процесс декомпозиции алгоритма осуществляется до получения структуры (возможно, иерархичной), у которой поведение отдельных фрагментов обеспечивает заданное поведение устройства в целом. При проектировании аппаратных реализаций существенным оказывается не только набор исполнителей отдельных действий, но и правила их взаимодействия. В статье рассматриваются некоторые подходы к заданию структуры проекта и типов взаимодействия в программах описания цифровых устройств на языках проектирования аппаратуры VHDL и VerilogHDL. «Предельные» варианты структурной декомпозиции с учетом межмодульных взаимодействий иллюстрируются рис. 1 [1]. Здесь задача f разделена на подзадачи f_1, f_2, f_3, \dots . Каждая подзадача в свою очередь может состоять из нескольких параллельно или последовательно выполняемых операций.

При пространственном разнесении каждой подзадаче сопоставляется индивидуальный преобразующий блок. Из таких блоков строится сеть – в простейшем случае, как на рис. 1, цепочка. Распространены 2 варианта построения операционных устройств с пространственным разнесением – потоковые и конвейерные.

В потоковой схеме всякое изменение выходного сигнала блока непосредственно вызывает изменения в блоках, на которые этот сигнал поступил. В программной модели это интерпретируется вызовом к исполнению операторов, аргументы которых изменились.

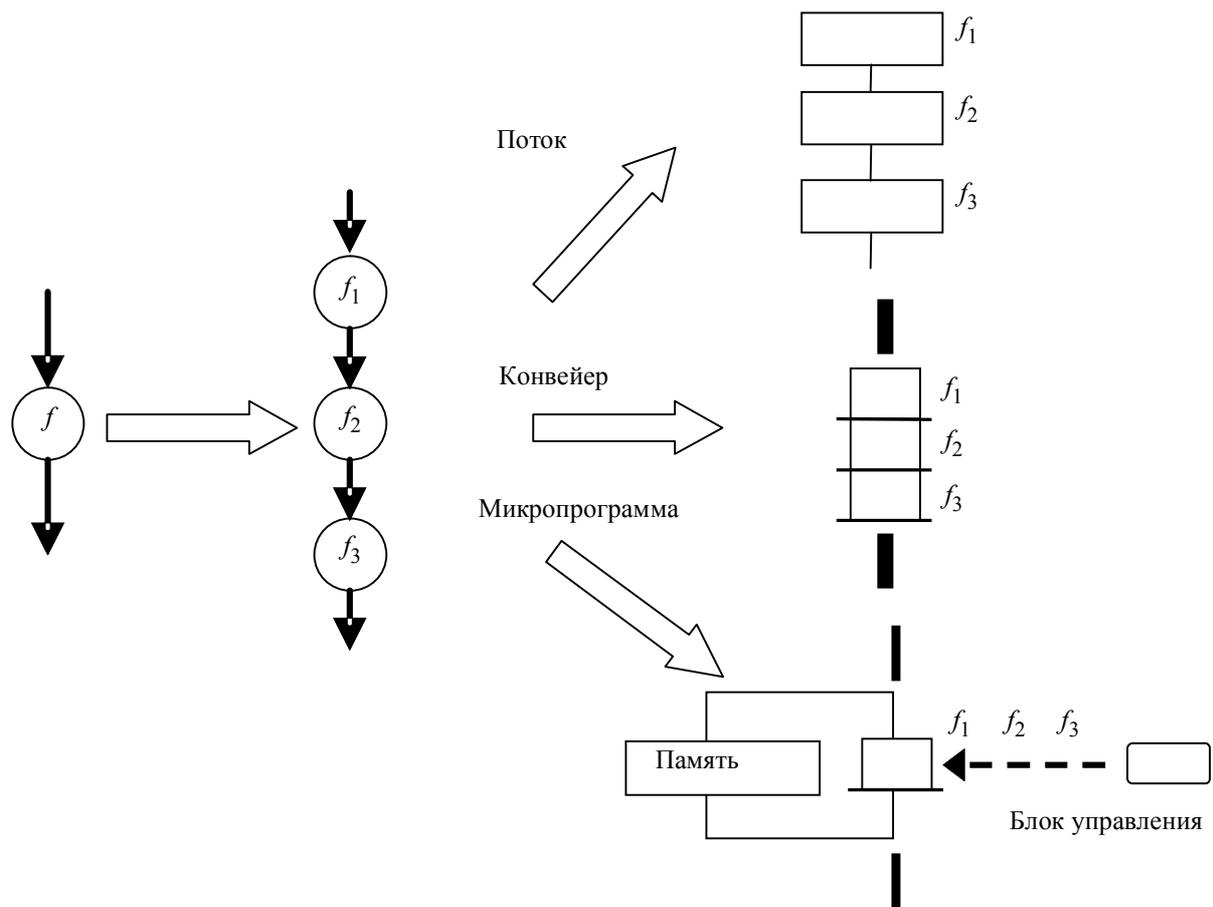


Рис. 1

При описании потоковой реализации (или, что то же самое, для задания компилятору синтезировать потоковую схему) можно использовать как параллельные, так и последовательные операторы языка. Возможность использования параллельных операторов («assign» в Verilog и параллельные присваивания в VHDL) вытекает из событийного принципа их инициализации – операторы исполняются при любом изменении аргумента, представляющего входной сигнал этого блока. Порядок записи параллельных операторов не имеет значения. Однако параллельные операторы в языках проектирования функционально ограничены. Для описания сложных алгоритмов, содержащих набор условных проверок или циклов, удобнее процессная форма (оператор «always» в Verilog, «process» в VHDL). Список чувствительности операторов включает в себя все входные сигналы, причем при описании преобразований необходимо точно следовать порядку передачи данных в алгоритме. Дополнительное условие для VHDL состоит в том, что промежуточные данные декларируются как переменные (VARIABLES). В Verilog следует использовать только блокирующие присваивания.

В качестве примера будем представлять описание на языках VHDL и Verilog устройства для реализации произвольной функции одной переменной методом полиномиальной аппроксимации. Такие устройства могут быть использованы в измерительной аппаратуре для линеаризации харак-

теристик первичных датчиков. Примеры представляют поведенческое описание устройства, но переход к структурному представлению, в том числе на базе модулей библиотеки целевой САПР, не составит существенных трудностей.

Воспользуемся представлением аппроксимирующего полинома в виде схемы Горнера:

$$z = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 \dots + xa_n) \dots)).$$

Для последовательной реализации это соотношение удобно представить в рекуррентной форме:

$$z_0 = a_0; z_i = a_{n-i} + xz_{i-1}; i = 1 \dots n.$$

Программы, описывающие аппаратную реализацию этих преобразований с учетом приведенные выше требований, приведены на рис. 2.

Конвейерные реализации предполагают фиксацию промежуточных результатов в регистрах вплоть до готовности соседа принять их. В общем случае конвейеризация осуществляется через механизмы «рукопожатия», когда соседние звенья обмениваются информацией о готовности, разрешая соседям продолжать работу. Однако в данной статье ограничимся синхронным конвейером, применяемым при относительно небольшом разбросе времен выполнения операций в ступенях. Тогда промежуточные результаты фиксируются в регистрах, управляемых общим тактовым сигналом, которые на рис. 1 обозначены утолщенными линиями между изображениями обрабатывающих блоков. Такие регистры должны принимать новые данные, формируемые блоком в текущем такте, и одновременно сохранять данные предыдущего такта для последующего блока. Другими словами, следует использовать регистры с динамическим управлением, синхронизируемые общим тактовым сигналом [2], [3]. Период тактового сигнала должен быть достаточным для завершения операций в любом слое.

Процессная форма потокового описания легко трансформируется в описание конвейерной реализации. Для этого программа на VHDL преобразуется следующим образом:

1. Список чувствительности процесса включает сигнал синхронизации и не должен включать информационные сигналы. Кроме того, в тело процесса вводят условные операторы, разрешающие исполнение основных преобразований по фронту сигнала синхронизации (например, `IF clock='1' and clock'event THEN...`).

2. Промежуточные результаты объявляются сигналами. Это в совокупности с правилом запуска оператора `process` обеспечивает сохранение «старых значений» до выполнения всех операторов в процессе, что и задает наличие регистра в конце каждого слоя решающей схемы.

3. Если входные данные используются без изменений на более поздних этапах преобразования (в последующих слоях), то эти данные «доставляются» до использующего их слоя с такими же задержками, какие накапливаются в последовательности подсхем, преобразующих те же данные. В предлагаемом примере входной сигнал передается через цепочку элементов памяти синхронно с выполнением операций в каждом слое.

VHDL	VerilogHDL
use work.coeff.all;	module gorner1 (x,polin,coeff);
entity gorner is	// массив коэффициентов задается в
generic (n:integer:=8;	//вызывающей программе .
diapaz,diapaz1:integer:=2**16-1);	parameter length1=16,
port (x: in integer range 0 to diapaz;	length = 16, //разрядность данных
polin: out integer range 0 to diapaz1);	n=8; //порядок полинома
end gorner;	
architecture data_flow of gorner is	input x,coeff; output polin ;
-- тип и содержание массива	wire [length1-1:0] x,coeff;
--коэффициенты должны задаваться в	wire [length-1:0] polin;
-- пакете coeff	reg [0:n] z [length-1:0]; //массив
begin	//промежуточных результатов
process (x)	integer i;
variable z: coeff_arr ;	always @x begin
begin	z[0]= coeff[n];
Z(0):= coeff(n);	for (i=1; i<=n;i= i+1)
for I in 1 to n loop	z[i]= coeff[n-i]+ x*z[i-1];
Z(i):=coeff(n-i) + x*z(i-1);	end
End loop;	assign polin= z[n];
polin<=z(n);	endmodule
end process;	
end data_flow;;	

Рис. 2

Для программ на Verilog преобразования аналогичны. Список чувствительности оператора `always` должен содержать признак изменения тактового сигнала. Внутри оператора `always` все присваивания должны быть неблокирующими, чтобы новые значения вычислялись на основе значений, полученных в предыдущем исполнении оператора `always` (в предыдущем такте).

Эти особенности иллюстрируются фрагментами программ, приведенными на рис. 3. Здесь декларации интерфейса модулей и большинства локальных объектов опущены, так как повторяют такие же выражения на рис. 2. Кроме особенностей инициализации операторов обратим внимание на то, что кортеж значений аргумента сдвигается в регистровой структуре синхронно с продвижением промежуточных результатов в цепочке сумматоров и умножителей.

Потоковые (асинхронные) схемы экономичнее и обеспечивают меньшую задержку между подачей на вход новой порции данных и получением результата. С другой стороны, конвейерные схемы обеспечивают большую суммарную производительность при непрерывном потоке данных, так как в них имеется естественный параллелизм [4]. Конвейерные схемы являются эффективным решением в задачах обработки сигналов и изображений.

Кроме крайних версий – «чистого» потока и «чистого» конвейера – в зависимости от требований к проекту можно использовать разнообразные смешанные версии: использование фиксирующего регистра не после каждого функционального блока, а только после несколь-

ких блоков, взаимодействующих по принципу потока, внутриблочную конвейеризацию (в представляемом примере возможно применение конвейерных умножителей), частичное распараллеливание работы блоков и т. д. [2]. Иными словами, можно в значительных пределах варьировать соотношение времени задержки, производительности (частоты поступления данных), затрат оборудования. Необходимо также упомянуть такие возможности, как мультikonвейерные архитектуры, в том числе битовые конвейеры, обеспечивающие возможность работы на предельных частотах при сравнимых с традиционными решениями аппаратурных затратах [5]. Каждый поток мультikonвейерной структуры описывается аналогично «обычному» конвейеру, но в случае разного времени распространения фронта вычислений по различным путям тактовые сигналы, поступающие на «опережающие» схемы, должны блокироваться до восстановления синхронизма.

VHDL	VerilogHDL
signal : z, // промежуточные результаты	
signal x_i: coeff_arr // задержанные отсчеты	
// входного сигнала	
process (clk) begin	integer i;
if clk='1'\`and clk'event then	always @ posedge(clk) begin
Z(0)<= coeff(n);	z[0]<= coeff[n];
x_i(0)<=x;	x_i(0)<=x;
for i in 1 to n loop	for (i=1; i<=n;i= i+1) begin
z(i)<=coeff(n-i) + x_i(i)*z(i-1);	z[i]<= coeff[n-i]+ x_i(i)*z[i-1];
x_i(i)<=x_i(i-1);	x_i(i)<=x_i(i-1);
end loop;	end
polin<=z(n);	end
end if;	assign polin= z[n];
end process;	

Рис. 3

При умеренных требованиях по производительности с целью уменьшения объема оборудования однотипные операции выполняют последовательно во времени, используя на разных шагах одни и те же блоки, возможно, перестраиваемые на исполнение различных операций. В общем случае (см. рис. 1) устройства такого типа строятся как сочетание узла преобразования данных, памяти промежуточных результатов и устройства управления. В качестве последнего, как правило, выступает микропрограммный автомат. За один такт работы автомата исполняется одна выделенная подзадача. Автомат последовательно, в общем случае в зависимости от входных сигналов и результата предыдущего шага, меняет состояние и выдает управляющие сигналы на узел преобразования данных.

Приведенный на рис. 4 фрагмент VHDL-программы иллюстрирует последовательное во времени исполнение алгоритма вычисления полинома. В примере управляющий автомат реализован в виде счетчика, меняющего состояние по фронту тактового сигнала, но его очередное состояние зависит от внешних по отношению к нему сигналов. После завершения любого цикла работы устанавливается в единицу сигнал готовности «ready», разрешающий,

с одной стороны, прием результата другими устройствами, а с другой – подачу следующего значения аргумента. Подача нового значения должна сопровождаться сигналом запуска «start». В интервале от ready='1' до start='1' устройство сохраняет свое состояние. Под хранение промежуточных данных отведен всего один регистр, состояние которого модифицируется в каждом цикле.

```

signal : z integer range 0 to diapaz1:
.....
process (clk)
begin
if clk='1' and clk'event then
if start='1' then -- запуск процедуры преобразования
Z<= coeff(n); i<=0; ready='0';--установка сигнала «не готово»
elseif i>n then ready='1'; i<=0;-- последний шаг преобразования
Polin<=z; -- текущего отсчета
else z<=coeff(n-i) + x_i(i)*z(i-1); i=i+1;
end if;
end if;
end process;

```

Рис. 4

В программе на рис. 4 описание операционного блока «встроено» в описание автомата управления. Для более сложных операционных устройств обычно используют структурное описание. При этом описание операционного блока выносится в отдельный программный модуль, а управляющий автомат генерирует сигналы на этот блок для инициализации действий, предусмотренных на текущем шаге преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaeslin H. Digital Integrated Circuit Design. From VLSI Architectures to CMOS Fabrication. N. Y.: Cambridge University Press, 2008.
2. Грушвицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. Поляков А. К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
4. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
5. Реconfigурируемые мультимонвейерные вычислительные структуры/ И. А. Каляев, И. И. Левин, Е. А. Семерников, В. И. Шмойлов; Под общ. ред. И. А. Каляева. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009.

A. H. Mursaev

DESIGNING DATA-FLOW, PIPELINED AND MICRO-PROGRAM REALIZATIONS OF OPERATING UNITS WITH HARDWARE DESIGN LANGUAGES

Basis approaches to structural organization of operating units and definition of the structure while designing with commonly used HDL-languages (VerilogHDL and VHDL) are presented in examples

Operating units, pipelining, microprogramming

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА С АКТУАЛИЗАЦИЕЙ СОСТОЯНИЙ

Рассматривается организация информационно-вычислительного комплекса для реализации принципиально новой информационной технологии непрерывного контроля рельсового транспорта. При этом базовым элементом является разработанный авторами портативный анализатор плавности хода. В процессе обработки информации по текущему состоянию пути и ходовой части средства актуализации состояний позволяют классифицировать получаемую информацию по рангам срочности принятия решений.

Информационно-вычислительный комплекс, непрерывный контроль, рельсовый транспорт, актуализация состояний, анализатор, плавность хода, безопасность

Проблеме повышения безопасности движения рельсового транспорта уделяется все большее внимание в связи с возрастающими скоростями доставки пассажиров и грузов, с требованиями повышения экономической эффективности перевозок и, как следствие, повышением нагрузки на путь и на колесные пары ходовой части подвижного состава.

В настоящее время особенно актуальна задача непрерывного контроля безопасности рельсового транспорта. Совокупность потенциальных угроз, которые могут возникнуть на рельсовом транспорте, условно можно разделить на 6 групп:

- 1) техногенные;
- 2) информационные;
- 3) связанные с человеческим фактором;
- 4) противоправные и криминальные действия;
- 5) террористические акты;
- 6) стихийные бедствия.

Если защита от угроз, условно отнесенных к шестой группе, состоит практически в прогнозировании стихийных бедствий и другими способами принципиально не может быть осуществлена, то защита от потенциальных угроз, отнесенных к первым пяти группам, может быть реализована совокупностью организационно-технических мер. Так, например, технические средства, к которым относятся средства пожарной сигнализации и пожаротушения, охранной сигнализации и контроля доступа, параметрического контроля состояния технических подсистем и т. п., широко применяются на рельсовом транспорте. По существу технические средства обеспечения различных аспектов безопасности включают в себя устройства сбора и обработки информации, исполнительные устройства и устройства отображения и оповещения, которые в совокупности представляют собой автоматизированные системы управления или информационные системы, каждая из которых предназначена для выполнения функции защиты от конкретной угрозы.

Вместе с тем уровень технического оснащения защиты от потенциальных угроз должен соответствовать вероятности их возникновения, которая в свою очередь зависит от многих факторов, в том числе от типа транспортного средства, характера перевозимого груза, от региона, в котором осуществляются перевозки, и др.

Существует несколько областей применения рельсового транспорта, которые имеют как общие, так и специфические показатели.

Скоростной рельсовый транспорт требует выявления малейших отклонений системы *колесо – рельс*. Эти отклонения можно выявить лишь при непрерывном контроле состояния пути и ходовой части подвижного состава по плавности хода.

Рельсовый транспорт в метро помимо существующих систем ночного контроля нуждается в систематическом непрерывном контроле по ходу движения поездов.

На сегодняшний день на городском рельсовом транспорте отсутствует система непрерывного контроля состояния пути, и, хотя это напрямую не связано с безопасностью, случаются чрезвычайные ситуации, приводящие к возникновению «пробок» в движении.

Существующий в настоящее время подход к обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте опирается на информацию, получаемую от специальных вагонов с прецизионными измерительными системами состояния пути. Для контроля состояния рельсового пути вагоны-дефектоскопы применяют в основном ультразвуковые и магнитные методы. Путеизмерительные вагоны контролируют динамику при движении по неровностям рельсового пути. Для качественного проведения измерений требуется провозить эти вагоны со скоростями не более 60 км/ч. Период между проходами этих вагонов и, соответственно, измерениями обычно превышает 6...7 сут. В связи с этим дефекты железнодорожного полотна, возникшие при его эксплуатации в период между измерениями (в течение нескольких суток и более) могут стать причиной аварийных ситуаций. Кроме того, при возрастании скоростей движения пассажирских составов происходит качественное изменение реакции экипажа на неровности пути: подвижной состав практически не реагирует на неровности, зафиксированные при малых скоростях движения, но бурно реагирует на повторяющиеся неровности в случае резонанса частоты колебаний кузова с частотой следования неровностей. Также большое влияние на динамику оказывает масса экипажа, которая значительно отличается у путеизмерительного вагона по сравнению, например, с грузовым вагоном или локомотивом.

В России имеются также большие участки подъездных путей, где путеизмерительные вагоны не используются, в частности, ведомственный рельсовый транспорт, обеспечивающий доставку полезных ископаемых (например, руды, угля и др.) до объектов их переработки или транспортировки.

Таким образом, существующая в настоящее время система оценки состояния железнодорожного пути как по геометрическим, так и по динамическим показателям с помощью вагона-путеизмерителя не позволяет оперативно выявлять внезапно возникающие грубые дефекты в состоянии пути.

В то же время, характеристикой состояния и содержания как пути, так и подвижного состава является уровень колебаний подвижного состава, двигающегося по данному участку пути с установленной скоростью.

Для обеспечения безопасности движения на рельсовом транспорте авторами предлагается использовать информацию о виброускорениях подвески (корпуса) локомотива (вагона) при движении. Для более удобной интегральной оценки применяется также показатель плавности хода [1].

Плавность хода является характеристикой ходовых качеств вагона и зависит от интенсивности и спектрального состава колебаний вагона. Показатель плавности хода по методу Шперлинга вычисляется в горизонтальном (поперечном) и вертикальном направлениях в системе координат, связанной с движущимся объектом, на основании измерений соответствующих среднеквадратических значений ускорений после «физиологического» фильтра:

$$W = \alpha \cdot \tilde{a}_k^{0.3},$$

где $\alpha = 4.676$ для вибраций, действующих в горизонтальном направлении, и $\alpha = 4.346$ для вибраций, действующих в вертикальном направлении; \tilde{a}_k – среднеквадратическое значение виброускорения в м/с²:

$$\tilde{a}_k = \sqrt{2 \int_{f_H}^{f_B} q_H^2(f) S(f) df}.$$

Здесь $f_H = 0.5$ Гц – значение нижней граничной частоты диапазона измерений показателя плавности хода; $f_B = 20$ Гц – значение верхней граничной частоты диапазона измерений показателя плавности хода; $S(f)$ – функция спектральной плотности виброускорения в $\frac{m^2}{c^4 \cdot Hz}$; $q_i(f)$ – значения нормированной амплитудно-частотной характеристики корректирующего «физиологического» фильтра:

$$q_i(f) = 1.15f \sqrt{\frac{1 + 0.1f^2}{(1 + 4.04f^2)((1 - 0.0364f^2)^2 + 0.045f^2)}},$$

где f – частота колебаний в Гц.

Принципиально новая информационная система непрерывного контроля рельсового транспорта [2] позволяет предотвратить аварии и катастрофы, связанные с изменениями пути и ходовой части, происходящими в интервалах между прохождением специальных вагонов с прецизионными измерительными системами. Кроме того, эта система обеспечит:

- непрерывный контроль за состоянием пути;
- непрерывный контроль за состоянием ходовой части подвижного состава;
- оперативное оповещение об обнаружении тревожных признаков состояния пути и/или ходовой части подвижного состава;

- оперативную локализацию и регистрацию места и времени обнаружения тревожных признаков состояния пути;

- оперативную количественную оценку не только в единицах ускорения, но и в показателях плавности хода;

- предотвращение аварий и катастроф, связанных с изменениями пути, происходящими в интервалах между прохождением специальных вагонов с прецизионными измерительными системами;

- возможность оперативной ликвидации грубых отступлений в состоянии пути и/или ходовой части подвижного состава;

- возможность оперативного изменения скорости движения состава при обнаружении предыдущим составом грубых отступлений в состоянии пути;

- уменьшение преждевременного износа пути и ходовой части подвижного состава;

- прогноз состояния пути и/или ходовой части подвижного состава за счет глобального анализа данных;

- повышение комфорта и безопасности пассажиров во время движения;

- сохранность перевозимых грузов во время движения.

Для обеспечения непрерывного контроля состояния рельсового транспорта требуется разработать информационно-вычислительный комплекс, который будет включать в себя следующие компоненты:

- анализаторы, устанавливаемые непосредственно на разные виды подвижного состава (вагон, локомотив и т. п.);

- средства связи и коммуникации;

- базу данных;

- средства актуализации состояний;

- систему диспетчеризации движения.

Анализатор занимается процессом сбора, обработки, анализа и сохранения информации [3]. Указанные процессы реализуются с помощью программно-аппаратных средств и блока измерений с датчиками виброускорений. Блок измерений может быть вынесен на кабеле для закрепления, например, на полу или за пределы вагона. Инспекторский вариант анализатора для обеспечения интерфейса с оператором содержит дисплей, клавиатуру и соответствующее программное обеспечение. Предусматриваются другие варианты исполнения анализатора: модульное исполнение для локомотивов; вариант в виде «черного ящика» для пассажирских и грузовых вагонов. В исполнении «черного ящика» у анализатора будет отсутствовать дисплей и клавиатура.

Средства связи и коммуникаций включают в себя:

- средства оперативного оповещения для передачи сигналов машинистам поездов, следующих за данным составом, передачи сигналов диспетчеру данного участка пути;

- средства передачи всей накопленной информации в базу данных.

Оперативная информация передается по радиоканалу, а передача всей накопленной информации помимо радиоканала может осуществляться на переносной носитель информации с физической передачей его на станцию со стационарным пунктом сбора информации.

База данных, распределенная по серверам на узловых станциях с репликацией данных, содержит:

- номер анализируемого поезда, вагона или локомотива;
- характеристики пути: данные о максимальных виброускорениях и плавности хода с привязкой к глобальным координатам и ко времени фиксирования, с информацией о скорости следования;
- глобальные координаты километровых столбов и границ станций;
- характеристики подвижного состава (локомотивов, вагонов и др.), такие, как номер, тип, масса, размеры, год выпуска, дата последнего ТО и т. п.;
- характеристики ходовых частей подвижного состава.

Средства актуализации состояний позволяют классифицировать получаемую информацию по рангам срочности принятия решений:

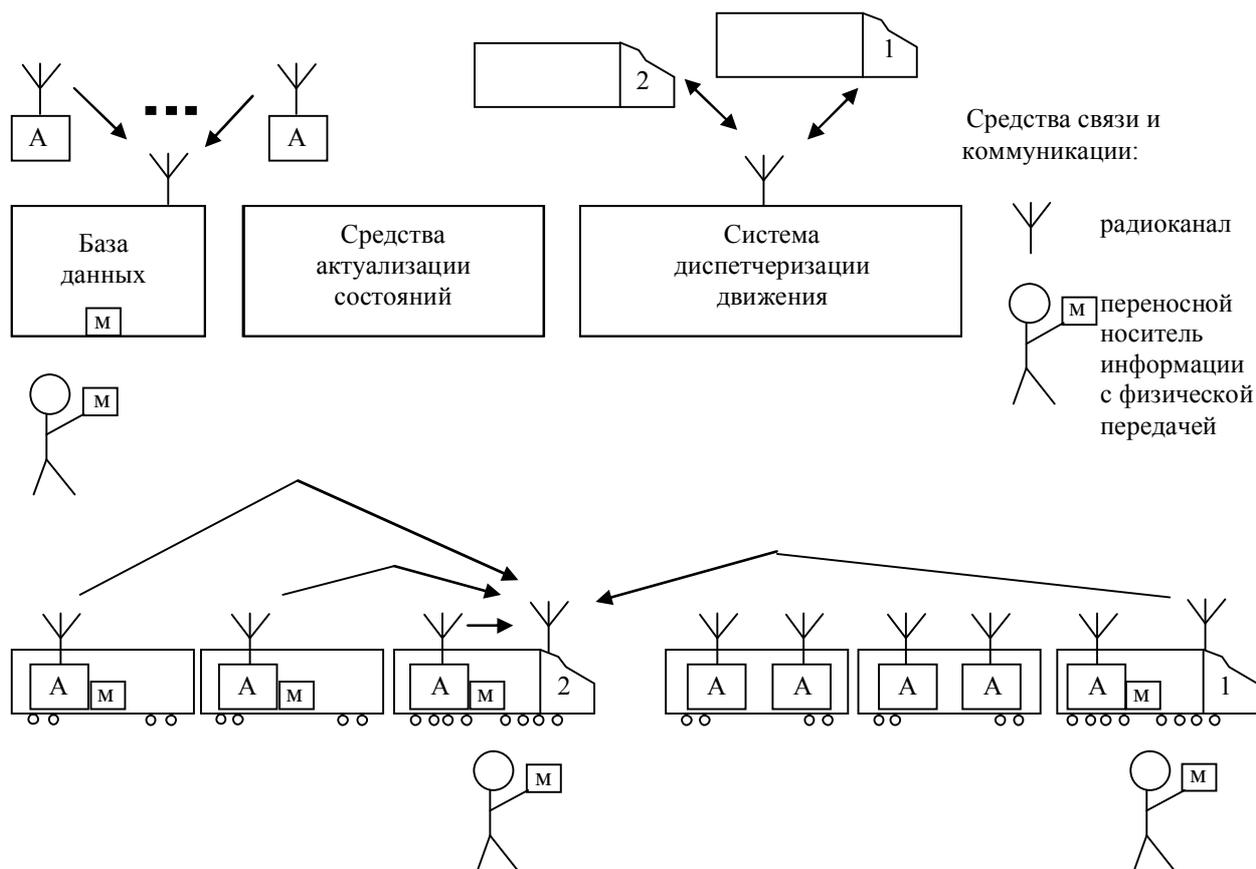
- экстренный – значительное (более 10 %) превышение критического порога значением максимального виброускорения;
- высокий – значение максимального виброускорения от 90 до 110 % порога;
- средний – значение максимального виброускорения от 50 до 90 % порога;
- низкий – значение максимального виброускорения от 0 до 50 % порога.

Актуализация состояний пути и ходовой части подвижного состава осуществляет перевод соответствующей информации о состоянии пути и ходовой части подвижного состава из «потенциальной» формы в актуальную, доступную человеку или программному обеспечению, для принятия оперативного решения и/или статистического анализа.

Система диспетчеризации движения обрабатывает информацию по актуализации состояний и принимает решения с участием соответствующих служб на рельсовом транспорте.

На рисунке представлена структурная схема организации информационно-вычислительного комплекса системы непрерывного контроля рельсового транспорта, где цифрами 1 и 2 обозначены локомотивы двух следующих друг за другом поездов, в которых имеются средства связи с системой диспетчеризации движения и друг с другом; буквой «А» обозначены анализаторы с памятью «М» и радиоканалом; физическая передача информации на картридже памяти «М» отражена в виде пиктограммы человека; передача информации по радиоканалу изображена стрелками.

Опытные образцы анализаторов и элементов комплекса успешно прошли испытания на полигонах станций Белореченская и Щербинка, а также на скоростных поездах Москва–Петербург, Ростов–Москва, Москва–Самара, на грузовом контейнерном поезде повышенной скорости Находка–Москва, на электропоездах пригородного назначения, в московском метрополитене.



Технология непрерывного контроля безопасности рельсового транспорта позволяет существенно улучшить ситуацию по диагностике состояния пути и ходовой части подвижного состава и повысить безопасность движения рельсового транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24.050.16-85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. Ввод в действие 01.01.87. М.: Изд-во стандартов, 1986.
2. Информационная технология непрерывного контроля железнодорожного транспорта в процессе эксплуатации / П. Н. Бондаренко, А. Х. Мурсаев, Ю. С. Ромен, Н. М. Сафьянников // ВІСНИК Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2003. № 9(67). С. 209–212.
3. Ромен Ю. С., Сафьянников Н. М., Бондаренко П. Н. Портативный прибор для экспресс-диагностики и контроля состояния железнодорожного пути // Радиоэлектроника и связь. 1999. № 1(15). С. 80–84.

A. H. Mursayev, P. N. Bondarenko, N. M. Safyannikov

ARRANGEMENT OF A DATA-PROCESSING COMPLEX FOR CONTINUOUS MONITORING OF THE RAILWAY TRANSPORT WITH STATE ACTUALIZATION

Arrangement of a data-processing complex for realization of a new information technology of continuous monitoring for the railway transport. The technology target is continuous monitoring with state actualization. The basic element of technology is a portable analyzer of motion smoothness designed by the authors. In the data handling process the railway and the rolling-stock current state are estimated using acceleration measurements and actualized. This enables classification of obtained information by rank of urgency assumption to make a decision.

Data-processing complex, continuous monitoring, the railway transportation, actualization of state, analyzer, smoothness of motion, safety



УДК 629.12.066

Нгуен Ван Чьен, Нгуен Тиен Тханг

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Процедура и разработка диагностической модели дизель-генератора на основе программ Orcad. Моделирование дефектов, приводящих к отказу ГЭУ. Рассмотрение влияния дефектов на работоспособность ГЭУ.

Диагностическое обеспечение ГЭУ, структурная схема ГЭУ, математическая модель дизель-генератора, диагностическая модель дизель-генератора

Задача диагностического обеспечения может быть представлена в виде схемы, которая приведена на рис. 1.

Разработка диагностического обеспечения гребной электрической установки (ГЭУ) требует построения диагностической модели, которая может быть представлена в любом математическом виде, но обязательно должна быть чувствительна к изменениям состояния ГЭУ при возникновении дефектов.

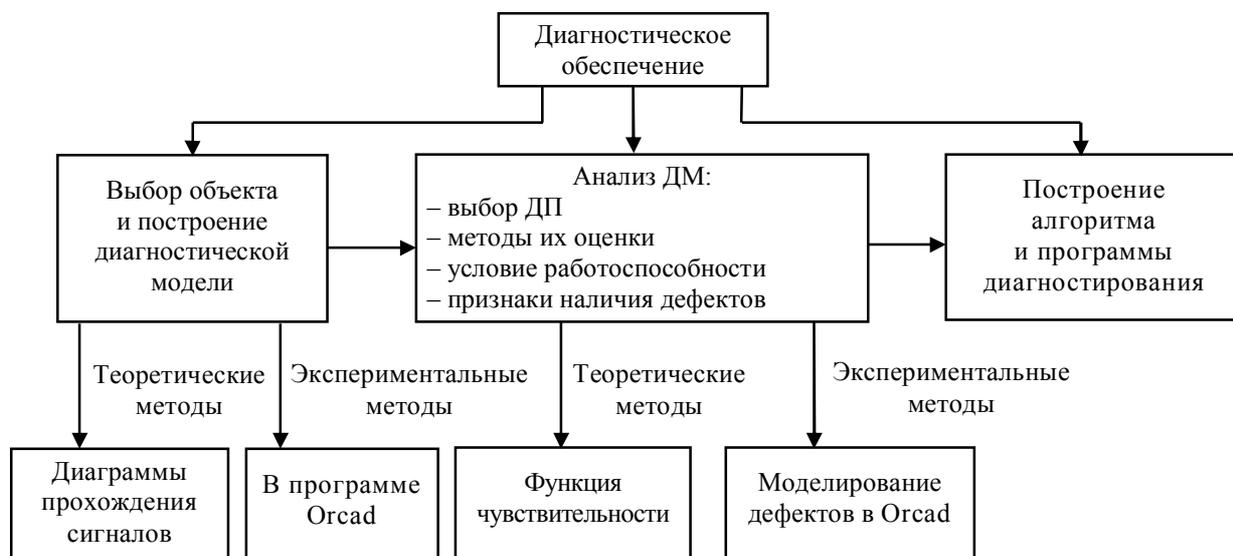


Рис. 1

В качестве примера рассмотрим ГЭУ переменного тока (рис. 2). Для удобства анализа ГЭУ выделим три части: дизель-генератор (ДГ), преобразователь частоты со звеном постоянного тока (ПЧ) и исполнительное устройство (ИУ). В работе рассмотрим первую часть – дизель-генератор.

Диагностическая модель дизеля. При построении диагностической модели рассмотрим дизель как объект, частота вращения вала которого может находиться в пределах $[0,4; 1,12]$ о. е., где 0,4 – минимальная устойчивая частота вращения вала дизеля, при которой он может работать на нагрузку, а 1,12 – максимальная частота вращения вала дизеля, при которой срабатывает регулятор частоты вращения. Область работоспособности дизеля по частоте вращения принята $0,85 \pm 3 \%$ [1].

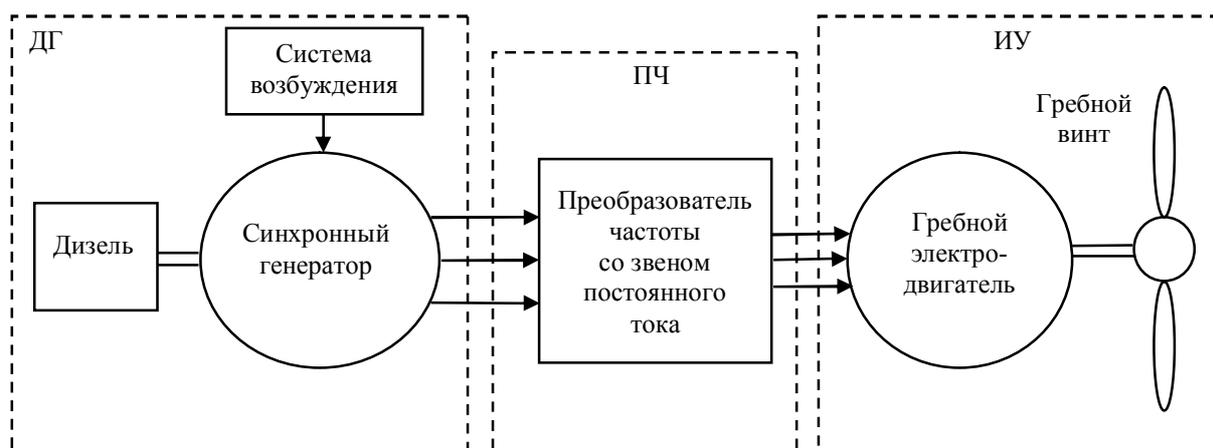


Рис. 2

Уравнение модели дизеля имеет вид

$$T \frac{d\omega}{dt} = U_T - \omega, \quad (1)$$

где ω – частота вращения вала дизеля; T – постоянная времени дизеля; U_T – тестовый сигнал, позволяющий имитировать дефекты, приводящие к выходу частоты вращения за границы области работоспособности.

Для реализации рассматриваемых дефектов дизеля предлагается в системе САПР Orcad использовать схему (рис. 3), позволяющую включением тестового сигнала управлять выходом частоты вращения вала дизеля за допустимые пределы (выше, ниже).

Формирование управляющего сигнала, задающего момент возникновения дефекта, приведено на рис. 4 [2].

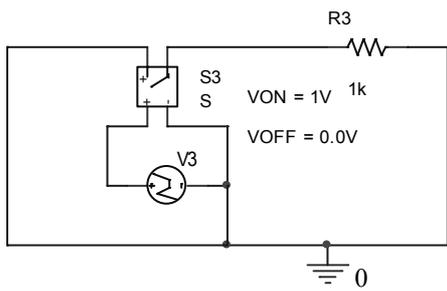


Рис. 3

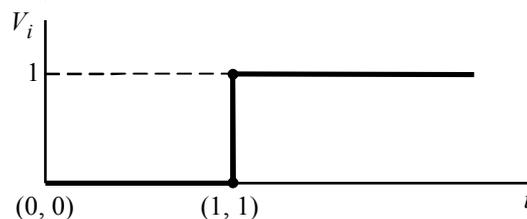


Рис. 4

Диагностическая модель дизеля в системе САПР Orcad с учетом изложенного имеет вид, приведенный на рис. 5. В ней можно выделить 4 блока:

- блок 1 позволяет решить уравнение (1);
- блок 2 для управления тестовым сигналом U_T ;
- блок 3 увеличивает частоту вращения вала дизеля;
- блок 4 уменьшает частоту вращения вала дизеля.

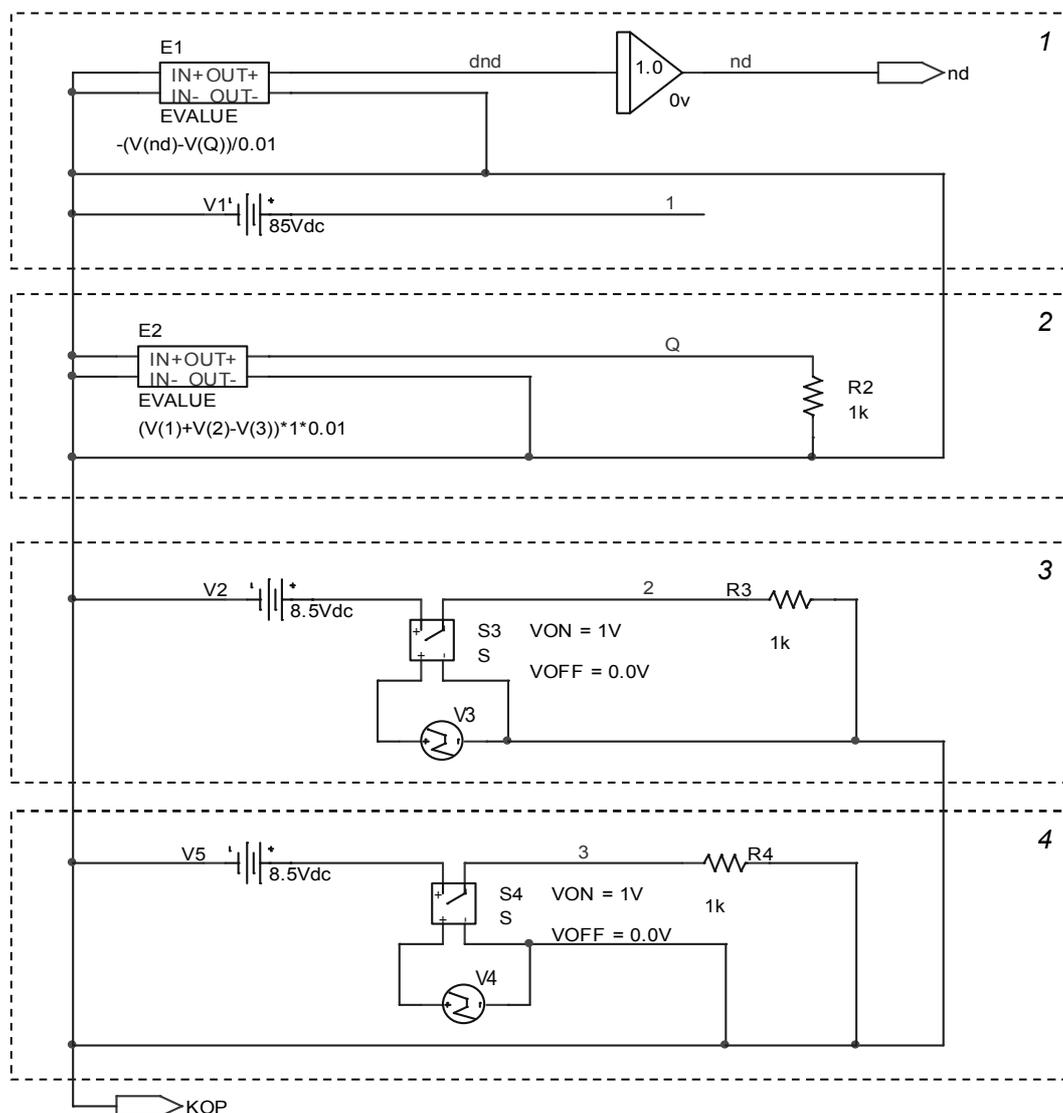


Рис. 5

Для удобства представления диагностической модели гребной электрической установки, диагностическую модель дизеля представим в компактной форме (рис. 6).

На рис. 6 введены обозначения: Diesel – название иерархического блока; nd – выход на вал, вращающийся с частотой nd ; KOP – выход на корпус судна.

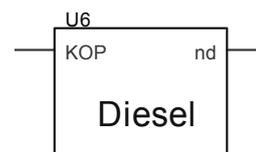
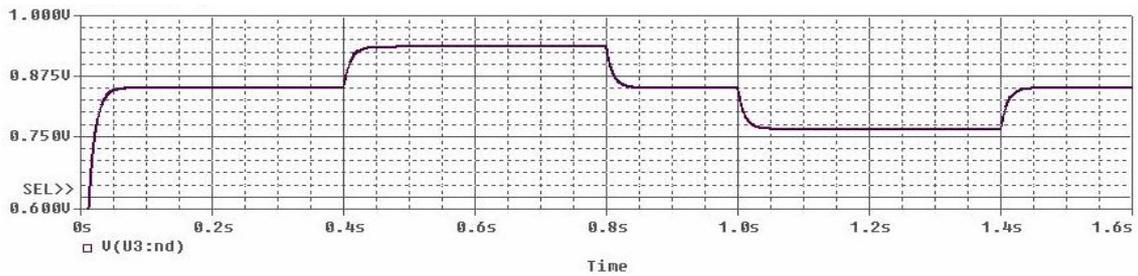
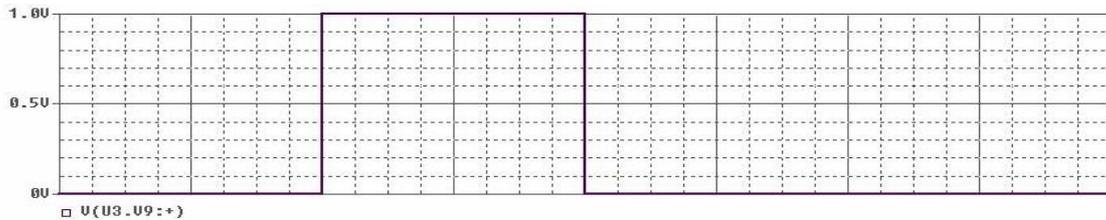


Рис. 6

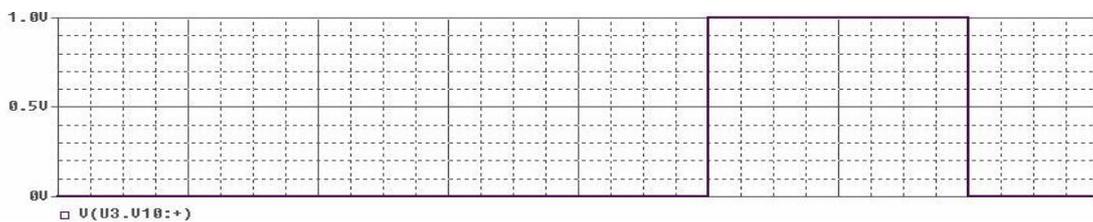
График изменения частоты вращения вала дизеля представлен на рис. 7, а; вид управляющих сигналов, позволяющих изменить частоту вращения за допустимые пределы – на рис. 7, б (выше допустимого) и рис. 7, в (ниже допустимого).



а



б



в

Рис. 7

Диагностическая модель синхронного генератора. В упрощенном виде вырабатываемое трехфазное напряжение синхронного генератора можно представить в виде

$$u_a = U_a \sin(314t + \psi_0); u_b = U_b \sin\left(314t + \psi_0 + \frac{2\pi}{3}\right); u_c = U_c \sin\left(314t + \psi_0 + \frac{4\pi}{3}\right).$$

В этом случае эти уравнения можно реализовать с помощью блока EVALUE, представив каждое из них в виде схем (рис. 8).

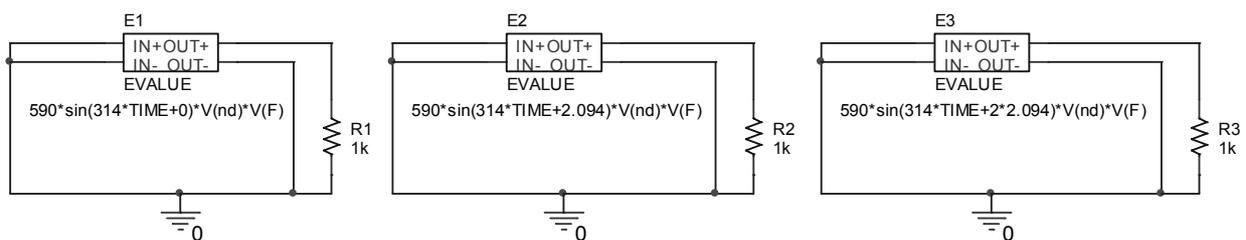


Рис. 8

Диагностическая модель синхронного генератора должна реагировать на дефекты, приводящие к пропаданию напряжения трех фаз, двух фаз, одной фазы и к выходу напряжений за допустимые пределы.

В системе САПР Orcad упрощенный синхронный генератор может быть представлен в виде схемы (рис. 9).

В диагностической модели блок 1 позволяет управлять выходом напряжения синхронного генератора за допустимые пределы «выше–ниже». Блоки 2–4 позволяют имитировать отказ типа «обрыв фаз» в любом сочетании.

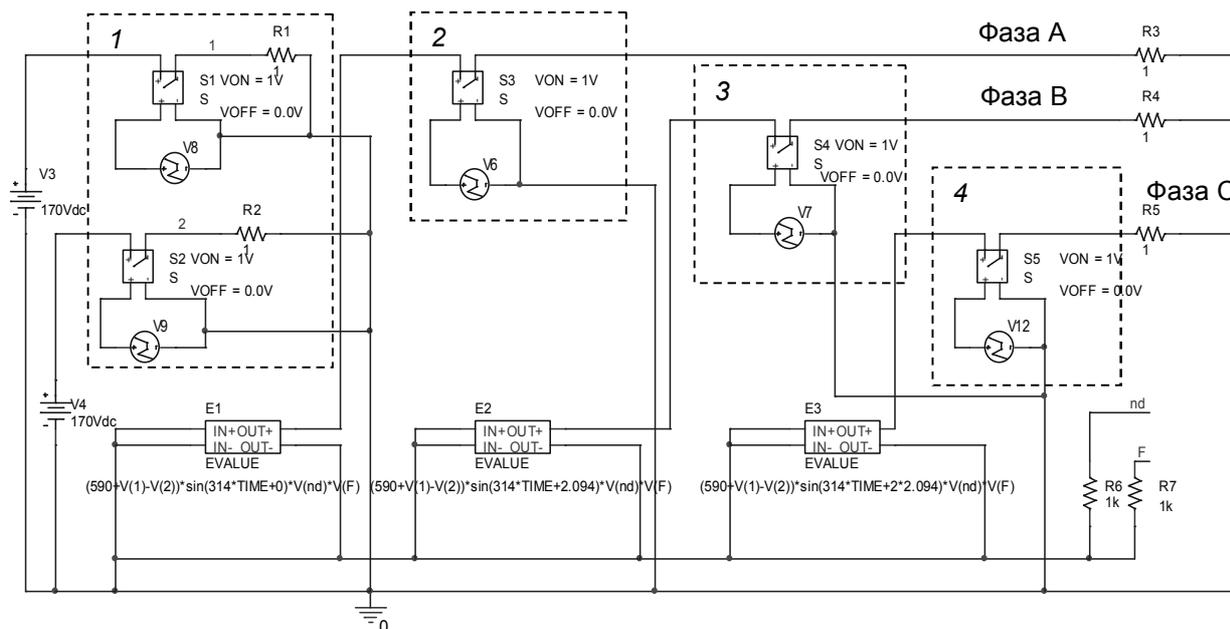


Рис. 9

Иерархическое изображение синхронного генератора в компактной форме приведено на рис. 10, где введены обозначения: F – вход, на который подается сигнал – напряжение возбуждения генератора от автоматического регулятора напряжения; nd – вход, на который подается сигнал – частота вращения дизеля; U_A, U_B, U_C – трехфазное переменное напряжение генератора соответственно; KOP – выход на корпус судна.

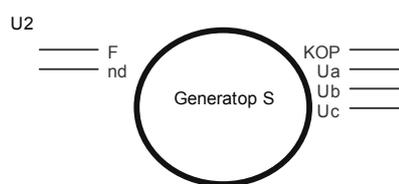


Рис. 10

Возможные виды трехфазного напряжения СГ представлены на рис. 11, а, б, в.

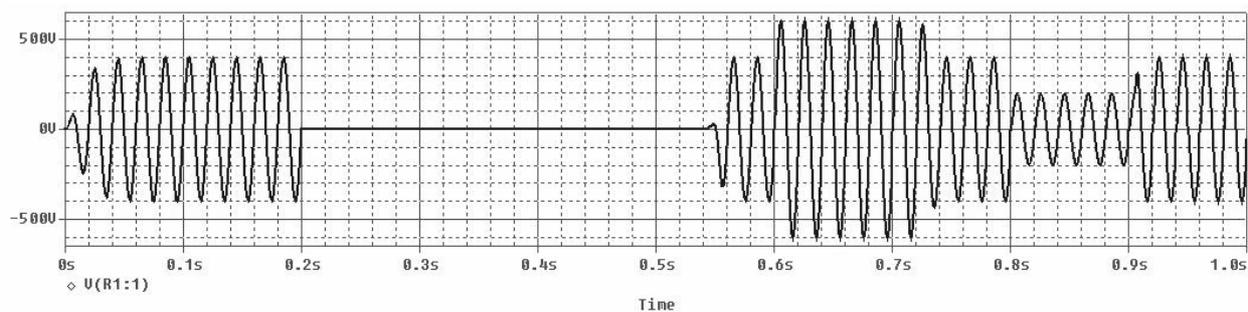
В интервале $0 \dots 0,2$ с генератор находится в работоспособном состоянии. В интервале $0,2 \dots 0,3$ с происходит обрыв фазы А; в интервале $0,3 \dots 0,4$ с обрыв двух фаз А, В; в интервале $0,4 \dots 0,5$ с обрыв трех фаз. В интервале $0,5 \dots 0,6$ с восстанавливается работоспособное состояние генератора, в интервале $0,6 \dots 0,7$ с происходит увеличение напряжения на 50 % от номинального значения – имитируется отказ СГ. В интервале $0,7 \dots 0,8$ с восстанавливается работоспособное состояние (напряжение находится в допуске), в интервале $0,8 \dots 0,9$ с уменьшается напряжения на 50 % от номинального значения – имитируется отказ СГ и в интервале $0,9 \dots 1$ с напряжение генератора восстанавливается в допустимых пределах.

Диагностическая модель системы возбуждения СГ. При построении диагностической модели системы возбуждения СГ принято допущение о том, что напряжение может изменяться в пределах $[0,5; 1,3]$ о. е.

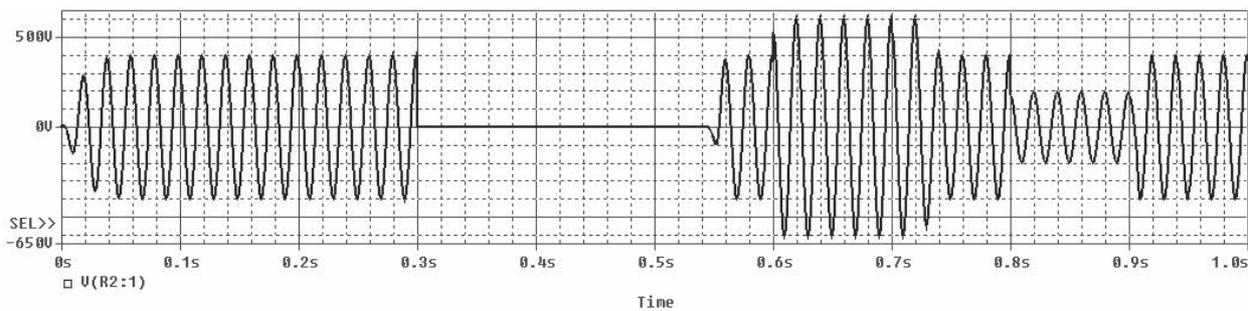
Уравнение для системы возбуждения СГ с независимым возбуждением имеет вид:

$$T \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}, \quad (2)$$

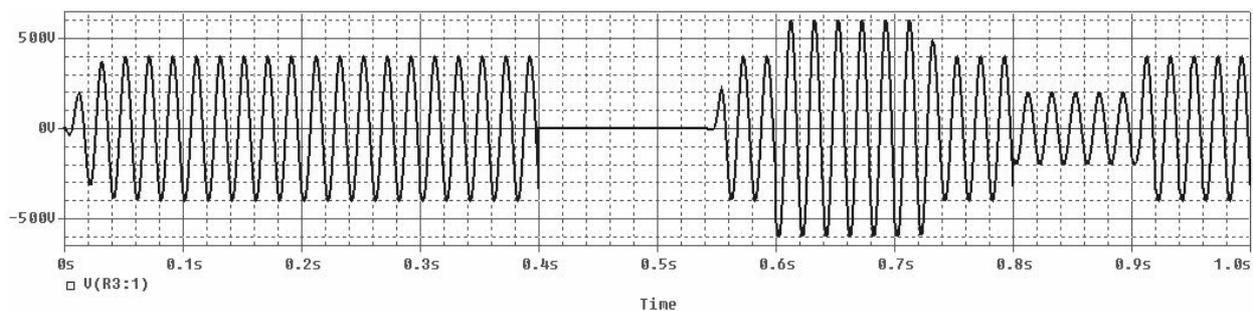
где $U_{\text{ВХ}}$ – напряжение питания обмотки возбуждения; $U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжение, подаваемое на обмотку синхронного генератора; T – постоянная времени системы возбуждения.



a



б



в

Рис. 11

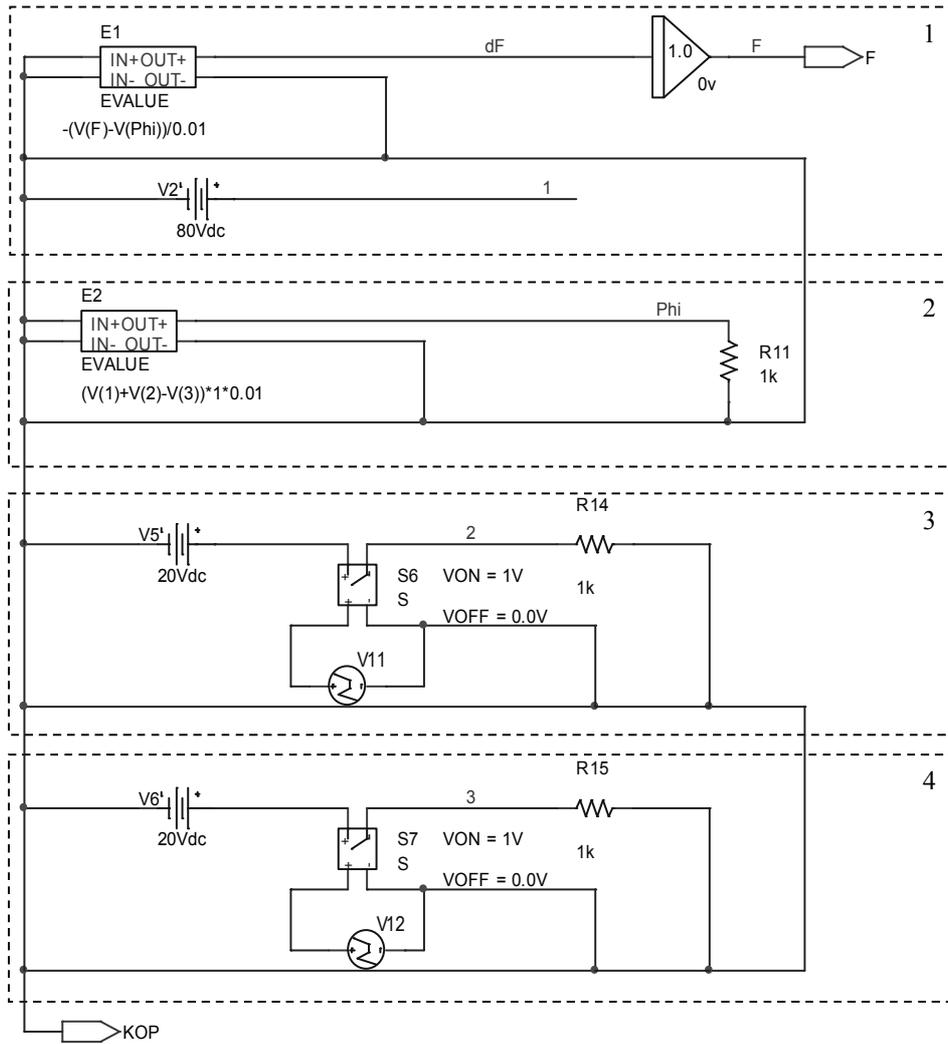
Для реализации дефектов системы возбуждения СГ предлагается в системе Orcad использовать схему (см. рис. 3 и 4), позволяющую управлять выходом напряжения возбуждения СГ за допустимые пределы.

Диагностическая модель системы возбуждения СГ в системе Orcad приведена на рис. 12. В ней можно выделить 4 блока:

- блок 1 решает уравнение (2);
- блок 2 управляет входным напряжением $U_{\text{ВХ}}$ системы возбуждения СГ;
- блок 3 увеличивает выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ выше допустимых пределов;
- блок 4 уменьшает выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ ниже допустимых пределов.

Компактная форма модели системы возбуждения СГ представлена на рис. 13, введены обозначения: F – напряжение возбуждения СГ, которое поступает на вход синхронного генератора; КОР – выход на корпус судна.

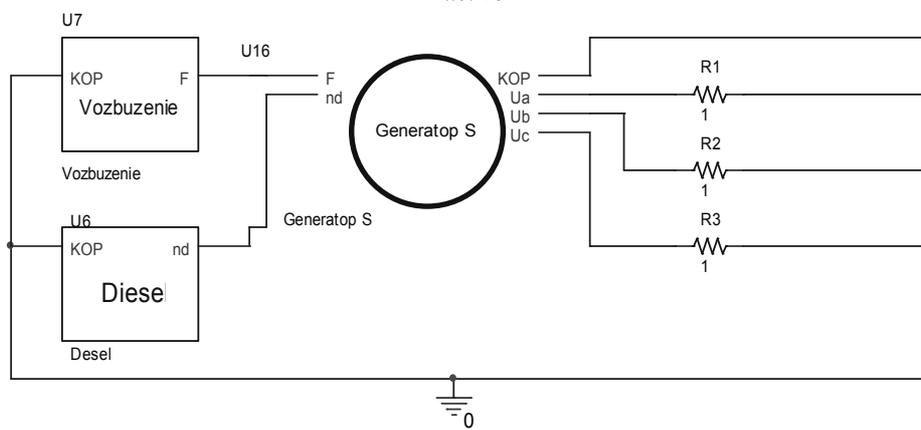
Общая схема диагностической модели дизель-генератора представлена на рис. 14.



Puc. 12



Puc. 13



Puc. 14

В работе построена диагностическая модель дизель-генератора гребной электрической установки переменного тока. Модель дает возможность имитировать отказы дизеля и синхронного генератора, например изменение частоты вращения вала дизеля в области работоспособности и вне области работоспособности, пропадание или увеличение трехфазного напряжения генератора, а также исследовать влияние дефектов на работоспособность ГЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскобович В. Ю., Калявин В. П., Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель дизель-генератора гребной электрической установки. Сб. научн. статей. Вып. XXV / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008.
2. Воскобович В. Ю. Моделирование гребных электрических установок переменного тока с использованием системы Orcad. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Гребные электрические установки». – СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. 52 с.

Nguyen Van Chien, Nguyen Tien Thang

DIAGNOSTIC MODEL OF THE DIESEL ENGINE-GENERATOR OF PROPELLING ELECTRIC INSTALLATION OF THE ALTERNATING CURRENT (PEI)

Procedure and development of diagnostic model of the diesel engine-generator on the basis of programs Orcad. Modelling of the defects spending to refusal PEI. Consideration of influence of defects on workability PEI.

Diagnostic maintenance PEI, structural scheme PEI, mathematical model of the diesel engine-generator, diagnostic model of the diesel engine-generator

УДК 681.511.26

Во Конг Фьонг

ПРЯМЫЕ АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Приводятся результаты моделирования системы прямого адаптивного управления (АУ) двухмассовым линейным упругим электромеханическим объектом с применением нейронной сети, демонстрирующие схемы управления эффективность и улучшение динамических характеристик, после того как возмущения поставлены на объект.

Математическое описание, алгоритм прямого адаптивного управления линейными нестационарными динамическими объектами

Рассмотрим линейный стационарный объект, описываемый уравнением

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_0 \mathbf{x} + \mathbf{B}_0 u(t), \quad (1)$$

где \mathbf{A}_0 , \mathbf{B}_0 – постоянные матрицы.

Пусть класс адаптируемых объектов задан стационарным приближением (1), где матрицы \mathbf{A}_0 , \mathbf{B}_0 неизвестны, а вектор $\mathbf{x}(t)$ полностью доступен измерению, и пусть желаемые показатели адаптивной системы характеризуются поведением эталонной модели вида

$$\dot{\mathbf{x}}_M = \mathbf{A}_M \mathbf{x}_M + \mathbf{B}_M u^0(t),$$

где $u(t) = u_a(t) + u_0(t)$, $u_0(t)$ – программное управление, а $u_a(t)$ – адаптивный закон, подлежащий определению; \mathbf{A}_M , \mathbf{B}_M – $n \times n$ и $n \times m$ -мерные постоянные матрицы, \mathbf{A}_M – гурвицева матрица.

Структура беспоискового адаптивного закона имеет вид линейной функции по $\mathbf{x}(t)$ и $u(t)$:

$$u_a(t) = \mathbf{K}_A \mathbf{x}(t) + \mathbf{K}_B u_0(t),$$

где \mathbf{K}_A , \mathbf{K}_B – матрицы настраиваемых параметров, выбираемые в виде матричных дифференциальных уравнений вида [3]

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{K}}_A &= -\Gamma_A \mathbf{B}_0^T \mathbf{P} \mathbf{e} \mathbf{x}^T; \\ \dot{\mathbf{K}}_B &= -\Gamma_B \mathbf{B}_0^T \mathbf{P} \mathbf{e} u_0^T,\end{aligned}\quad (2)$$

где $\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_M$ – переменная ошибка; Γ_A , Γ_B – произвольно выбираемые $(n \times m)$ -мерные симметричные (в частности, диагональные) положительно определенные матрицы коэффициентов усиления настроек, а матрица \mathbf{P} – удовлетворяет известному уравнению Ляпунова:

$$\mathbf{A}_M^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A}_M = -\mathbf{G}, \text{ где } \mathbf{G} = \mathbf{G}^T > 0.$$

Структура прямой адаптивной системы управления линейными объектами с применением нейронных сетей показана на рис. 1.

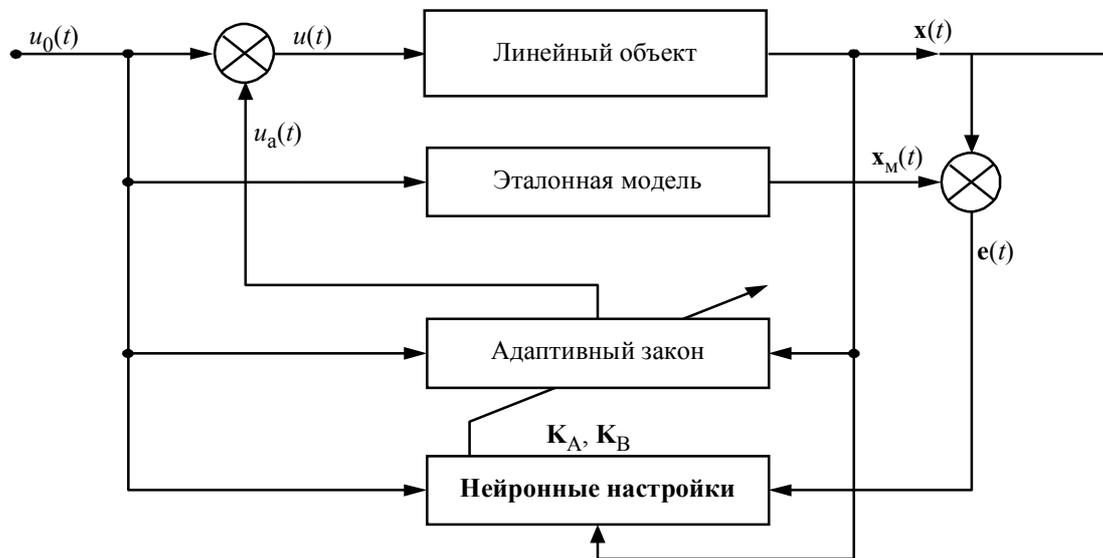


Рис. 1

Используя структуру прямой адаптивной системы управления, будем обучать нейронную сеть, чтобы она выполняла часть функций в общей системе, – которая реализует алгоритм параметрической настройки (2). Таким образом мы получим структуру прямой адаптивной системы управления линейными объектами с применением нейронной сети.

Многослойные искусственные нейронные сети. Многослойные сети (рис. 2) могут образовываться каскадами слоев – выход одного слоя является входом для последующего. Подобная сеть на рисунке изображена со всеми соединениями. Многослойные сети не могут привести к увеличению вычислительной мощности по сравнению с однослойной сетью лишь в том случае, если активационная функция между слоями будет нелинейной. Вычисление выхода слоя заключается в умножении входного вектора на первую весовую матрицу с последующим умножением:

$$\begin{aligned}y_1 &= \varphi_1(v_1) = \varphi_1(\mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{x} + \mathbf{b}_1); \\ y_l &= \varphi_l(v_l) = \varphi_l(\mathbf{W}_l \cdot \mathbf{y}_{l-1} + \mathbf{b}_l); \\ y_l &= \varphi_l(v_l) = \varphi_l(\mathbf{W}_l \cdot (\mathbf{W}_{l-1} \cdot (\dots) + \mathbf{b}_{l-1}) + \mathbf{b}_l),\end{aligned}$$

где \mathbf{x} – входной вектор, \mathbf{y}_l – выходные векторы l -го слоя, \mathbf{W}_l – весовая матрица l -го слоя, \mathbf{b}_l – порог вектора l -го слоя.

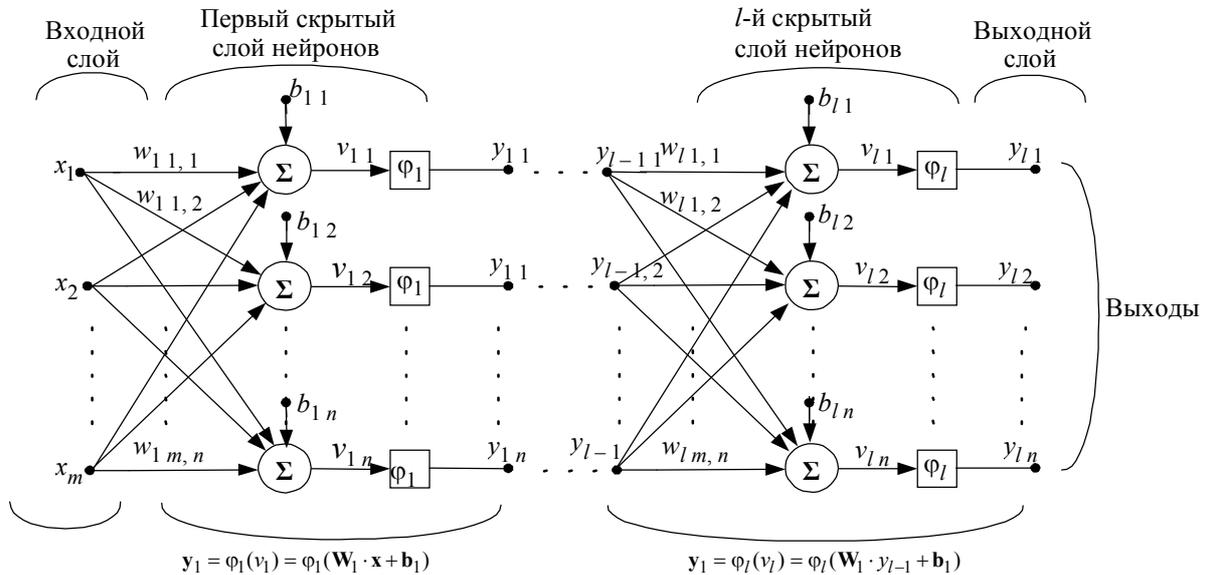


Рис. 2

Обучающий алгоритм обратного распространения ошибки. Сигнал ошибки выходного j -го нейрона на n -го итерации (соответствующей n -му примеру обучения) определяется соотношением:

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n),$$

где $e_j(n)$ – сигнал ошибки на выходе j -го нейрона на n -й итерации; $d_j(n)$ – желаемый отклик j -го нейрона, $d_j(n)$ используется для вычисления $e_j(n)$; $y_j(n)$ – функциональный сигнал, генерируемый на выходе j -го нейрона на n -й итерации.

Текущее значение энергии ошибки j -го нейрона определим как $\frac{1}{2}e_j^2(n)$. Соответственно текущее значение $E(n)$ общей энергии ошибки сети вычисляется путем сложения величин по всем нейронам выходного слоя. Это «видимые» нейроны, для которых сигнал ошибки может быть вычислен непосредственно. Таким образом, можно записать:

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n),$$

где множество C включает все нейроны выходного слоя сети.

Коррекция $\Delta w_{ji}(n)$, применяемая к $w_{ji}(n)$, определяется согласно дельта-правилу (delta rule):

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)}, \quad (3)$$

где η – параметр скорости обучения (learning rate parameter) алгоритма обратного распространения. Использование знака «минус» в (3) связано с реализацией градиентного спуска

(gradient descent) в пространстве весов (т. е. поиском направления изменения весов, уменьшающего значение энергии ошибки $E(n)$).

Структура нейросетевого регулятора. На выбор структуры нейронной сети влияют многие факторы, и одним из главных является время обучения для достижения желаемых результатов. Время обучения нейронной сети зависит от производительности компьютера и алгоритма обучения. В данной работе процесс экспериментального исследования показывает, что структура нейронной сети, состоящая из входного, скрытого и выходного слоев достаточна для выполнения поставленной задачи. На основании числа входных и выходных переменных выберем число нейронов в входном слое равным 9, в выходном – равным 5. Число нейронов в скрытом слое было выбрано равным 9. В обучении нейронной сети был применен алгоритм обратного распространения ошибки. Структура такого регулятора представлена на рис. 3.

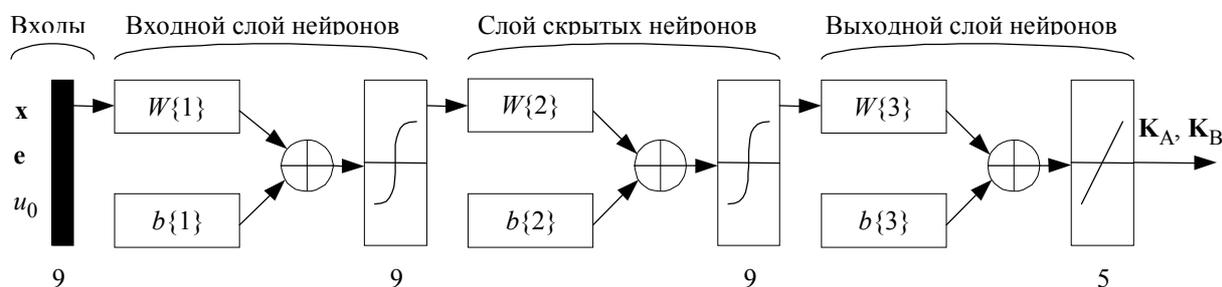


Рис. 3

Результаты моделирования. На рис. 4, 5 представлены переходные процессы угла поворота нагрузки линейного объекта с коэффициентами усиления второй скорости объекта $\beta_{II} = 2,5$ и $\beta_{II} = 25$ соответственно. Из полученных графиков видно, что в рассматриваемом объекте возникают упругие колебания со второй парциальной собственной частотой и объект не устойчив.

Далее представлены графики переходных процессов угла поворота системы АУ (кривая 1) и АУ с нейронной сетью (кривая 2) при изменении различных параметров.

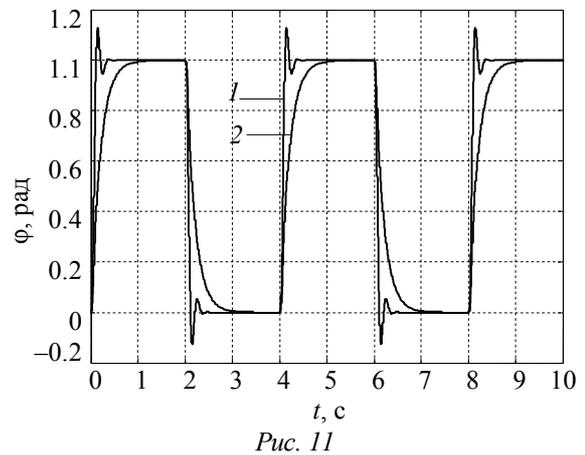
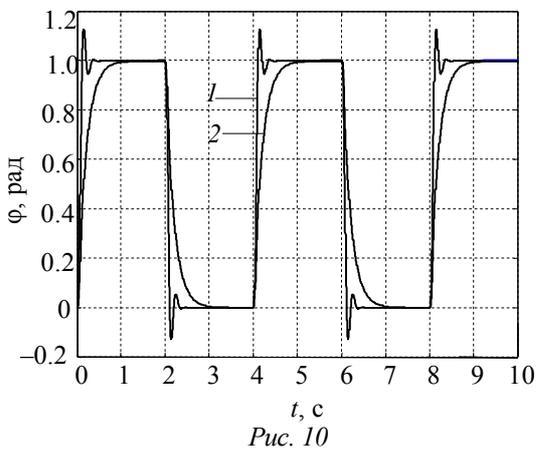
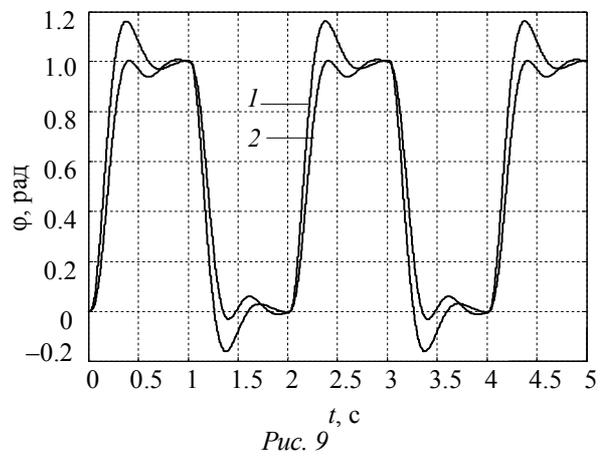
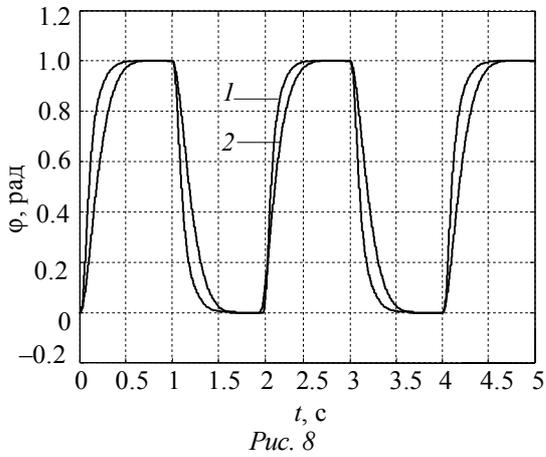
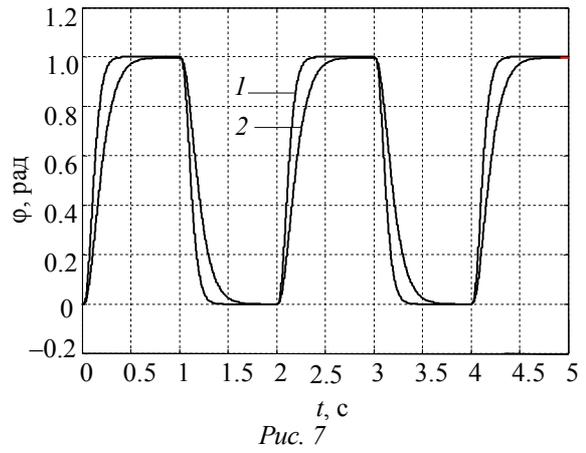
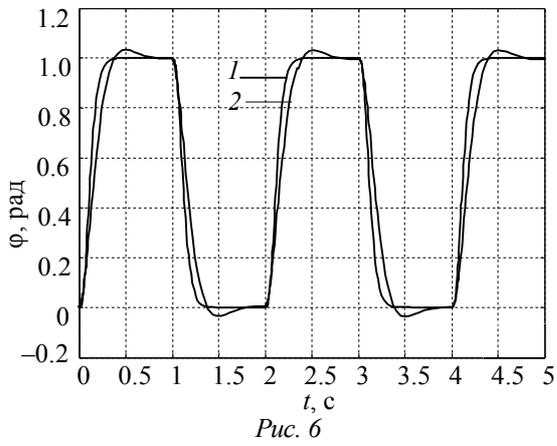
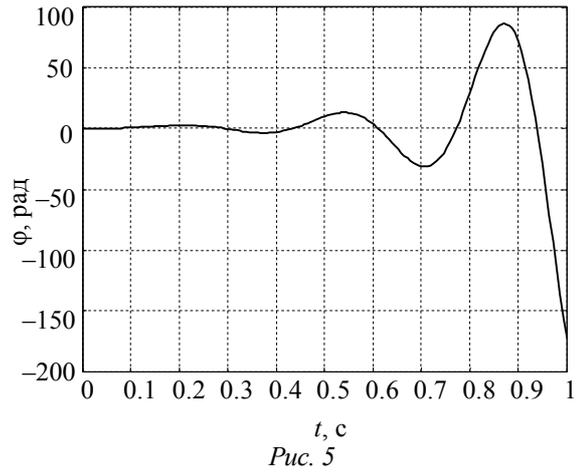
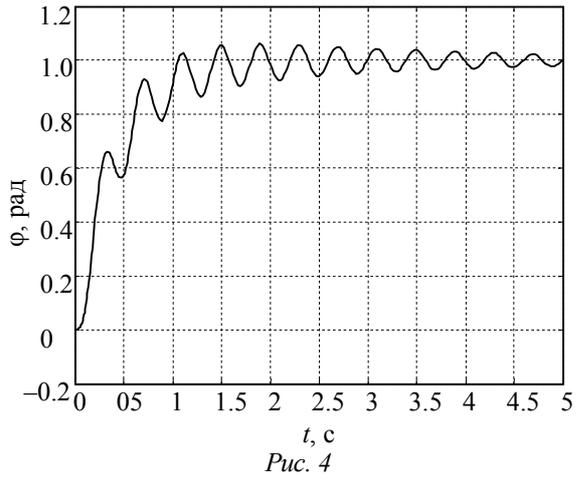
На рис. 6 представлены переходные процессы системы АУ с нейронной сетью $\beta_{II} = 250$, а на рис. 7 $\beta_{II} = 25$ и коэффициент упругости $p = p_0 = 25$.

На рис. 8, 9 показаны переходные процессы системы с $p = 3p_0$ и $p = p_0/3$ соответственно при одинаковой величине $\beta_{II} = 25$.

На рис. 10, 11 показаны переходные процессы системы с коэффициентами инерции второго диска $J_2 = 3J_{02}$ и $J_2 = J_{02}/3$ соответственно при $p = p_0$ и $\beta_{II} = 25$.

Характеристики системы АУ с возмущением частотой синусоиды при различных частотах $f_{воз} = 0,5; 1; 2$ Гц приведены на рис. 12.

На рис. 13–15 представлены результаты сравнительных характеристик системы АУ (кривая 1) и АУ с нейронной сетью (кривая 2), в случае моделирования с учетом возмущения типа синусоидального закона, при рассматриваемых частотах (рис. 13 – $f = 0.5$ Гц; рис. 14 – $f = 2$ Гц; рис. 15 – $f = 1$ Гц).



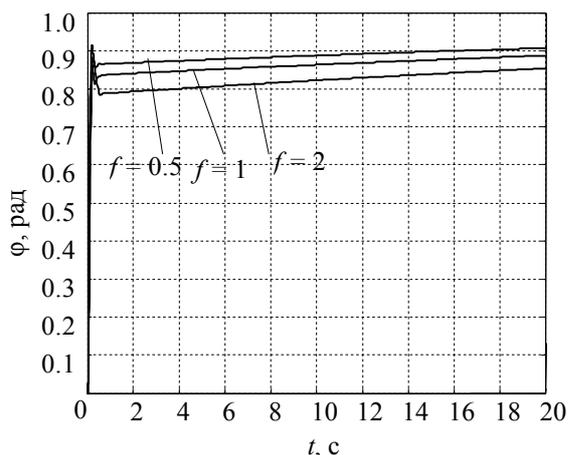


Рис. 12

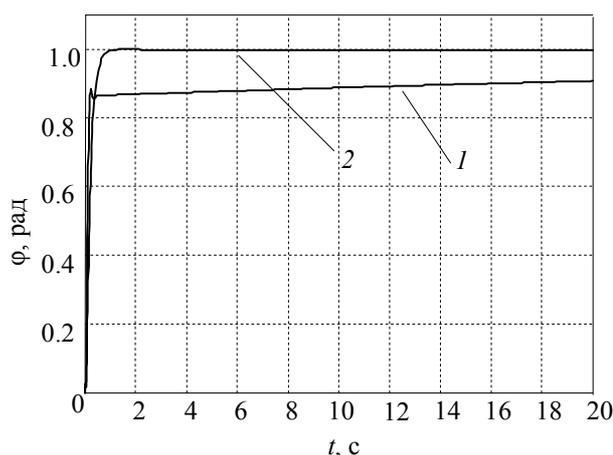


Рис. 13

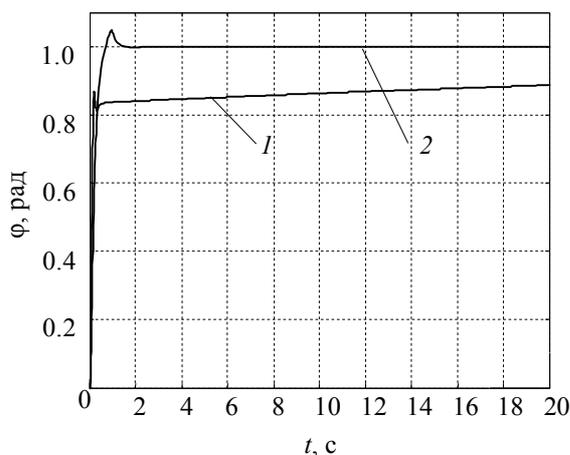


Рис. 14

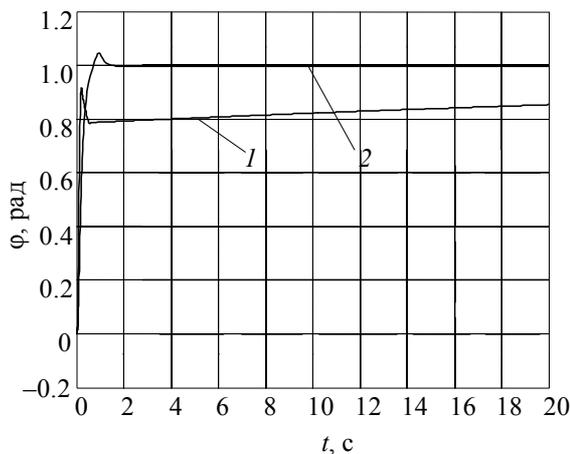


Рис. 15

Таким образом, адаптивная система с нейросетевой настройкой алгоритмов адаптации K_A и K_B работает не лучше, чем «учитель», но тем не менее время переходного процесса достаточно мало. Результаты показали, что схема управления может эффективно работать и динамические характеристики улучшения, когда возмущения были поставлены на объект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путов В. В., Зунг Ч. А. Исследование прямой беспоисковой адаптивной системы с параметрической настройкой для управления двухмассовыми нелинейными упругими электромеханическими объектами // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Автоматизация и управление». 2006.
2. Путов В. В. Методы построения адаптивных систем управления нелинейными нестационарными динамическими объектами с функционально-параметрической неопределенностью: Дисс... д-ра техн. наук / СПбГЭТУ, 1993.
3. Путов В. В., Шелудько В. Н. Адаптивные и модальные системы управления многомассовыми упругими механическими объектами СПб.: Элмор, 2007.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. / Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.
5. Alexander I. G., Neural Networks Theory. Springer Press, 2007.
6. Hagan M. T., Demuth H. B. Neural Network Design. PWS Publishing Company, 1996.
7. Omid O. Elliott D. L. Neural Systems for Control. Elsevier Science & Technology Books, 1997.
8. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Second ed. Prentice Hall International, Inc. 1999.

Vo Cong Phuong

DIRECT ADAPTIVE CONTROL SYSTEM USING NEURAL NETWORKS FOR LINEAR ELECTROMECHANICAL OBJECTS

This article gives the results of simulation of direct adaptive control system using neural networks for linear electromechanical objects. The results have shown that the control schema can effectively work and improve the dynamic performances when we put the disturbance on objects.

Mathematic model, control system, neural network, adaptive control, electromechanical objects



УДК 681.2.08

Е. А. Баринова, Е. М. Иващенко, П. А. Павлов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ГОНИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Исследованы погрешности гониометрической системы, построенной на принципе комплексирования кольцевого лазера и оптического датчика угла. Описаны методы определения случайной и систематической погрешностей гониометрической системы. Приведены результаты экспериментальных исследований погрешности лазерной гониометрической системы при использовании различных систем управления вращением. Произведена оценка неисключенной систематической погрешности оптического датчика угла.

Гониометрическая система, кольцевой лазер, оптический датчик угла, угловые измерения

В настоящее время угловые измерения находят широкое применение в целом ряде отраслей приборостроительного производства, науке и технике. Вследствие неуклонно возрастающих требований к средствам измерений угла значимой является проблема совершенствования средств их метрологического обеспечения. Потенциальные возможности современной лазерной динамической гониометрии, использующей фундаментальные свойства лазера с кольцевым резонатором, составляют величину порядка тысячных долей угловой секунды [1]. Наиболее перспективными с точки зрения точностных характеристик и функциональных возможностей являются гониометрические системы, использующие принцип комплексирования двух преобразователей угла – кольцевого лазера (КЛ) и оптического датчика угла (ОДУ), в основу которых положены принципиально различные физические эффекты. Примерами таких систем в России являются эталон единицы плоского угла при угловом перемещении твердого тела (ГЭТ 94-01) и измерительно-вычислительный комплекс «УППУ-1» [2].

Блок-схема гониометрической системы изображена на рис. 1. Основу гониометрической системы составляют кольцевой лазер 5 и инкрементный оптический датчик угла 3, жестко закрепленные на шпинделе аэростатической опоры 2, и привод, состоящий из двигателя 4 и системы управления двигателем 7. Привод осуществляет вращение шпинделя с заданной скоростью. Выходные сигналы ОДУ и КЛ пропускаются через соответствующие преобразователи сигналов и направляются в интерфейс, осуществляющий предварительную обработку

данных (блок электроники 6) и передачу их в персональный компьютер 8. Поворотная платформа 1 предназначена для установки и фиксации внешних калибруемых преобразователей угла.

Методы исследований погрешностей гониометрической системы. Порядок проведения измерений и последующей обработки полученных данных определяется используемыми методами, разработанными для определения метрологических характеристик лазерных гониометрических систем.

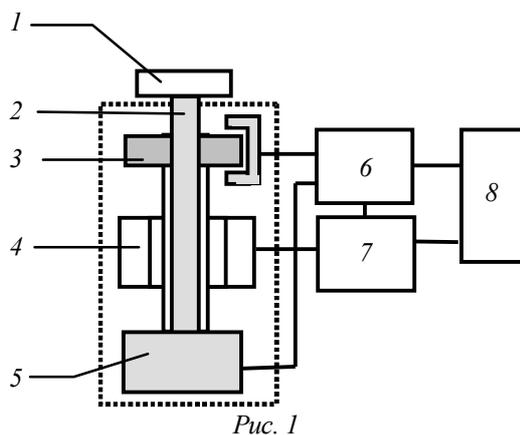
Для определения систематических погрешностей входящих в систему преобразователей угла используется метод кросс-калибровки, заключающийся в проведении измерений при последовательных разворотах КЛ относительно ОДУ. Каждое измерение выполняется в течение нескольких оборотов M ротора системы. Число разворотов КЛ выбирается обычно в диапазоне от 3 до 6. Усреднение результатов измерений по положениям позволяет определить систематическую погрешность ОДУ и КЛ [3].

Для уменьшения погрешности гониометрической системы предлагается методика обработки измерительной информации, которая включает в себя:

1. Устранение влияния нестабильности скорости вращения КЛ через компенсацию обобщенного сдвига нуля [4].
2. Удаление линейного тренда на всей длине реализации.
3. Фильтрацию в низкочастотной и высокочастотной областях с использованием дискретного преобразования Фурье.
4. Разбиение по оборотам с последующим усреднением.
5. Повторение указанных действий для каждого измерения (по числу положений КЛ).
6. Усреднение результатов по различным положениям КЛ.

При выборе способа фильтрации основным требованием является неискажение полезного сигнала. При исследованиях преобразователей угла гониометрической системы полезным сигналом служит отклонение действительных значений углов преобразователей от их номинальных значений. Частотный спектр полезного сигнала находится в частотном диапазоне $f_1 \leq f \leq f_{\max}$, где f_1 – частота вращения КЛ; f_{\max} – максимальная частота полезного сигнала, значение которой зависит от типа углового датчика.

Для исследования случайных погрешностей КЛ и ОДУ был разработан метод, позволяющий определять случайную погрешность каждого из преобразователей угла при их совместной работе [5]. Метод реализуется при одновременном съеме данных, осуществляемом КЛ и двумя головками ОДУ, который синхронизируется сигналами одной головки ОДУ. Блок-схема метода исследования случайных погрешностей гониометрической системы представлена на рис. 2.



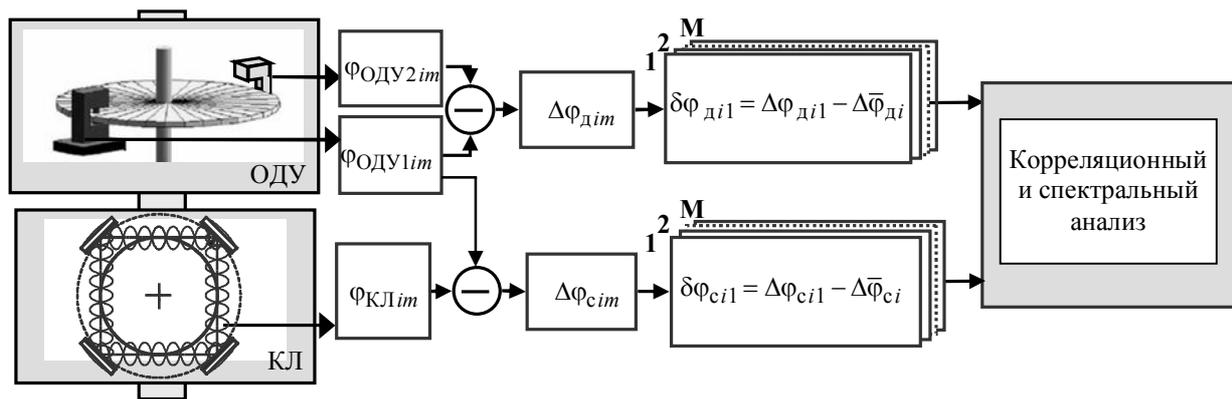


Рис. 2

В течение M оборотов шпинделя гониометрической системы с закрепленными на нем преобразователями угла, КЛ и двумя считывающими головками ОДУ измеряются углы его поворота: $\Phi_{\text{КЛ}im}$, $\Phi_{\text{ОДУ}1im}$ и $\Phi_{\text{ОДУ}2im}$, где i – номер измерения внутри оборота; m – номер оборота. Далее находится разность результатов измерений, полученных с двух головок ОДУ $\Delta\varphi_{\text{Д}im}$ (канал обработки 1), а также с КЛ и синхронизирующей головки ОДУ $\Delta\varphi_{\text{С}im}$ (канал обработки 2): $\Delta\varphi_{\text{Д}im} = \Phi_{\text{ОДУ}2im} - \Phi_{\text{ОДУ}1im}$; $\Delta\varphi_{\text{С}im} = \Phi_{\text{КЛ}im} - \Phi_{\text{ОДУ}1im}$.

Для каждого оборота m формируется массив случайных величин:

$$\delta\varphi_{\text{Д}im} = \Delta\varphi_{\text{Д}im} - \bar{\varphi}_{\text{Д}i}; \quad \delta\varphi_{\text{С}im} = \Delta\varphi_{\text{С}im} - \bar{\varphi}_{\text{С}i},$$

где $\Delta\bar{\varphi}_{\text{Д}i} = \frac{1}{M} \sum_1^M \Delta\varphi_{\text{Д}im}$; $\Delta\bar{\varphi}_{\text{С}i} = \frac{1}{M} \sum_1^M \varphi_{\text{С}im}$.

Так как синхронизация съема данных осуществляется головкой ОДУ, то случайная погрешность в канале 2 обусловлена как случайной погрешностью КЛ, так и погрешностью ОДУ, а случайная погрешность в канале 1 включает случайные погрешности двух считывающих головок. В силу различной природы формирования угловых шкал ОДУ и КЛ, можно считать, что происходящие в них случайные процессы некоррелированы. Использование корреляционного и спектрального анализа применительно к полученным массивам случайных величин позволяет выявить источники случайной погрешности преобразователей угла.

Экспериментальные исследования направленные на изучение влияния нестабильности скорости вращения шпинделя на погрешность гониометрической системы, проводились на одноосном стенде, созданном ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» для СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в рамках инновационного проекта. В состав одноосного стенда входят кольцевой лазер типа ГЛ-1, характеризующийся систематической погрешностью, сосредоточенной на частоте его вращения [2], и оптический датчик типа ПКГ-105М с ценой деления 4", имеющий систематическую погрешность, не превышающую $\pm 0,2''$ и сосредоточенную в основном на 2, 4 гармониках частоты вращения ротора ОДУ [3].

Исследования гониометрической системы проводились при использовании различных систем управления вращением. Были реализованы следующие системы управления вращением:

– синхронный двигатель типа RSM с контроллером управления Unidrive SP1201; ротор двигателя жестко соединен со шпинделем аэростатической опоры;

– синхронный двигатель типа RSM с контроллером управления Unidrive SP1201; ротор двигателя соединен со шпинделем аэроэстатической опоры посредством муфты типа K-15 фирмы «Heidenhain»;

– двигатель постоянного тока, передающий движение на шпиндель аэроэстатической опоры посредством пассика.

Вращение шпинделя, осуществляемое синхронным двигателем с контроллером управления, характеризуется высокой стабильностью скорости вращения за оборот и наличием внутриоборотных угловых колебаний. Спектр угловых колебаний шпинделя гониометрической системы с синхронным двигателем типа RSM и контроллером управления Unidrive SP1201 представлен на рис. 3. Частотное распределение угловых колебаний шпинделя обусловлено наличием 20 пар полюсов у используемого синхронного двигателя. Основными являются 20-, 30- и 40-я гармоники частоты вращения шпинделя. Отметим, что такой характер частотного распределения угловых колебаний шпинделя не зависит от значения угловой скорости, при изменении скорости вращения изменяется только амплитуда гармоник.

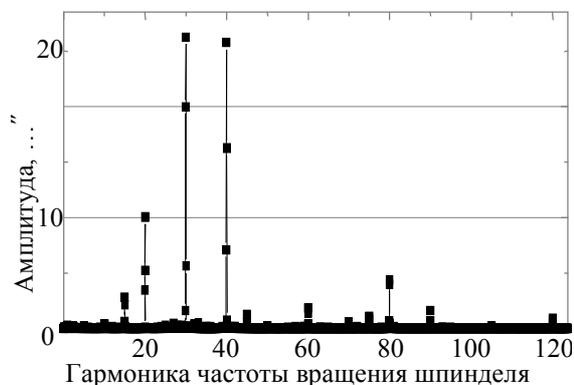


Рис. 3

При вращении шпинделя двигателем постоянного тока через пассик не наблюдается высокой оборотной стабильности, но при этом практически отсутствуют внутриоборотные угловые колебания шпинделя.

Результаты исследований. Вращение шпинделя гониометрической системы синхронным двигателем, ротор которого жестко соединен со шпинделем, вызвало появление высокочастотных гармоник в спектре случайной и систематической погрешностей ОДУ. При этом наибольший вклад в погрешность вносят 30-я, 40-я и кратные им гармоники частоты вращения шпинделя. Из проведенного анализа следует, что имеется корреляция угловых колебаний шпинделя при его вращении и систематической, и случайной составляющими погрешности ОДУ.

Причиной появления высокочастотных гармоник в спектре случайной и систематической погрешностей ОДУ может служить неоднородное магнитное поле двигателя, которое вызывает радиальный бой ротора двигателя и как результат радиальный бой шпинделя гониометрической системы.

Для устранения радиальных колебаний шпинделя, обусловленных магнитным полем двигателя, в состав станда была введена муфта типа K-15 фирмы «Heidenhain», которая обладает высокой жесткостью в осевом направлении и малой жесткостью в радиальном. Муфта соединила ротор двигателя и шпиндель гониометрической системы.

Результаты исследований в этом случае показали, что возмущения шпинделя системы практически не оказывают влияние на случайную и систематическую погрешности ОДУ. На рис. 4 представлен график корреляционной функции погрешности ОДУ, полученной при вращении посредством синхронного двигателя, соединенного через муфту (кривая 1). Как можно видеть из рисунка, корреляционная функция практически совпадает с корреляционной функцией белого шума. При этом случайная погрешность распределена по нормальному закону с СКО единичного измерения 0,05".

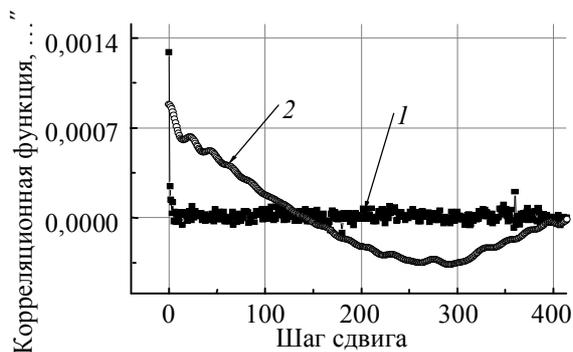


Рис. 4

ный характером вращения ротора двигателя. В то же время неисключенные муфтой угловые колебания шпинделя оказывают ощутимое влияние на погрешность КЛ. Для уменьшения их влияния на погрешность КЛ была произведена фильтрация данных согласно описанной методике обработки. Полоса пропускания используемого полосового фильтра была выбрана равной: $0,75f_1 \leq f \leq 18f_1$. Корреляционная функция случайной погрешности КЛ после фильтрации входных данных представлена на рис. 4 (кривая 2). Ее вид соответствует корреляционной функции низкочастотного случайного процесса, которая характерна для корреляционной функции случайной погрешности КЛ [1]. Анализ гистограммы плотности распределения случайной погрешности КЛ после фильтрации показал, что ширина разброса уменьшилась на порядок и закон распределения является одномодальным, но не является нор-

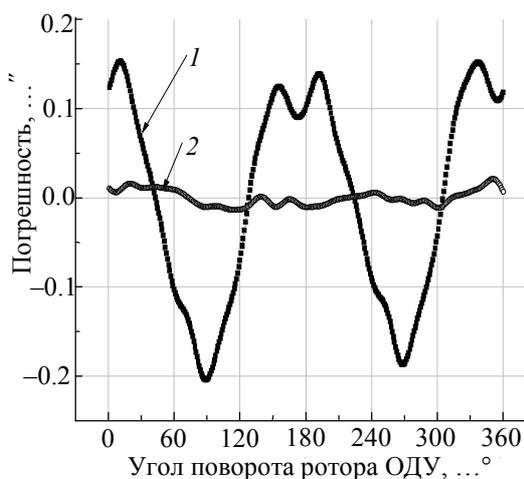


Рис. 5

мальным. Результаты такого сравнительного анализа показали, что использование развязывающей муфты между ротором двигателя и шпинделем системы совместно с обработкой данных, получаемых с КЛ, по предложенной методике позволяют получать достоверные результаты случайной и систематической погрешностей ОДУ. Это подтверждается кривой 2 (рис. 5), которая демонстрирует разность между систематическими погрешностями ОДУ, полученными в результате сравнительного анализа.

Сравнительный результат показал, что использование в гониометрической системе двигателя постоянного тока совместно с пассивиком обеспечивает минимальные возмущения шпинделя при его вращении. При этом случайные погрешности ОДУ и КЛ распределены по нормальному закону. Корреляционная функция случайного процесса ОДУ имеет вид корреляционной функции белого шума, а корреляционная функция случайного процесса КЛ имеет вид, аналогичный представленному кривой 2 на рис. 4.

В то же время анализ корреляционной функции показал наличие высокочастотных колебаний в погрешности КЛ, частотный спектр которых во многом определяется угловыми колебаниями шпинделя системы. Закон распределения случайной погрешности КЛ при этом является двумодальным.

Таким образом, муфта, соединяющая ротор двигателя и шпиндель системы, позволила устранить источник погрешности ОДУ, обусловлен-

мальным.

Устранение влияния источников погрешности КЛ и ОДУ, обусловленных характером вращения шпинделя системы, позволило определить систематическую погрешность ОДУ, которая представлена на рис. 5 (кривая 1).

Свободное вращение шпинделя гониометрической системы на его выбеге позволяет обеспечить минимальные его возмущения. Близость вышепредставленных результатов исследования случайной и систематической погрешностей КЛ и ОДУ к результатам, полученным на выбеге, служит подтверждением их достоверности.

Проведенные измерения на разных скоростях вращения шпинделя при использовании синхронного двигателя с муфтой и двигателя постоянного тока с пассивиком позволили оценить неисключенную систематическую погрешность ОДУ, которая составила: при использовании двигателя постоянного тока с пассивиком 0,02", а при использовании синхронного двигателя с муфтой 0,04".

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность разработанных методов, которые позволили определить наличие радиальных колебаний шпинделя гониометрической системы, а также определить погрешность ОДУ в присутствии угловых колебаний шпинделя при его вращении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие методов и средств лазерной динамической гониометрии / М. Н. Бурнашев, Д. П. Лукьянов, П. А. Павлов, Ю. В. Филатов // Квантовая электроника. 2000. Т. 30, № 2. С. 141–146.
2. Павлов П. А. Разработка и исследование высокоточных лазерных гониометрических систем: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2008. 32 с.
3. Метрологическое обеспечение цифровых преобразователей угла на основе лазерной динамической гониометрии / М. Н. Бурнашев, Е. П. Кривцов, П. А. Павлов, Ю. В. Филатов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Наука, образование и общество в XXI веке», Санкт-Петербург, июнь 2006. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. С. 160–166.
4. Павлов П. А. Анализ алгоритмов измерений лазерным динамическим гониометром // Измерительная техника. 2008. № 1. С. 17–20.
5. Баринаева Е. А. Разработка и исследование методов повышения точности гониометрических систем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2009. 17 с.

E. A. Barinova, E. M. Ivashchenko, P. A. Pavlov

CHARACTERIZATION RESULTS OF THE GONIOMETRIC SYSTEM

This paper aims to analyze the error of the goniometric system built on the principle of integration of a ring laser and an optical encoder. Methods for determination of random and systematic errors of the goniometric system have been described. The experimental results of laser goniometric system error characterization using different rotation control systems are presented. The estimation of the optical encoder residual systematic error is made.

Goniometric system, ring laser, optical encoder, angle measurements

УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко, М. Н. Петухова

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОТЕКТОРА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ МНОГОСЛОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В ТВЕРДУЮ СРЕДУ

Рассмотрен многослойный пьезопреобразователь, нагруженный на твердую среду (сталь). Предполагается, что его возбуждение осуществляется электрическим сигналом в виде полупериода синусоиды на частоте антирезонанса пластины. Расчетным путем исследован импульсный режим работы данного преобразователя. Определены зависимости длительностей и амплитуд излучаемых акустических сигналов от волновых толщин и удельных акустических сопротивлений протектора и контактного слоя. Подробно изучен вариант, соответствующий четвертьволновой толщине протектора.

Электрический импульс, акустический импульс, пьезокерамическая пластина, демпфер, контактный слой, протектор, акустическая нагрузка

Одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками аппаратуры ультразвукового неразрушающего контроля, является создание высокоэффективных пьезопреобразователей, имеющих в качестве акустической нагрузки твердые среды, например, металлы. Тради-

ционная расчетная модель такого преобразователя представляет собой довольно сложную многослойную систему типа «демпфер–активный материал–контактный слой–протектор–контактный слой–акустическая нагрузка». В ряде предшествующих работ авторами было изучено влияние параметров конструктивных элементов преобразователя, входящих в перечисленную систему [1]–[3]. В частности, существенное внимание было уделено рассмотрению зависимостей длительностей и амплитуд акустических сигналов на выходе излучателя от волновых толщин контактных слоев, их удельного акустического сопротивления и удельного акустического импеданса протектора. При этом волновая толщина протектора считалась достаточно малой по сравнению с волновой толщиной пьезокерамической пластины, что объясняется стремлением к внесению наименьших искажений в форму импульса, излучаемого пластиной. Вместе с тем на практике иногда встречаются попытки применения довольно толстого протектора с толщиной, соответствующей четверти длины волны звука в его материале. Обоснованием этого обычно служат ссылки на малое влияние контактных слоев, а также стремление согласовать активный материал с нагрузкой, акустические свойства которых в большинстве случаев и без того различаются не очень сильно. Использование четвертьволнового протектора должно подразумевать применение материала с определенным оптимальным удельным акустическим сопротивлением, значение которого в данной многослойной системе экспериментально определить весьма сложно. В связи с этим представляет определенный научно-практический и методический интерес получение оценок длительностей и амплитуд сигналов на выходе рассматриваемого излучателя в случае применения четвертьволнового протектора для широкого диапазона значений его удельного акустического импеданса. Естественно, в данном исследовании необходимо учесть и волновые толщины

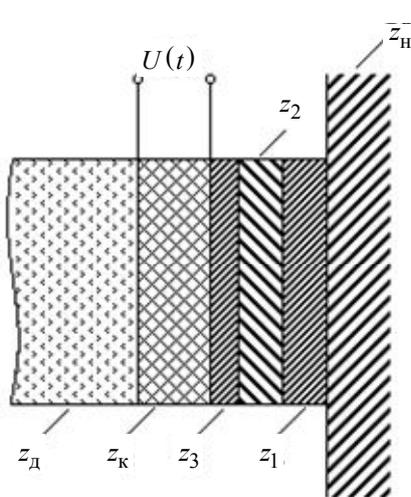


Рис. 1

контактных слоев, от значения которых в немалой степени должны зависеть параметры излучаемых акустических сигналов. Постановка задачи представлена на рис. 1, где изображен рассматриваемый преобразователь. Пьезокерамическая пластина (активный материал – ЦТСНВ-1), возбуждаемая импульсом электрического напряжения $U(t)$, в качестве тыльной нагрузки имеет демпфер с удельным акустическим сопротивлением $z_д$. Излучающая сторона пластины через систему «контактный слой–протектор–контактный слой» нагружена на среду (сталь). На рисунке приняты следующие обозначения: $z_1, z_2, z_3, z_к$ и $z_н$ – удельные акустические сопротивления наружного контактного слоя, протектора, внутреннего контактного слоя, пьезокерамики и акустической нагрузки соответственно.

В зависимости от конкретной технической реализации, в качестве внутреннего контактного слоя может выступать клеевое соединение, слой низкотемпературного припоя или контактный жидкостный слой, а в качестве внешнего – слой жидкости (вода, масло, глицерин, эпоксидная смола без отвердителя и т. д.). Предположим, что импульс электрического напряжения $U(t)$ имеет вид полупериода синусоиды и возбуждает пластину на частоте антрирезонанса пластины ω_0 . Обозначим через T_0 период колебаний на частоте ω_0 . Введем некоторые параметры, характеризующие рассматриваемую систему излучения, которые в дальнейшем позволят задавать волновые размеры каждого из слоев в системе «внут-

ренный контактный слой–протектор–внешний контактный слой» в определенных долях от волнового размера керамики:

$$\alpha_1 = \frac{x_1}{x_k}; \alpha_2 = \frac{x_2}{x_k}; \alpha_3 = \frac{x_3}{x_k},$$

где x_1, x_2, x_3 и x_k – волновые размеры внешнего контактного слоя, протектора, внутреннего контактного слоя и керамики соответственно. В предшествующих работах подробно описана методика определения формы акустического сигнала на выходе излучателя. Она подразумевает определение частотной характеристики исследуемого преобразователя и использование спектрального метода на основе преобразований Фурье. В результате решения задачи может быть определена зависимость длительности излучаемого импульса от параметров, характеризующих систему. Введем безразмерное время $T = \frac{t}{(T_0/2)}$. Это даст возможность оцени-

вать длительность акустических импульсов числом полупериодов колебаний на частоте антирезонанса пластины. Договоримся, что за длительность импульса при этом будем принимать время, прошедшее от его начала до момента спадания огибающей импульса в десять раз по отношению к максимальному значению амплитуды в импульсе. Далее приведены результаты расчетов.

При осуществлении расчетного исследования для определенности будем подразумевать применение в качестве материала обоих контактных слоев глицерина. В соответствии с данными работы [4] плотность глицерина составляет $\rho = 1,26 \cdot 10^3$ кг/м, скорость $c = 1920$ м/с, а удельное акустическое сопротивление $z_1 = z_3 = 2,4 \cdot 10^6$ Па · с/м. Договоримся о том, что при проведении расчета параметр $\alpha_3 = 0,01$ и эта величина не будет изменяться в процессе решения задачи. Указанное значение α_3 относительно легко может быть реализовано при изготовлении преобразователя. Контроль этого параметра и поддержание его постоянным при проведении экспериментальных работ также не должны вызывать серьезных затруднений. Будем считать, что степень демпфирования рассматриваемого преобразователя соответствует $z_d = 9 \cdot 10^6$ Па · с/м. Такой выбор объясняется относительной простотой технологии изготовления демпфера с указанным значением z_d .

Пусть значение параметра $\alpha_2 = 0,5$. Это означает, что применяемый протектор имеет толщину, равную четверти длины волны в его материале. Будем исследовать зависимость изменения длительности излучаемого акустического импульса τ_H от значения удельного акустического сопротивления протектора z_2 . Представляет интерес изучение данного вопроса в широком диапазоне изменения параметра z_2 . Выберем в качестве нижней границы диапазона $z_2 = 2 \cdot 10^6$ Па · с/м. Такое значение z_2 соответствует по акустическим свойствам водоподобным материалам. Примером такого материала могут служить полиуретановые пленки, достаточно часто применяемые в качестве «мягких» протекторов. За верхнюю границу диапазона примем $z_2 = 50 \cdot 10^6$ Па · с/м. Указанное значение соответствует материалам, близким по акустическим свойствам к стали. На рис. 2 для четвертьволнового протектора ($\alpha_2 = 0,5$) пред-

ставлены результаты расчетного определения $\tau_{и}$ в указанном диапазоне изменения параметра z_2 . На рисунке использованы следующие обозначения: 1 – $\alpha_1 = 0,01$; 2 – $\alpha_1 = 0,05$; 3 – $\alpha_1 = 0,15$. Можно видеть, что для малых волновых толщин внешнего контактного слоя (кривая 1) в значительной области рассматриваемого диапазона изменения параметра z_2 наблюдается снижение длительностей излучаемых сигналов. Так, например, при $z_2 =$

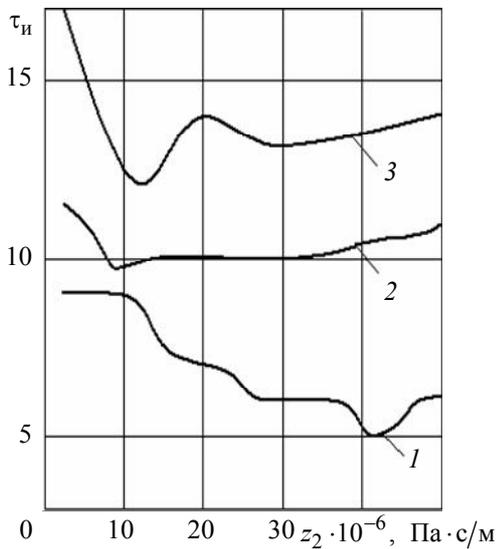


Рис. 2

$9 \cdot 10^6$ Па · с/м длительность импульса составляет $\tau_{и} = 9$, а при $z_2 = 30 \cdot 10^6$ Па · с/м она достигает значения $\tau_{и} = 5$. Такой спад $\tau_{и}$ происходит до значений $z_2 = (38 \dots 44) 10^6$ Па · с/м, после чего длительность излучаемого акустического сигнала начинает незначительно расти и достигает значения $\tau_{и} = 6,5$. С ростом параметра α_1 (кривая 2) характер зависимости $\tau_{и}$ от удельного импеданса протектора изменяется. В частности, при изменении z_2 от $2 \cdot 10^6$ до $10 \cdot 10^6$ Па · с/м значение $\tau_{и}$ уменьшается от 11,5 до 10. Далее, вплоть до значения z_2 , примерно равного $34 \cdot 10^6$ (Па · с)/м, можно говорить о постоянстве длительности импульса (составляет примерно $\tau_{и} = 10$),

после чего $\tau_{и}$ возрастает и достигает $\tau_{и} = 11$. Дальнейшее увеличение волновой толщины наружного контактного слоя (до $\alpha_1 = 0,15$) ведет к еще более ярко выраженному изменению характера зависимости $\tau_{и}(z_2)$, что может быть проиллюстрировано кривой 3. Так, при изменении z_2 от $2 \cdot 10^6$ до $12 \cdot 10^6$ Па · с/м длительность импульса снижается в 1,4 раза (от 17 до 12 полупериодов колебаний на частоте антирезонанса пластины). Затем наблюдается рост $\tau_{и}$ до 14 полупериодов (при $z_2 = 20 \cdot 10^6$ Па · с/м), после чего длительность акустических сигналов начинает уменьшаться до 13 полупериодов (при $z_2 = 30 \cdot 10^6$ Па · с/м). Далее можно говорить о возрастании $\tau_{и}$ до 14 полупериодов на границе рассматриваемого диапазона изменения удельного акустического сопротивления протектора z_2 . Представленные на рис. 2 данные позволяют утверждать, что применение четвертьволнового протектора далеко не всегда является обоснованным, так как длительность излучаемого акустического сигнала в значительной мере зависит от волновой толщины слоя контактной жидкости. Кроме того, значение параметра z_2 должно выбираться, исходя из возможности максимального снижения длительности акустических импульсов.

Некоторый интерес могут представлять данные, приведенные на рис. 3. Они касаются амплитуд сигналов, излучаемых рассматриваемым преобразователем. В зависимости от значений параметра z_2 (ось абсцисс) по оси ординат отложены значения максимальных амплитуд акустических импульсов v_{\max} . Указанные данные приведены в безразмерных (относительных) единицах, что объясняется решением задачи с точностью до постоянного множителя. На рисунке сохранены те же обозначения, что и на рис. 2: 1 – $\alpha_1 = 0,01$; 2 – $\alpha_1 = 0,05$; 3 –

$\alpha_1 = 0,15$. Можно видеть, что все три представленные зависимости имеют сходный характер, что выражается в плавном росте до максимального значения, после чего наблюдается плавный спад до границ рассматриваемого диапазона значений параметра z_2 . Естественно, что максимальный уровень представленных зависимостей достигается для случая наименьшего из всех рассмотренных значений параметра α_1 , а минимальный – для наибольшего. Действительно, при $\alpha_1 = 0,01$ (кривая 1) максимальное значение близко к $v_{\max} = 1,1$; для $\alpha_1 = 0,05$ (кривая 2) максимум составляет примерно $v_{\max} = 0,8$; для случая $\alpha_1 = 0,15$ (кривая 3) максимальное значение будет $v_{\max} = 0,45$. Представленные на рис. 3 данные также свидетельствуют о важности учета величины волнового слоя контактной жидкости при использовании четвертьволнового протектора.

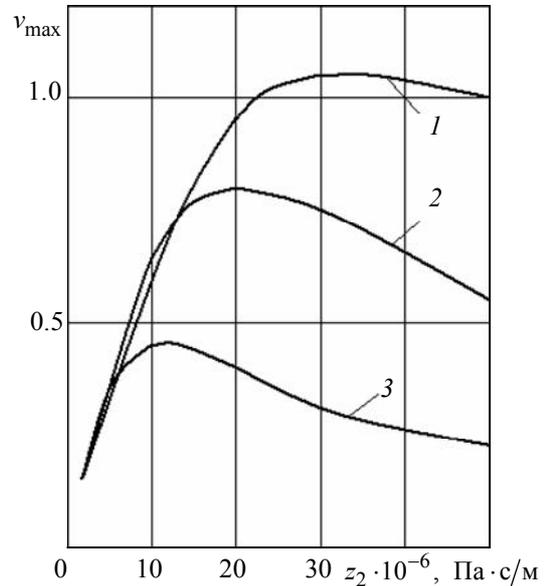


Рис. 3

Представленные материалы показывают, что получение достаточно коротких излучаемых сигналов вследствие применения четвертьволнового протектора может достигаться лишь при малых значениях волновых толщин контактных слоев и правильно подобранных значениях удельного акустического сопротивления материала протектора. Однако зачастую возможно достижение желаемого результата при использовании значительно более тонких протекторов. В качестве примера на рис. 4 приведены данные, иллюстрирующие тенденцию снижения длительности излучаемого акустического сигнала при уменьшении волновой толщины протектора. Рассмотрен случай, соответствующий значительной волновой толщине внешнего контактного слоя ($\alpha_1 = 0,15$).

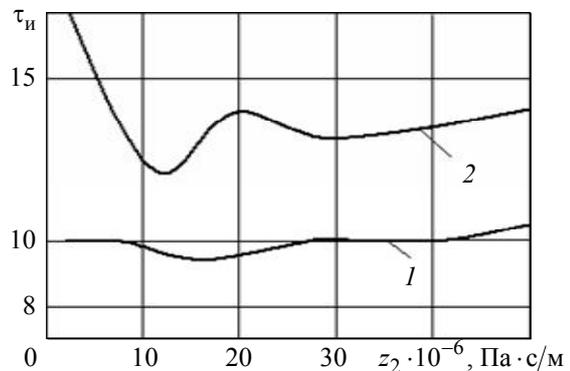


Рис. 4

Кривая 1 показывает изменение длительности излучаемого сигнала от значений параметра z_2 при использовании протектора с волновой толщиной $\alpha_2 = 0,1$. Кривая 2 отражает зависимость $\tau_n(z_2)$ при $\alpha_2 = 0,5$ (четвертьволновый протектор). Можно видеть, что при $\alpha_2 = 0,1$ (кривая 1) длительность излучаемого сигнала не превосходит значений $\tau_n = 9,5 \dots 10$ полупериодов колебаний на собственной частоте колебаний пластины. В то же время при $\alpha_2 = 0,5$ минимальная длительность сигнала составляет 12 полупериодов, причем лишь в области значений z_2 , которые находятся в окрестности $z_2 = 12 \cdot 10^6$ Па · с/м. Это означает, что применение протекторов с толщиной меньше четверти длины волны звука в материале протектора, позволяет добиваться излучения относительно коротких акустических импульсов даже при значительных

волновых толщинах внешних контактных слоев. На рис. 5 в безразмерных (относительных) единицах представлены зависимости максимальных амплитуд излучаемых сигналов для случаев, рассмотренных на рис. 4. Обозначения кривых сохранены. Можно видеть, что при z_2 , находящихся в промежутке $(2...28)10^6$ Па · с/м, излучатель с четвертьволновым протектором (кривая 2) имеет амплитуду сигнала больше, чем тот же излучатель, но с протектором, соответствующим $\alpha_2 = 0,1$ (кривая 1). При $z_2 > 28 \cdot 10^6$ Па · с/м наблюдается обратная картина.

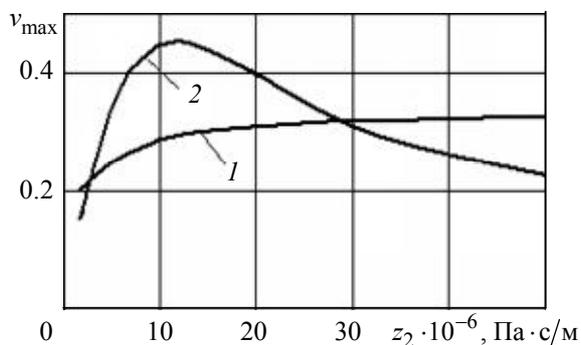


Рис. 5

Таким образом, расчетно-теоретическим путем проведено исследование влияния четвертьволнового протектора на длительность и амплитуду излучаемого сигнала. Указанные расчеты осуществлены в широком диапазоне значений удельных акустических сопротивлений материала протектора. Полученные конкретные оценки параметров сигналов показали, что преобразователь с протектором такой волновой толщины позволяет получать достаточно короткие акустические импульсы лишь для малых волновых толщин внешнего контактного слоя. Установлены оптимальные значения удельных акустических импедансов протектора, при которых возможно получение акустических импульсов наименьшей длительности. Показано, что в ряде случаев целесообразно применять протекторы волновой толщины, меньшей чем четверть длины волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние конструктивных параметров преобразователя на длительность акустического импульса, излучаемого в твердое тело // Дефектоскопия. М.: Наука, 2005. № 6. С. 3–10.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование влияния асимметрии акустических свойств контактных слоев и протектора на форму импульса, излучаемого преобразователем в твердое тело // Дефектоскопия. М.: Наука, 2006. № 1. С. 61–67.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние удельного акустического сопротивления протектора на длительность импульса, излучаемого преобразователем // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. № 1. С. 60–63.
4. Блинова Л. П., Колесников А. Е., Ланганс Л. Б. Акустические измерения. М.: Изд-во стандартов, 1971.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko, M. N. Petukhova

EFFECT OF ACOUSTIC PROPERTIES OF A WEAR PLATE ON THE DURATION OF PULSES EMITTED BY A MULTILAYERED TRANSDUCER INTO A SOLID MEDIUM

A multilayered piezoelectric transducer loaded on a solid medium (steel) is considered. The transducer is excited by a voltage pulse in the form of a half-period of a sinusoid with the antiresonant frequency of the piezoplate. On the base of a computational method, the pulsed mode of operation of the transducer is investigated. The durations and amplitudes of emitted pulses in dependences on wave thicknesses and specific acoustic impedances of a wear plate and a contact layer are obtained. The case corresponding to one-quarter wave thickness of the wear plate is investigated in detail.

Electric pulse, acoustic pulse, piezoceramic plate, damper, contact layer, wear plate, acoustic load



УДК 57.042.

А. Г. Казанцева, И. С. Захаров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕСТ-РЕАКЦИЮ ГАЛЬВАНОТАКСИСА

Исследовано влияние биологических и технических факторов на спектрофотометрически регистрируемую тест-реакцию гальванотаксиса инфузорий. Проанализированы информативные признаки регистрируемого сигнала.

Гальванотаксис, тест-реакция, случайный процесс, эксперимент, биотехническая система

В настоящее время помимо экологического мониторинга существующих объектов производства и потребления экологическая безопасность развития индустрии требует биологического контроля предполагаемых загрязнителей уже на стадии разработки проектов [1]. Это определяет требования к задачам исследования экспресс-методов биомониторинга – уменьшение времени тест-реакции, снижение стоимости и трудоемкости биотестов. Этим требованиям отвечает гальванотаксическая реакция инфузорий *P. caudatum*, которая потенциально позволяет обеспечить экспрессность тестирования, но пока не достаточно изучена, поскольку отсутствуют доступные аппаратурные методы ее регистрации.

В статье [2] была рассмотрена возможность применения спектрофотометра СФ-56 для контроля концентрации подвижных инфузорий, что обуславливает возможность применения данных приборных средств для контроля популяционных реакций инфузорий, таких как гальванотаксис, а также был рассмотрен новый вид сигнала и выявлены факторы его формирования, в зависимости от условий протекания реакции. При этом метрологические характеристики прибора определены его производителем, но требуется адаптация микробиологического метода к возможностям спектрофотометра. Целью данной статьи является обоснование выбора вида статистически воспроизводимого сигнала тест-реакции гальванотаксиса и изучение влияния на него биологических и технических факторов для создания нового метода биотестирования водных сред.

При гальванотаксисе взвесь инфузорий, помещенная в кювету с электродами, на которые подано постоянное напряжение, перемещается от анода к катоду (первая фаза), а при перемене полярности движется к новому катоду (вторая фаза). При токсическом воздействии уменьшается

либо количество клеток, либо скорость направленного движения. Эти явления позволяют использовать гальванотаксис инфузорий в качестве тест-реакции. Прежние исследования гальванотаксиса были сфокусированы на изучении движения слоя клеток в центральной зоне кюветы во второй фазе реакции [3]. В настоящей статье проанализированы особенности движения клеток в разных зонах кюветы в течение обеих фаз.

Аппаратурный биотестовый метод разрабатывается на принципах биотестовой биотехнической системы [4], представленной на рис. 1.

В данной биотестовой системе в качестве УКР применялся спектрофотометр СФ-56, представляющий собой аппаратно-программный комплекс с выводом результатов измерений на монитор компьютера. Гальванотаксическая ячейка включала горизонтальную протяженную кювету размером $45 \times 13 \times 13$ мм и пластиковые электроды с напыленным графитом. Источник электрических стимулов обеспечивал регулируемое напряжение $U = 1.3 \dots 2$ В и смену полярности электродов. Концентрация инфузорий составляла $C = 1000$ кл/мл.

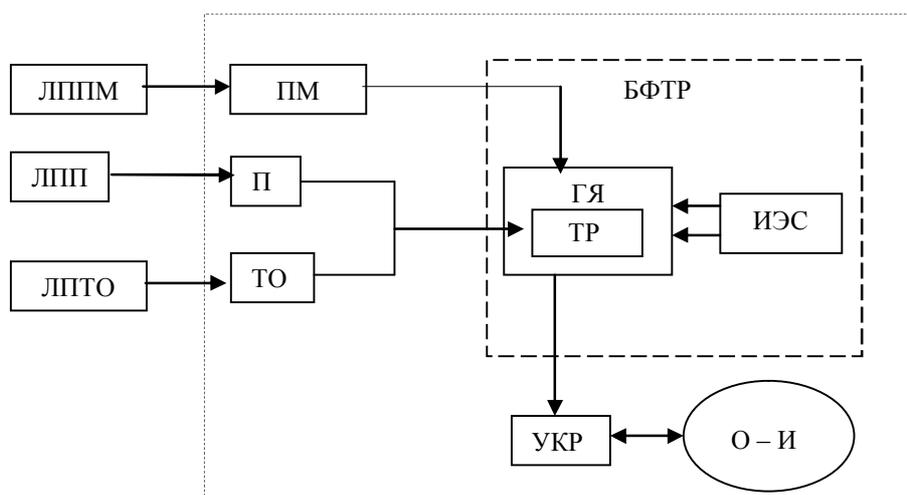


Рис. 1

Исследование формы сигналов в разных зонах кюветы. Первоочередной задачей исследования являлось определение контролируемой зоны, в которой наиболее надежно регистрируется тест-реакция инфузорий.

На рис. 2 представлена протяженная кювета, разбитая на контролируемые зоны. Зона 1 находится в первой фазе реакции возле анода, а во второй – возле катода. Зона 2 – соседняя с анодной зоной в первой фазе и с катодной во второй; зона 3 – центральная; зона 4 – соседняя с катодной зоной в первой фазе и с анодной во второй; зона 5 – катодная в первой фазе и анодная – во второй.

Эксперименты проводились при следующих условиях: режим измерения – кинетика оптической плотности (опт. плотн.) взвеси, отражающей количество инфузорий в зоне контроля; длина волны – 560 нм; ширина спектральной щели – 6 нм; апертура фотоприемника – 4×3 мм; возраст культуры – 3 дня; напряжение на электродах – 2 В; полярность переключалась один раз; длительность реакции – 120 с. Среда с клетками не содержала токсичных веществ. Эксперименты повторяли 3 раза.

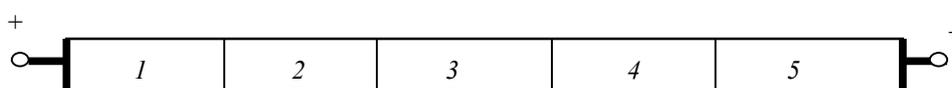


Рис. 2

На рис. 3 представлены сигналы, снятые в зоне 1. Первоначальная концентрация клеток падает до практически нулевых значений оптической плотности, а при переключении полярности возрастает до 0.18 о. е. оптической плотности. При этом корреляция между сигналами составляет 0.89...0.97.

На рис. 4 представлены сигналы, снятые в зоне 2. Первоначальная концентрация клеток падает до 0 о. е. оптической плотности, а при переключении полярности возрастает до 0.06 о. е. оптической плотности, образуя при этом широкий импульс с несколькими зубцами, отражающими деление движущейся во второй фазе взвеси инфузорий на несколько слоев. Корреляция между сигналами составляет 0.45...0.80.

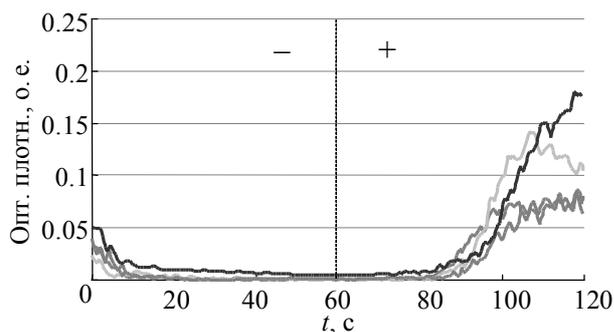


Рис. 3

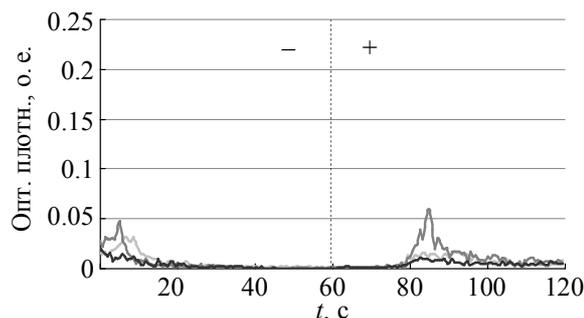


Рис. 4

На рис. 5 представлены сигналы, снятые в зоне 3. Первоначальная концентрация клеток линейно падает до 0 о. е. оптической плотности, а при переключении полярности возрастает до 0.13 о. е. оптической плотности, образуя при этом вытянутый треугольный импульс, отражающий особенности экспоненциального распределения движущейся взвеси клеток. Корреляция между сигналами составляет 0.60...0.77.

На рис. 6 представлены сигналы, снятые в зоне 4. Первоначальная концентрация клеток растет до 0.06...0.10 о. е. оптической плотности, а при переключении полярности резко возрастает до 0.15 о. е. оптической плотности, образуя треугольный импульс, отражающий перераспределение клеток, находящихся в контролируемой зоне, и перемещение в зону катода сжатых полей клеток. Корреляция между сигналами составляет 0.89...0.92.

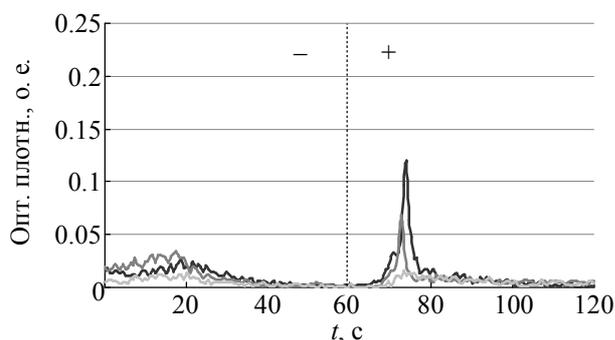


Рис. 5

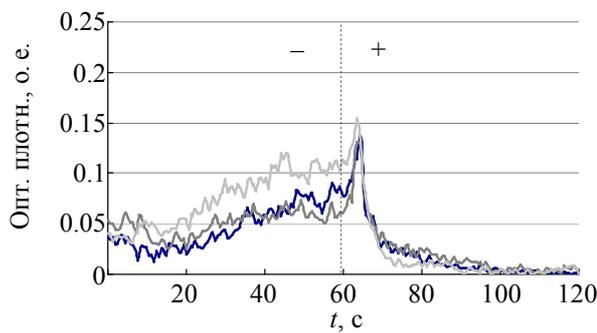


Рис. 6

На рис. 7 представлены сигналы в зоне 5. В первой фазе сигнал линейно растет до 0.20...0.25 о. е. оптической плотности и остается близким к этому значению с небольшими колебаниями до переключения полярности, после чего следует быстрый спад до 0 о. е. оптической плотности. Сигнал обусловлен концентрацией клеток у катода в первой фазе и быстрым уходом из нее во второй фазе. Корреляция между сигналами составляет 0.93...0.98.

Для дальнейших исследований был выбран сигнал, полученный в зоне 5. Это объясняется стабильностью сигнала (коэффициент корреляции между сигналами у электродов составил 0.89...0.98, а в зонах вне электродов – 0.45...0.92) и его формой. Выделяются три характерных фазы сигнала общей длительностью T_{Σ} : фаза подъема T_{α} (α -фаза), стационарная фаза $T_{ст}$ и фаза спада (β -фаза), у которой выражен спад, характеризующийся длительностью $T_{\beta_{сп}}$. На рис. 8 показаны эти фазы сигнала.

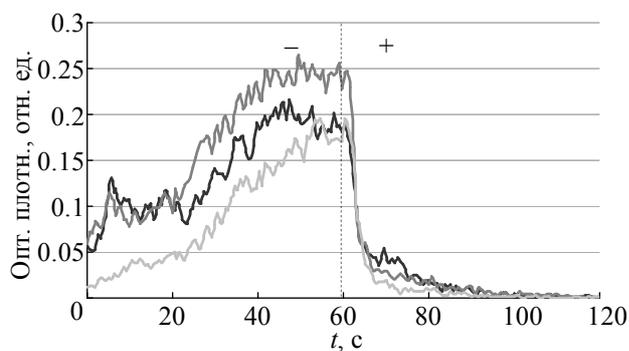


Рис. 7

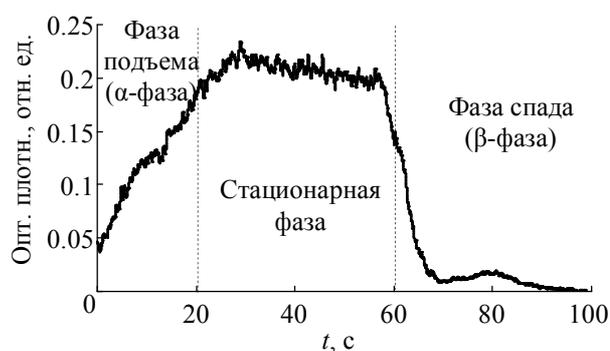


Рис. 8

Каждая фаза характеризует особенности поведения клеток в постоянном электрическом поле. При подаче напряжения на электроды в α -фазе наблюдается рост оптической плотности, обусловленный приходом клеток к катоду. Стабильность стационарной фазы определяется способностью клеток двигаться к катоду и от него, что отражает устойчивость их физиологических процессов к воздействию электрического поля. Падение оптической плотности после переключения полярности электродов в β -фазе до единиц оптической плотности объясняется уходом клеток к новому катоду. Значение амплитуды сигнала отражает общее количество микроорганизмов, собранных у катода.

Изучение влияния факторов тест-реакции на характеристики сигнала. Была проведена серия опытов по изучению влияния биологических и технических факторов эксперимента на длительность фаз и амплитуду D_m сигналов. На рис. 9–11 представлены результаты экспериментов, определяющих зависимость длительности фаз от длительности реакции, которая составила 60, 90 и 120 с.

В таблице представлены характеристики фаз реакции, полученные в трех сериях экспериментов: при разной длительности реакции T_{Σ} , возрасте культуры Q и напряжении на электродах U (концентрация инфузорий во всех опытах $C = 1000$ кл/мл). Каждый эксперимент в серии повторялся 3 раза. Коэффициент корреляции Пирсона r отражает воспроизводимость формы сигналов при трех повторностях каждого опыта.

Из рисунка и по данным, приведенным в таблице, видно, что с увеличением длительности реакции увеличивается стационарная фаза, остальные фазы стабильны.

На рис. 12–14 приведены графики сигналов, полученные при изменении напряжения и возраста кормления культуры.

На основании проведенных исследований была разработана схема взаимодействия биологических и технических факторов тест-реакции, представленная на рис. 15.

Фактор воздействия/ параметр сигнала	Длительности фаз сигнала			D_m , ед. опт. плотн.	r
	T_α , с	$T_{\text{ср}}$, с	$T_{\beta \text{ сн}}$, с		
T_Σ^* , с					
60	29.2 ± 0.4	–	10.4 ± 1.2	0.21 ± 0.02	0.91...0.94
120	29.7 ± 2.8	29.6 ± 2.8	8.6 ± 0.7	0.23 ± 0.02	0.97...0.98
150	29.3 ± 1.4	61.4 ± 1.8	9.4 ± 0.7	0.24 ± 0.02	0.96...0.98
Q^{**} , дн.					
3	30.1 ± 1.4	27.9 ± 1.7	10.9 ± 0.7	0.20 ± 0.02	0.96...0.99
7	20.9 ± 11.1	38.7 ± 10.8	8.4 ± 2.5	0.18 ± 0.03	0.78...0.97
U^{***} , В					
1,3	39.5 ± 1.5	22.5 ± 0.4	17.1 ± 3.0	0.15 ± 0.02	0.91...0.97
2	30.1 ± 1.4	27.9 ± 1.7	10.9 ± 0.7	0.20 ± 0.02	0.96...0.99

Примечания: * $Q = 3$ дн., $U = 2$ В; ** $T_\Sigma = 120$ с, $U = 2$ В; *** $T_\Sigma = 120$ с, $Q = 3$ дн.

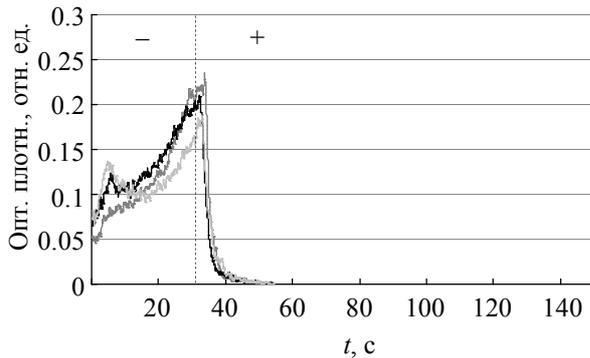


Рис. 9

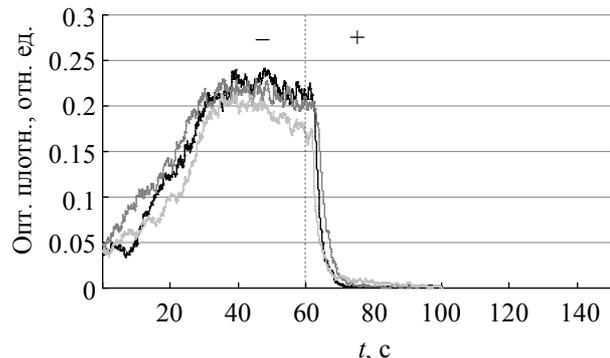


Рис. 10

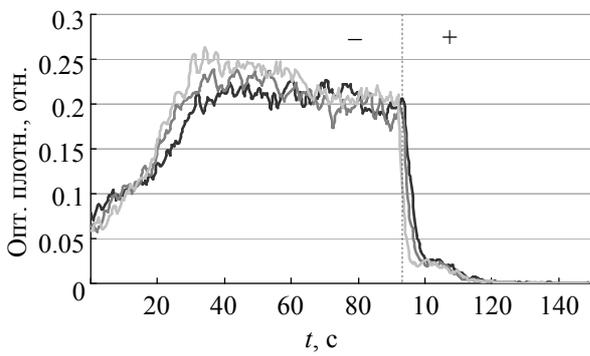


Рис. 11

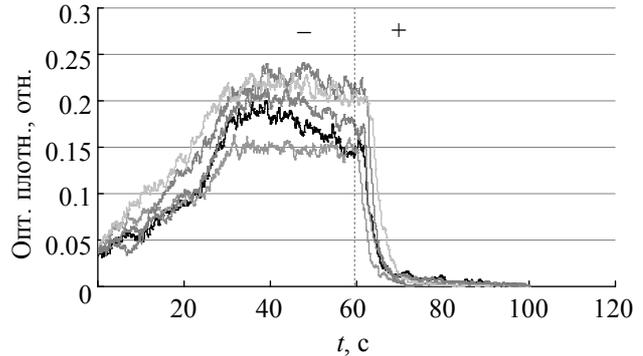


Рис. 12

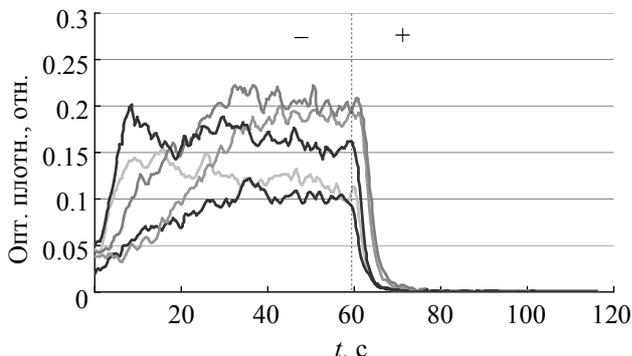


Рис. 13

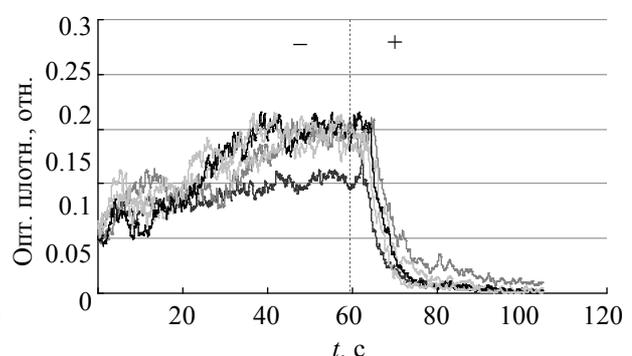


Рис. 14

В результате проведенной работы была доказана возможность регистрации тест-реакции гальванотаксиса инфузорий с помощью спектрофотометра СФ-56, выбрана зона контроля реакции возле катода, процесс изменения оптической плотности в которой при гальванотаксисе характеризуется наибольшей амплитудой и воспроизводимостью характера зависимости от

времени в серии опытов. Сигнал данной зоны представляет собой импульс с более пологим передним фронтом и крутым задним фронтом. Выделены фазы этого импульса. Контролируемыми параметрами тест-реакции были выбраны длительности переднего фронта импульса (α -фазы), вершины (стационарной фазы) и амплитуда сигнала, поскольку именно они характеризуют биологические параметры тест-реакции (жизнеспособность клеток и их количество), по изменению которых можно судить о токсичности исследуемой среды.

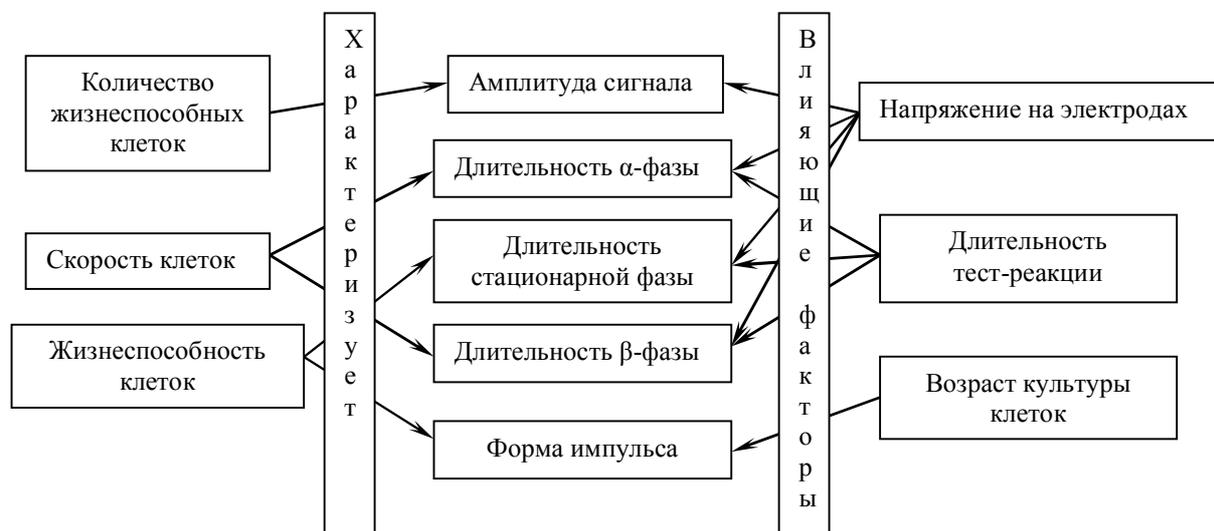


Рис. 15

В результате исследования фаз сигнала было установлено, что при увеличении длительности накопления инфузорий у катода наклон переднего фронта импульса и длительность спада заднего фронта мало изменяются, а увеличивается длительность стационарной фазы (вершины импульса). При уменьшении напряжения уменьшаются наклон переднего фронта импульса и длительность стационарной фазы. Увеличение возраста культуры с 3 до 7 дней приводит к ухудшению воспроизводимости всех контролируемых фаз импульса.

Исследование фаз сигнала позволило определить, при каких биотехнических условиях сигнал спектрофотометра, обусловленный гальванотаксисом инфузорий в безвредной среде, обладает наименьшей вариабельностью. Такое исследование позволяет в дальнейшем при применении сигнала для исследования модельных токсикантов, выделить воздействие вредного вещества по изменению статистических характеристик выбранных фаз биотестового сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research Priorities for the 21st Century. Spec. rep. // Env. sci. & tech. news, 1997. № 1, Vol. 31. P. 20 A–27 A.
2. Захаров И. С., Казанцева А. Г. Исследование оптических свойств взвеси инфузорий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 2. С. 96–100.
3. Захаров И. С., Ковалевская А. С. Перспективы применения гальванотаксиса в биотестировании и модель гальванотаксической реакции в токсичной среде // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 1. С. 55–62.
4. Ахутин В. М., Попечителей Е. П., Немирко А. П. Биотехнические системы: Теория и проектирование Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 220 с.

A. G. Kazantzeva, I. S. Zakharov

THE STUDY OF INFLUENCE OF BIOLOGICAL AND TECHNICAL FACTORS ON GALVANOTAXIS BIOASSAY

The influence of biological and technical factors on galvanotaxis bioassay, which got on spectrophotometer, has developed. Phases of collection cells near cathode and moving layer are described by the model. The information properties of gotten signal has been analysed.

Galvanotaxis, bioassay, random process, experiment, biotechnical system



УДК 371.383

З. К. Малиева, В. А. Цагаряев

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕМИОТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ ВИЗУАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ К ДУХОВНО-ПРАВСТВЕННОМУ ВОСПИТАНИЮ УЧАЩИХСЯ

Раскрывается возможность духовно-нравственного воспитания учащихся на основе технологии семиотического анализа объектов визуальной культуры. Анализируются сравнительные характеристики произведений искусства разных эпох и народов, что позволяет проявить в них универсальные общечеловеческие нравственные ценности, осознание которых поможет учащимся выработать терпимое, толерантное отношение к иным этнокультурным смыслам, иной религиозной идее, что в целом создаст предпосылки для формирования их духовной культуры.

Образование через культуру, визуальная культура, духовная культура, воспитание, толерантность, структурный анализ, нравственные принципы, ценностные ориентации

Важнейшей формой становления личности является ее духовное взросление, обретение того особого набора морально-нравственных ценностей, наличие которого и определяется нами как духовная культура человека. Присутствие этой культуры в человеке и в обществе в целом – важнейший фактор общественной стабильности, без которой невозможно долговременное социально-экономическое благополучие ни коллектива, ни общества, ни страны.

Духовная культура нужна человеку (обществу) для формирования полноценной жизни. Через нее проявляется разумный смысл наших поступков, понимание таких категорий, как добро, зло, совесть, честь, долг. Она открывает нам эстетическое отношение к миру, стремление к красоте, гармонии, являясь сводом особых знаний и навыков, позволяющих успешно ориентироваться в том мире, в котором мы живем. В обществе с рыхлой, слабо структурированной духовно-нравственной основой, лишенной какой-либо реальной связи с прошлым и настоящим, не может возникнуть благополучного будущего. Эта тенденция ясно проявляется в современной общественной ситуации, в которой напряжены все социокультурные составляющие.

Мы живем в сложное время, в котором меняются устоявшиеся мировоззренческие ориентиры. Изменяется сама парадигма цивилизации, постепенно меняя человека вне зависимости от его национальной и культурной принадлежности, трансформируя в первую очередь его нравственную природу. Происходящее коснулось и общественных институтов, последовательно утрачивающих былую воспитательную функцию.

Предлагая сегодня молодому человеку новую, прагматическую образовательную систему, формирующую в нем только профессиональное знание, мы должны понимать, что, возможно, получим в результате высококлассного специалиста, обладающего знаниями, умениями и навыками, но в то же время создадим прагматика, лишенного духовно-нравственного ориентира. Основу такого человека составляют не долг, честь, совесть, гражданская позиция, а только материальная выгода и жажда комфортного существования. Исход такого специалиста из страны – вопрос времени (реальная действительность подтверждает сказанное). Государство должно осознать, что ему выгодно затрачивать материальные и профессиональные ресурсы как на развитие специалиста, так и на развитие его духовно-нравственной основы.

Формирование цельной, сложной, гармоничной личности может происходить только в результате правильно организованной системы воспитания, опирающейся на ряд этических законов, способных помочь пройти путь внутреннего самоосознания и внешней самореализации своей духовной культуры в этнокультурном и общечеловеческом пространстве. Об этом же пишет и Д. Локк, подчеркивая, что нравственные нормы и правила поведения не должны быть чем-то внешним, они должны стать глубоко личностными качествами молодого человека – только в этом случае они помогут ему выполнить свое назначение «в обеспечении его добродетели» для общественного служения [1]. Необходимость формирования в личности внутренней потребности к активному утверждению в себе нравственных принципов определялась им как главная цель воспитания. Именно эту цель, как одну из основных задач в воспитательной деятельности, и берет на себя метод семиотического анализа объектов визуальной культуры.

Обозначенная нами духовно-нравственная культура человека воспитывается с раннего детства семьей, учебным заведением, а в дальнейшем укрепляется и поддерживается в течение всей жизни. Одним из активнейших факторов в этом сложном воспитательном процессе выступает визуальная культура (изобразительное искусство, архитектура, фотография, хореография, а так же театр и кино). Сегодня, когда большая часть получаемой человеком информации поступает через визуальный источник (телевизор, компьютер, рекламную продукцию, иллюстрированные журналы и т. п.), актуальность исследования объектов визуальной культуры значительно возрастает.

При этом возникает справедливый вопрос, как же может формироваться полноценная духовная культура молодого человека, если современное восприятие культурной реальности во многом дезориентировано, т. е. лишено былого критического определения морально-нравственных принципов, часть из которых сознательно или бессознательно устранена из общества. Немудрено, что в такой ситуации молодые люди сами формируют свое культурное поле, засевая его не семенами устойчивых этических смыслов, а плевелами стереотипов массовой культуры, и чем стереотипы нелепее, безосновательнее, тем весомее выстраивается мифология молодежной эрзац-культуры. Х. Ортега-и-Гассет, например, указывал на тенденцию варваризации общества как на результат описанного им «восстания масс», господства в социуме «массового человека» [2]. Р. Гвардини говорил о взбунтовавшейся против человека цивилизации, о «не-культурной культуре» [3].

Именно здесь и возникает основная проблема обозначенного воспитательного процесса. Неподготовленный к восприятию сложного культурного текста молодой человек выбира-

ет текст популярный, лишенный активной духовной энергии, т. е. легко воспринимаемый, а от этого и легко забываемый. Подобными источниками «духовно-нравственных» шаблонов сегодня пестрят страницы гламурных журналов, тексты ведущих теле-шоу или героев телесериалов, соседствующие с иными текстами, активно несущими шаблоны безнравственности, анархической, зомбированной культуры. Человек, воспитанный на этих «истинах» популярной культуры, никогда не обратится к источнику культуры настоящей, воспринимая его не только как интеллектуально и эмоционально утомительный, но и как психологически чуждый, враждебный. Говорить в этом случае о формировании в таком человеке основ духовно-нравственной культуры затруднительно.

Единственная возможность изменить сложившуюся ситуацию заключается в планомерном и полноценном образовательном погружении учащегося в пространство культуры, конкретнее – визуальной. Но здесь нужна оговорка. Разговор с учащимися нужно вести не столько через историю создания и функционирования в обществе объекта культуры (история искусств, история культуры и т. п.), сколько о том, какой текст несет в себе объект визуальной культуры, что хотел сказать нам в своем произведении народный мастер или выдающийся художник. То есть, применяя метод структурного анализа произведения визуального искусства, выявлять сокрытый в произведении семиотический текст о том или ином аспекте духовно-нравственной культуры.

Метод этот не нов, как может показаться на первый взгляд. С древнейших времен человечество понимало, какое воспитательное влияние оказывают объекты визуальной культуры на формирование нравственных ценностей личности. В архаической или традиционной культуре такими объектами выступали мифологические герои-мироустроители, изображаемые на различных визуальных объектах, начиная от архитектуры и заканчивая утварью и одеждой, и являвшиеся духовно-нравственными ориентирами подрастающего поколения. В античности архаическая технология использования визуальных объектов полностью сохраняется, проецируя сакральные духовно-нравственные тексты на объекты архитектуры, скульптуры, вазописи и т. п. Во Флоренции в эпоху Возрождения скульптура Микеланджело «Давид» становится манифестом нового человека, гражданина – свободного, гармонически развитого, одухотворенного. Мировая история визуальной культуры наполнена образцами выдающихся произведений разных народов и разных исторических эпох, несущих в себе богатейший материал для разговора о духовной культуре.

Возьмем, к примеру, картину «Возвращение блудного сына» великого голландского художника XVII в. Рембрандта ван Рейна, 400-летие которого недавно отмечало культурное человечество. В картине мы увидим воспроизведение библейской притчи о том, как юноша, растратив в праздном веселье полученное от отца наследство, погрузился в нищету, но, раскаявшись, преодолев свою гордыню, возвратился в родной дом к отцу, простившему его. Притча говорит нам о жизненном долге, о преодолении гордыни, о сострадании к ближнему, о поиске человеком своего духовного пути.

Казалось бы, для размышления о смысле притчи достаточно одного лишь библейского текста, но в том-то и сила подлинного искусства, что оно не бывает иллюстративным. Созданная Рембрандтом картина передает заложенную в притчу духовно-нравственную идею через множество иных, недоступных литературе интеллектуально-эмоциональных состав-

ляющих, способных ввести человека в определенное чувственное состояние, необходимое для разговора о духовно-нравственной культуре.

Гений художника создал особую эмоциональную атмосферу во встрече отца и сына. На темном фоне картинного пространства всплывает фигура отца, обнимающего сына. Покрывающее отца красное одеяние погружено в поток золотисто-теплого света. Подобный прием можно найти в живописном пространстве русской иконы, т. е. художник одним только цветом создает ощущение духовной значимости происходящего события. Лицо и руки отца излучают свет добра и любви, передать который словами невозможно. Блудный сын уткнулся в его колени, как ребенок, проявляя в этой позе ощущение радости и покоя, посещающее нас в конце утомительного пути. Проживший непростую судьбу художника и человека, Рембрандт передает нам свои слова, свой опыт терпения, любви и сострадания, говоря всей своей картиной: «миг жизни краток, берегите друг друга, идите навстречу, как бы гордыня обиды не останавливала вас». Объятие вновь обретенного отца несет всем нам и тепло родного человека, и всепрощающую любовь Бога.

Текст притчи, переданный художественными средствами, задействует в учащих творческие способности образного моделирования обретаемого социокультурного опыта. Молодой человек не только познает сложность художественного языка, передавшего ему текст притчи посредством художественного пространства и формы (образ, композиция, цвет, свет и т. п.), но и учится погружаться в состояние духовного переживания картины, в котором конкретика искомого текста отступает, пропуская вперед эмоциональное сопереживание, через которое и прозреваются в нас духовно-нравственные принципы. Учащийся получает актуальный опыт личного духовного сопереживания библейскому смыслу, эмоционально погружается в образ то сына, то отца, осознавая возникшие в процессе семиотического анализа духовно-нравственные вопросы и ответы. Здесь происходит обретение нового опыта познания, сочетающего в себе рациональное и эмоциональное начала.

Подобный разговор о духовно-нравственных ценностях человека встречается во многих произведениях выдающихся мастеров мирового изобразительного искусства как в реалистической, так и в модернистской художественной традиции. Поэтому предлагаемый в образовательном процессе опыт мировой визуальной культуры можно представить для учащих как хронологически, рассматривая духовно-нравственную проблематику с древнейших времен до современности, так и тематически – объединив разновременные объекты визуальной культуры общей темой. Но и сама преподавательская технология в образовательном процессе этого метода должна претерпеть некоторые изменения, так как разговор о духовно-нравственных ценностях не может быть схоластическим, обыденным, а должен проходить в особой эмоциональной атмосфере живого общения.

Одним из важнейших этапов этического воспитания является разговор о национальной культуре. В русской культуре, так же как и в культурах малых народов России, найдется достаточно выдающихся произведений визуальной культуры, несущих в себе духовно-нравственные тексты. Для великой русской культуры это традиционное народное искусство, древнерусская архитектура, икона, реалистическое искусство и русский авангард. Но, к примеру, и в осетинской культуре, те же темы наряду с произведениями народного искусства встречаются с произведениями художников XX в., таких как С. Едзиев и М. Туганов. И тот и

другой обращаются к своему зрителю с духовно-нравственными текстами, без прочтения которых их произведения теряют большую часть своей художественной ценности [4]. Простодушный зритель, сравнив работы Едзиева и Туганова с произведениями Микеланджело и Рембрандта, бесспорно отдаст предпочтение последним, не осознавая, что этим он лишает себя возможности общения с мудрейшими людьми своей родины, способными поведать ему о духовных ценностях его народа. Метод семиотического анализа произведения искусства позволяет показать равнозначность духовно-нравственных поисков выдающихся художников разных народов, выявить в художественной непохожести единые общечеловеческие этические принципы, что дополняет разговор о духовной культуре воспитанием этнокультурной толерантности.

Практическая реализация нравственного воспитания учащихся посредством метода семиотического анализа объектов визуальной культуры зависит от нашего понимания происходящих сегодня социокультурных изменений в основных смыслах образовательного процесса. Выход на иное понимание образования позволит продуктивно использовать метод в формировании всесторонне развитой личности. Сегодня, когда мы почти физически ощущаем разрыв между поколениями, т. е. разрыв в культурных, мировоззренческих смыслах, возникает тревожное ощущение фатальной, окончательной невозможности понять друг друга. Но если мы обратимся к великим произведениям искусства разных эпох, созданным разными народами, то обнаружим в них испокон веков заложенные общечеловеческие духовно-нравственные ценности. Осознание этой духовно-нравственной общности человечества поможет учащимся не только внимательнее относиться к ценностям своего народа, но и выработать терпимое, толерантное отношение к иным этнокультурным смыслам, иной религиозной идее, что в целом создаст предпосылки для формирования их духовной культуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коменский Я. А., Кларин В. М., Джуринский А. Н. Локк Д., Ж.-Ж. Руссо, Песталоцци И. Г. Педагогическое наследие. М.: Педагогика, 1989. 542 с.
2. Ортега-и-Гассет Х. Восстание масс: Избр. тр. М.: Весь мир, 2000. 426 с.
3. Гвардини Р. Конец нового времени // Вопр. философии. 1990. № 3. С. 15–22.
4. Цагараев В. А. Искусство и время. Владикавказ: Ир, 2003. 464 с.

Z. K. Malieva, V. A. Tsagaraev

APPLICATION OF TECHNOLOGY OF SEMIOTIC ANALYSIS OF VISUAL CULTURE OBJECTS TO SPIRITUAL AND MORAL EDUCATION OF STUDENTS

Opportunity of spiritual and moral education of students on the basis of technology of semiotic analysis of visual culture objects is revealed. Comparative characteristics of works of art of different epochs and peoples are analyzed, which allows to display in them universal moral values, recognition of which will help the students to develop tolerant attitude to other ethnocultural senses, other religious idea which on the whole will create prerequisites for their spiritual culture formation.

Education through culture, visual culture, spiritual culture, upbringing, tolerance, structural analysis, moral principles, value understanding



УДК 330.33.01

В. С. Бушуев, Е. Г. Сазонова

МУЛЬТИСИСТЕМНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОТИВ КРИЗИСОВ

Предлагается в антикризисных целях корректировка методологии анализа и обеспечения прогресса мультисистемностью общества в целом и его кадрового потенциала в частности с использованием понятий духовности, счастья и справедливости.

Система, мультисистемность, кризис, целеполагание, счастье, духовность, социальный импринтинг, профориентация, справедливость

Здоровье, счастье, устойчивость семьи и общества в целом – базовые ценности людей – все это эффекты соответствующих систем.

В отличие от комплекса **система** – это совокупность компонентов, объединенных относительно устойчивыми взаимосвязями, более значимыми, нежели их взаимосвязи с внешней средой, создающими в итоге новое качество (эффект системы), которым не обладает ни один из этих компонентов и ни любая другая их совокупность. Так, емкостью кадки не обладает ни одна из ее деталей. Даже если все детали разобранной кадки, связанные бечевкой, положить в углу – этот сверток не будет обладать емкостью. В системе можно выделить компоненты, непосредственно создающие эффект системы: в данном случае это дощечки-клепки, основание, на котором строится данная система, – днище кадки и сохраняющие систему от развала обручи. Дублирование ряда компонентов и введение перекомпоновки увеличивают затраты в системе, но эффект системы при увеличении затрат остается прежним.

На эффект системы непосредственно воздействовать невозможно, он изменяется в результате воздействия на состав или внутренние связи данной системы. Кроме того, необходимо учитывать, что одна и та же система может одновременно иметь несколько эффектов различной значимости в разных ситуациях.

Соответственно, системный подход – это принцип действия, по которому планирование, реальное воздействие на структуру системы и полученные результаты оцениваются по изменению соответствующего эффекта системы. Подробнее алгоритм системного подхода описан в уже опубликованных работах одного из авторов данной статьи [1], [2].

В данном случае интерес представляют динамичные системы, участвующие в круговороте вещества, энергии и информации, при всем движении относительно устойчиво сохраняющие самоидентификацию за счет самоорганизации. Основой этого является адекватность проявления эффектов системы соответственно изменениям внешней и внутренней среды этих систем, которая обеспечивается использованием интеллекта – способностью оптимизировать информационное взаимодействие со средой – отбирать из поступающей информации наиболее существенную, перекодировать ее в соответствии с сущностью данной системы, хранить и активизировать ее для соответствующих реакций на изменение среды. И именно интеллект дает возможность людям выбирать из множества вариантов развития.

Другое основание устойчивости и прогресса в жизни – объединение систем в большие, усложненные и все более многоуровневые метасистемы. При этом решаемые задачи усложняются прежде всего на информационном уровне, где, помимо многоуровневости, требуется оперативность и оптимальность на каждом из уровней метасистемных объединений.

Любая система-носитель жизни сохраняет свою устойчивость и прогресс только при сохранении гармонии отношений со своими подсистемами и метасистемами, частью которых является она сама. Любой орган тела сохраняет свое здоровье в зависимости от деятельности составляющих его живых клеток, а тело в целом передает на отдельные органы и на составляющие их клетки воздействие внешней среды. Рассогласование в этой иерархии и вызывает кризис.

Слово *кризис* стало одним из самых употребительных. Разрушающее влияние глобального кризиса ощущают практически все. Но сущность его за конкретными проявлениями большинство людей не понимает. Дадим его точное определение. **Кризис** – это такое состояние самоорганизующейся системы, при котором в результате запредельных отклонений одного или нескольких факторов ее существования и прогресса она утрачивает возможность сохранения своей основной сущности без использования противоестественных для нее ресурсов, режимов функционирования или даже без жертвования ряда своих составных частей ради сохранения главного.

У любого кризиса в принципе возможны три исхода:

- 1) указанными в определении способами система получает дополнительное время, в течение которого вызвавшие ее кризис причины ликвидируются;
- 2) система исчерпывает возможности компенсации последствий кризиса и утрачивает свою основную сущность;
- 3) система переходит на качественно новую ступень своего прогресса, ликвидируя внутренние причины кризиса и обретая потенциал для устранения внешних причин.

В самом общем виде причинами современного кризиса можно назвать рассогласование между блоками объективно образующейся глобальной метасистемы, ориентацию управляющих социальными системами, эгоистичные цели, противоречащие требованиям прогресса системы в целом, и, как следствие, падение эффективности внешнего по отношению к подсистемам управления. Понимание эгоистичности управления верхов вызывает ответный протест снизу. Это уменьшает согласованность между уровнями иерархии и, соответственно, эффект системы на каждом из уровней.

История доказала, что рано или поздно люди разрушают навязанное им, даже если это ведет к разрушению государства. А до того они стремятся укрываться от этих воздействий, прибегая зачастую к созданию преступных сообществ. Под влиянием внешнего воздействия и личных устремлений их жизнь становится сложным конгломератом выполняемых ролей, вынужденных уступок и самоуправления, или приходят к смирению: «привычка свыше нам дана – замена счастью она». Имеющих власть в первую очередь интересует производство и распределение жизненных ресурсов. Вопрос об использовании ресурсов власть имущими не стоит: «Было бы богатство, а распорядиться мы сумеем. Подчиненным же нужно выделять то и столько, чтобы они могли создавать новые ресурсы и не выходили бы из подчинения». Такой порядок вещей пригоден для относительно замкнутых и медленно изменяющихся обществ.

Начавшиеся процессы глобализации, ведущие к созданию все более динамичной, единой геобиосоциальной системы, требуют смену акцентов с регуляции и управления на саморегуляцию и самоуправление при единых ориентирах и принципах взаимной координации субъектов нового типа, живущих по принципам братства на основе духовности. Альтернативой этому может стать только перерастание кризиса во всеобщее, хотя и непреднамеренное самоуничтожение [3].

Для организации активных взаимосогласованных действий всего общества необходима относительная переориентация целей по всем уровням управления обществом. Экономика не должна более быть предметом первоочередного внимания. Она дает только средства, а они могут быть использованы и все чаще используются во вред не только самому пользователю, но и всем, кто от него зависит. Необходимо принципиально иное использование ресурсов.

Изменение самоуправления согласованностью с нижними и верхними уровнями системной иерархии и на этой основе переориентация в использовании ресурсов начинаются с изменения целеполагания. Помимо интеллектуальной развитости и реальной информированности это определяется стремлением к счастью и духовностью субъекта. По ходу активности в достижении новых целей вступает в действие корректировка восприятия справедливости или несправедливости взаимодействия с системами разных уровней.

Людей с новым типом личности необходимо формировать из новых поколений на основе использования закономерностей феномена социального импринтинга [4]–[6], семей нового типа и перехода к полносистемному образованию. Начинать нужно с обращения к главной, системной человеческой потребности – потребности в счастье.

О счастье сказано и написано много. Но это всегда частности. Очень важные, но практически всегда или отдельные детали объективно сверхсложной системы, или сверхабстракции, непригодные для реальной регуляции и самоуправления. Для получения понятия, необходимого для переориентации существующего управления обратимся к системному подходу рассмотрения человеческого самоуправления. Системный подход при активном и корректном его использовании открывает много нового в том, что ранее было известно в виде отдельных фрагментов, но не давало большого эффекта.

Для начала надо уточнить три понятия, часто употребляемые одно вместо другого: потребность, интерес и желание. *Потребность* – это объективная нуждаемость в том или ином факторе эффективности сохранения и проявления жизненного потенциала. Нуждаемость в пище как таковой – фактор жизнеспособности, потребность в разнообразии пищи, в витами-

нах, микроэлементах – фактор не просто жизнеспособности, а эффективности протекания жизненных процессов в организме: насколько полно разворачивается и проявляется его потенциал, насколько он устойчив к неблагоприятным внешним воздействиям, помехам. Потребность всегда объективна, независима от знания о ней, от понимания ее. Помимо потребностей человека можно и нужно говорить о потребностях той или иной конкретно взятой социальной системы: личности, семьи, предприятия, нации, государства и человечества в целом.

Интерес – это чувственно-эмоциональное отражение истинной или мнимой потребности. Это результат истинного или искаженного осознания и яркого эмоционального восприятия потребности. Эмоциональная окраска может быть и отрицательной, интерес может быть и со знаком минус. И человек прикладывает массу усилий, чтобы избежать того или иного фактора воздействия. Отражаться может и мнимая потребность: пристрастие наркомана, пьяницы.

Желание – это положительный настрой, ощущение собственного положительного настроения на ситуацию, представляющуюся возможной. Желание – это стремление к состоянию в будущем, даже если это стремление к продолжению в будущем того, что есть сейчас: в будущем это может исчезнуть, а хочется, чтобы продолжалось. Это не цель. Это может стать основанием принятия в качестве цели, ради которой программируется соответствующая жизнедеятельность. Желание может остаться всего лишь желанием. Желание скорейшего прихода транспорта на остановке – это именно желание, а не цель. Более того: цель может противоречить желанию из чувства долга.

Три этих понятия – потребность, интерес и желание – необходимо различать. Именно в силу их смешения нередко и манипулируют человеком извне. Когда в леспромхоз завозили спирт – это было соответствие желаниям и интересам рабочих. Если бы вместо спирта завезли свежие овощи – это соответствовало бы потребностям. Но завозить спирт было проще и выгоднее.

У человека при достижении им определенного уровня развития появляется объективная потребность в счастье. Напомним, что потребность – это объективная нуждаемость системы, при неудовлетворении которой снижается полнота проявления той или иной части потенциала данной системы или система утрачивает свою основную сущность. Удовлетворение потребности в счастье в значительной мере определяет возможности того или иного проявления потенциала определенной социальной системы – личности, семьи, предприятия, народа. Счастливые люди меньше болеют, быстрее выздоравливают, эффективнее работают, меньше устают, меньше совершают ошибок – и счастливых людей окружающие больше любят.

И обратное: несчастный человек подобен ржавой гранате – в ответ на слабейшее внешнее воздействие он может «взорваться», разрушая и себя самого, и свое окружение. Это хорошо показал в своей книге Леонид Жуховицкий [7]. Стихийно или осознанно, но в американской культуре принято стремление хотя бы выглядеть счастливым, уверенным в себе и в своих перспективах – это условие того, чтобы окружающие захотели иметь с тобой дело. Даже если твои дела плохи – не показывай этого, чтобы кто-то из недоброжелателей не воспользовался твоей временной ослабленностью.

А теперь вернемся к определению счастья.

Счастье – это социально-философская категория для системного обозначения положительных переживаний субъекта по поводу отражения его интеллектом надежности обеспечения в настоящем и обеспеченных перспектив в будущем устойчивости и прогресса его самого и необходимых для него систем, включенных в его понимание смысла собственной жизни.

Это именно философская категория. Как жизнь противостоит смерти, счастье противостоит несчастью во всех проявлениях (беда, катастрофа, неблагополучие). Это именно категория, для выяснения сущности которой необходимо обращаться к множеству понятий из самых разных отраслей знания, категория философская, т. е. применима ко всем временам и пространствам, но не просто философская, а социально-философская, т. е. применима только к социальным объектам. В природе счастья нет. У животных нет счастья, есть лишь отдельные задатки, фрагменты, из которых на уровне человека появится это новое качество жизни, эта новая потребность обеспечения человеческой жизни, обеспечения проявления человеческого потенциала. Так, животные обладают отдельными задатками, которых все же недостаточно для образования у них второй сигнальной системы – способности специфической перекодировки информации, особого рода моделирования.

Человек – это единственное живое существо на Земле, для которого счастье является потребностью. Остальные нуждаются в покое, в удовлетворении, в удовольствиях, в наслаждениях, в экстазе – это все компоненты, а счастье – это система, состоящая из множества таких компонентов, объединенных особым образом.

Счастье – это системное обозначение состояния субъекта социальной деятельности. Это всегда состояние, проживаемое в определенное время. Это не одномоментность, а процесс переживания, перехода от одного времени к другому. При этом всегда участвует прошлое, настоящее и проецируемое, прогнозируемое, присутствующее пока в воображаемом виде будущее. Это всегда переживание по поводу того, что дает интеллект на уровне чувств и разума, сознания и подсознания в общем их взаимодействии. Счастье – это переживание на основе того, что дает интеллектуальное отражение в целом. И переживание не по поводу частностей – там удовлетворение, радость, наслаждение, но еще не счастье. Это только компоненты системы «счастье». Систему даже из достаточных готовых компонентов еще собрать да отладить нужно. Поскольку это система, то уровень счастья всегда ограничивается самым малым из необходимых компонентов, самым недостаточным из звеньев системы. Попади один камешек в хрустальную туфельку Золушки – и сразу не останется никакого счастья, пока этот острый камешек не удалить.

Для счастья нужно, чтобы интеллект отражал надежность обеспеченности, устойчивость и прогресс, и не только самого субъекта, но и тех, в связи с существованием кого данный субъект видит смысл своей жизни. Но поскольку неподвижность уровня обеспеченности, а также эффективность использования имеющегося обеспечения не могут быть постоянными, а могут или повышаться, или понижаться, то для счастья нужно ощущать рост и обеспеченности, и эффективности использования имеющегося обеспечения.

Все гуманитарные науки занимаются частностями. Частности важны, поскольку любая из них может свести эффект счастья к нулю. Социология как обобщающая наука обязана при сборе и обобщении всех нужных человеку частностей ориентироваться на его счастье – на счастье индивида, на счастье семьи, на счастье народа и на счастье человечества, а это требует социологии, базирующейся на реальном применении системного подхода.

Человек не может быть счастливым в одиночку, не может быть счастливым вне определенных отношений в системах, которые ему объективно и субъективно необходимы. Он должен чувствовать себя счастливым среди коллег, где постоянно должен ощущать уважение и заботу, среди своей семьи, где уважения недостаточно – нужна любовь, он должен чувствовать себя надежно защищенным в обществе, благодарно принимающем для наилучшего использования результаты его творчества.

И тогда встает вопрос: счастье – это объективно или субъективно? Переживания субъективны, но они могут быть устойчивыми только на объективных основаниях. Человеку объективные основания для счастья можно и нужно дать. Нужно дать пищу, тепло, источники соответствующей информации, дать возможности нужного общения. Но все это не счастье, а только возможности счастья. Использовать их для тех или иных целей, тем или иным способом, с тем или иным восприятием – это дело самого человека. Счастливым он может стать только сам. Сделать счастливым невозможно.

Но сделать человек может только то, что хотя бы по минимуму умеет. Умение – это не врожденное. Этому можно и нужно учить, а точнее – нужна свобода как системная характеристика ситуации.

Семейные трагедии происходят не столько от того, что супруги неверно выбирают друг друга, сколько от того, что с лучшим партнером не умеют создавать, беречь и растить семейное счастье, не умея на должном уровне обращаться ни с собой, ни с самыми близкими. Этому тоже можно и нужно учить.

Еще нужно учить видеть, понимать и ценить достигнутое счастье. В легенде, рассказанной Л. Жуховицким, как раз и описывается ситуация, в которой человек нашел свое счастье и, не заметив его, прошел мимо.

Закон опережающего роста потребностей, интересов и желаний, а также историческая динамика потерь в военных и техногенных катастрофах упорно показывают необходимость переориентации базовой целеустремленности с увеличения средств достижения частных целей на все более полное удовлетворение интегральной сугубо человеческой потребности – потребности в счастье.

И важнейший вид человеческой деятельности – профессиональная деятельность должна ориентироваться прежде всего не на прибыль и не на траты этой прибыли, а на проявление главной человеческой сути как основную составляющую счастья. Но что главное в этой сути? Субъективная составляющая счастья выводила проявление сути реальных людей на работорговлю, на уничтожение десятков миллионов в мировых войнах. И отношения братства, проблему которых так гениально показал Ф. М. Достоевский [8], – это тоже лишь внешние проявления той сути, формированием и развитием которой можно и нужно управлять. Эта суть субъекта – его *духовность*. О духовности тоже говорят и пишут немало, вплоть до планов преподавания религиозной этики в школе.

Системный подход позволяет определить сущность духовности, а опора на закономерности социального импринтинга позволяет целенаправленно формировать и развивать ее.

Духовность – это система присущих конкретному субъекту основ самоуправления (по взаимосоответствию его способностей, интеллекта, культуры и внешних условий жизнедеятельности), надежно обеспечивающих приоритетность направления его активности на обеспечение устойчивости, прогресса и счастья субъективно необходимых ему систем в условиях недостатка или отсутствия внешнего контроля и стимулирования.

Духовность проявляется в выборе приоритетности между «я» и «мы»: я и моя семья, я и мои друзья, я и мой народ, государство, человечество. На предельно доступном человеку уровне обобщения это проявляется в соотношении самого себя с миром, сотворенным Богом. Приоритетность – положение основного акцента при обязательном дополнении остальными составляющими (ударный слог не устраняет ни одного из остальных слогов).

Духовность – это эффект сложной системы, в которую входит сознательное и подсознательное, чувственно-эмоциональное и рассудительное, входят специфические способности, а также самые глубинные интеллектуальные и культурные основания, объединяющие жизнедеятельность субъекта в единое целое. Духовность не существует вне субъекта – ее носителя. При этом в качестве субъекта может выступать единая социальная система любого уровня: индивид, семья, нация, народ, человечество в целом. Следует различать *три важнейших параметра духовности*.

1. *Уровень общности системы, приоритетной для данного субъекта*, – что такое его «мы», стоящее для него на первом месте по отношению к его «я» (друзья, семья, фирма, нация, народ, государство, человечество). И только самый высокий уровень духовности подпадает под сферу религии. На этом уровне общности для человека в качестве его «мы» выступает все мироздание во главе с его создателем – Богом, заповеди которого подавляют не только личные желания, но и некоторые проявления инстинктов. Хотя каждый человек одновременно является составной частью различных систем, далеко не каждую из них он воспринимает как свое приоритетное «мы».

И сразу же становится очевидной необходимость учета двух других критериев, единство которых невозможно разорвать.

2. *Степень развития духовности на том или ином конкретном уровне обобщения* – это и показатель надежности, с которой обеспечивается на этом уровне приоритетность направленности активности субъекта на соответствующее «мы» в различных ситуациях при различной величине помех, это и основания для активности в проявлении выбранного приоритета. Чем данный субъект готов поступиться не ради другого, а ради единого «мы», насколько это надежно проявляется в различных, вплоть до самых неблагоприятных, условиях?

Особо нужно подчеркнуть: приоритетность запрещает разрывать «я» и «мы», приоритетность не тождественна жертвенности. Жертвенность – запредельный случай проявления приоритетности, поскольку при этом система утрачивает носителя соответствующего «я» в качестве своей важной составной части. Покончивший с собой из-за безответной любви не только не приносит радости любимому человеку, а взваливает на него тяжкий груз совершенно не нужных для гармонии мира и потому несправедливых угрызений совести. Скорбивший все продукты членам семьи и сам впавший в истощение или даже умерший от голода может оставить семью без кормильца, обречь ее на гибель. Жертва как проявление духовности – это запредельный случай в экстраординарных условиях, когда это остается единственной возможностью преодолеть смертельную для любимых черту и передать заботу о них другим, уходя из их жизни. В таком контексте истинное проявление любящего, но не любимого заключается в расширении условий для того, чтобы о любимом или любимой позаботились другие, не отягощая эти условия демонстрацией собственных бед или даже своего ухода из жизни.

Особо здесь нужно отметить ситуации, когда при отсутствии предельного экстремума отказ от жертвенности или поспешная жертва может разрушить нужную системность без замены ее новой, более гармоничной. Духовность не может быть направлена на ликвидацию соответствующих систем. Приоритетность должна не разрушать соответствующую систему, а повышать ее внутрисистемную гармоничность.

Высокодуховный человек поступает своим «я» ради своего же самоутверждения, ради возвышения своего же «я», ради своего же счастья. При этом, поставив на первое место «мы», человек на второе место должен не забыть поставить свое «я» – ведь без этого пострадает и общее «мы». Христианский аскетизм и пренебрежение земной жизнью ничего общего с истинной духовностью не имеет. Это лицемерное обращение власти к рабам, не обращение к истинной духовности, а злоупотребление религиозной верой. Духовность – это приоритетность «мы», но с обязательностью «я» на втором месте.

3. *Гармония между различными уровнями общности «мы».* Человек не может ориентироваться только на одну из систем, будучи объективно включен во множество. Но соотношение духовности в отношении круга друзей, семьи, государства, мира в целом может быть очень различным – обладание той или иной степенью гармоничности или дисгармоничности, вплоть до противопоставления одной системы всем другим. Так, человек ради семьи идет на преступления перед обществом или ради «служения Богу» уходит в монастырь затворником.

Выстраивая уровни иерархии, не следует их противопоставлять друг другу, но гармонизировать можно только соотношение между уже реально имеющимися компонентами единого. Нужно последовательно гармонизировать отношения между уровнями духовности, которых от рождения у человека практически нет, которые еще нужно предварительно сформировать применительно ко всем системам, в которые данный индивид будет объективно включен на протяжении своей жизни. Знания о социальном импринтинге делают это вполне возможным, поскольку духовность есть не что иное, как эффект системы базовых программ жизнедеятельности, которые формируются, закрепляются и проявляются по закономерностям социального импринтинга при истинном социальном обеспечении прохождения каждого из этапов жизни субъекта, а нужное обеспечение каждого из этапов вполне осуществимо. **Социальный импринтинг** – это феномен, заключающийся в том, что в строго определенные периоды жизни формируются столь же определенные базовые свойства личности и исходные программы их проявления, формируются на уровне подсознания, а затем, в столь же определенные периоды, на повышенном уровне включается реализация этих программ даже помимо сознания и воли человека. Это и должно быть целью и содержанием одной из четырех подсистем образования профориентации.

Профессиональная ориентация – это целенаправленное формирование и развитие основ самоуправления пожизненной оптимизации собственного места в сфере разделения труда с последующей интеграцией его результатов, формирование и развитие оптимального стиля собственной деятельности и культуры, обеспечивающей эффективное взаимодействие с коллегами и смежниками.

Профессиональная ориентация не ограничивается профдиагностикой и профподбором. Но следует признать, что и это в отношении рабочих профессий проводится крайне поверхностно. И уж тем более противоречит оптимизации включения в жизнь кадрового потенциала общества современного массового сведения решения проблемы к одной лишь личностно-

безразличной агитации. Надо дать основы самоуправления, т. е. то исходное, на основе чего индивид сам будет управлять своей профессиональной судьбой: и не один раз выбрав профессию, а всю жизнь оптимально вписываться во все случаи, где нужно распределить разные виды труда, а потом интегрировать их результаты.

Оптимальный выбор профессии можно рассматривать на трех уровнях – отдельно взятой личности, малой группы и общества в целом.

Параметры выбора здесь будут различны. Несмотря на то, что в процессе жизни, людям иногда приходится приобретать новые, совершенно отличающиеся от предыдущих, специальности, главный выбор человек делает в довольно юном возрасте, что накладывает некий отпечаток. Основные особенности данной аудитории связаны с переходным возрастом и, как следствие, с рядом характеристик. Прежде всего это зависимость от чужого мнения, чаще сверстников или ребят постарше. Именно в этом возрасте (14–16 лет) подростки очень восприимчивы к мнению тех, кто пользуется для них авторитетом. В некоторых случаях родители в эту группу не входят. И это можно отнести ко второй значимой характеристике – слова родителей иногда могут вызывать прямо противоположную реакцию. Следующая немаловажная особенность – стремление к самостоятельности. В той или иной мере оно проявляется у всех. Некоторые школьники хотят сами решать, с кем общаться и когда возвращаться домой, а некоторые стремятся и к финансовой независимости. Необходимо в полной мере учитывать это стремление, ведь учащийся ссуза имеет бо́льшую свободу, чем десятиклассник, а выпускник среднего специального учебного заведения раньше приобретает профессию, а значит, и финансовую независимость. Помимо индивидуальной самостоятельности важным аргументом выбора должно быть понимание значимости данной профессиональной деятельности для устойчивости и прогресса социальных систем разного уровня общности и видение перспектив собственного прогресса как профессионального, так и общеличного. Ориентиром здесь служит восприятие престижа данной профессии и действенной заботы соответствующих социальных систем о пожизненном прогрессе конкретного профессионала вплоть до оптимизации смены профессии, если в рамках прежней он не реализовал свой индивидуальный потенциал. Много поучительного в этом плане может дать опыт японских фирм пожизненного найма, о котором на российских производствах редко кто хотя бы слышал.

Человек должен менять свое место на протяжении всей жизни, хотя бы и в рамках одной и той же профессии. При этом ему нужно учитывать и то, что это место требует от работника, и что оно дает в плане самореализации личности и перспектив дальнейшего развития, учитывать собственные эмоции и общую жизненную направленность (смысл жизни), учитывать и личные особенности, и потребности других людей, с которыми он взаимодействует.

Кроме того, одну и ту же работу можно делать по-разному. Одному нужно все предварительно педантично рассчитать и спланировать, другому достаточно полагаться на свою импровизацию (на базе соответствующей гораздо более обширной подготовки). Нужно учесть и то, что в одной и той же бригаде при одинаковой профессии нужны люди разного типа: и генератор идей, и критик, и администратор, и дипломат, и скрупулезный исполнитель, и организатор-диспетчер – люди разные. И это хорошо, поскольку есть для них возможность объединяться по принципам взаимодополнения в высокоэффективные системы при условии, что каждому подобрано место, максимально соответствующее его индивидуальности.

Такой подход должен заменить ныне действующий рыночный, ущерб от которого – «утечка мозгов», коррупция, захлестнувшая общество, и, наконец, демографический кризис.

Оплата труда профессионалов должна определяться не рыночным соотношением спроса и предложения, а тем, насколько нужна эта работа обществу сейчас и в перспективе с учетом принципа справедливости. Продуктивнее опираться на понимание справедливости как характеристики ответной реакции на действия субъекта по отношению к социальной системе, характеристики, выражающей меру положительного влияния этой ответной реакции на последующую активную заботу данного субъекта об устойчивости и прогрессе данной системы. Иными словами **справедливость** – это объективно-субъективная характеристика обратной связи в ходе социально значимой деятельности субъекта в той или иной конкретной социальной системе, характеристика, основанная на корректировке последующей деятельности субъекта, необходимой для обеспечения устойчивости и прогресса данной системы. Справедливость – это эффект системы из объективных и субъективных факторов, важнейшими из которых является эмоциональное отношение субъекта к объекту, характер его ожиданий от результатов собственных действий для данного объекта и для себя. Именно на этой основе субъект оценивает ответную реакцию на свои действия как справедливую или несправедливую, корректируя на этой основе в дальнейшем свое отношение к данному объекту и свои воздействия на него в будущем.

Именно восприятие справедливости или несправедливости может изменять отношение от любви до ненависти (промежуток – уклонение от контактов). Если субъект воспринимает ответную реакцию на свои действия как справедливую, он в дальнейшем активно содействует сохранению и прогрессу этой системы. В случае несправедливости он будет стремиться изменить, а то и совсем разрушить данную систему или хотя бы разорвать свои связи с ней.

Система образования должна оказывать действенную помощь в выборе каждым выпускником такой профессии, жизнь в которой станет для него одним из оснований его счастья.

Профессиональная деятельность не должна быть для работника сферой встреч с несправедливостью. Она должна стать важнейшим проявлением его духовности и основанием состояния счастья.

Рынок как форма и принцип регуляции в социальной системе объективно не может помочь в выполнении этих требований. Содержание учебных программ и методики их выполнения также не ориентированы ни на первое, ни на второе. И если общество не сумеет перейти от обучения к полносистемному образованию, то граждане не захотят защищать и совершенствовать такое общество, которое под властным управлением без принципиально нового самоуправления по всей своей мультисистемности никогда не справится с отрицательными девиациями вплоть до саморазрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев В. С., Крылова Н. В. Актуальные проблемы современной педагогики. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
2. Бушуев В. С., Алексеев С. В., Янушанец О. И. Основные определения и понятия системного подхода. Принципы системного подхода в экологии // Экология человека; Под ред. С. В. Алексеева и Ю. П. Пивоварова. М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2001.
3. Бестужев-Лада И. В. Альтернативная цивилизация. М.: Наука, 1989.
4. Валявский А. С. Как понять ребенка. СПб.: Фолио-пресс, 1998.

5. Гармаев А. Ц. Этапы нравственного становления ребенка / Моск. центр межнац. сравнительного образования. М., 1991.
6. Оконская И. Б. Импринтинг как системный механизм эволюции общества // Филос. науки. 2001. № 1. С. 53–69.
7. Жуховицкий Л. А. Счастливыми не рождаются. М.: Просвещение, 1989.
8. Достоевский Ф. М. Зимние заметки о летних впечатлениях: Собр. соч. в 12 т. Л.: Наука, 1989. Т. 4. С. 388–430.

V. S. Bushuyev, E. G. Sazonova

MULTI-SYSTEM METHODOLOGY AGAINST CRISIS

For anti-crisis purposes it is suggested to correct the methodology of analysis and of provisions for the progress of the multi-system society as a whole and of its personnel potential, in particular, using the notions of spirituality, happiness and justice.

Sistem, multi-sistem, crisis, spirituality, happiness, justice, social imprinting, career guidance, targeting



УДК 621 (099)

Ю. Е. Лавренко

АКАДЕМИК А. Н. КРЫЛОВ И ИЗОБРЕТЕНИЕ РАДИО

Приводятся выдержки из воспоминаний академика А. Н. Крылова, подтверждающие приоритет А. С. Попова в изобретении радио. Крылов принимал участие в спасении броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» и был свидетелем первого практического применения изобретения Попова.

А. Н. Крылов, А. С. Попов, Маркони, В. И. Канин, А. А. Реммерт, беспроводный телеграф

Алексей Николаевич Крылов (1863–1945) – один из самых известных ученых и инженеров России и СССР. Его деятельность была чрезвычайно разносторонней. По окончании Морского училища (ранее Морской корпус) в 1884 г. он был прикомандирован к компасной части Главного гидрографического управления, где работал под руководством известного ученого де Коллонга. Здесь Крылов опубликовал свою первую научную работу. В 1888 г., после годичной стажировки на Франко-русском судостроительном заводе, он поступил в Морскую академию, которую окончил в 1890 г. После этого Крылов преподавал во многих высших учебных заведениях, так или иначе связанных с кораблестроением. Одновременно он принимал участие в инженерных проектах и практических разработках: был заведующим Опытным бассейном (ныне ЦНИИ Морского флота им. А. Н. Крылова), председателем Морского технического комитета и т. д. Будучи инженером, он прекрасно понимал важность математического образования в технических вузах. А. Н. Крылов был одним из инициаторов создания Политехнического института в 1900 г. (который находился в ведении Министерства финансов). В 1914 г. он был избран членом-корреспондентом Российской академии наук, а в 1916 г. – ее действительным членом. За период до 1944 г. им было опубликовано 326 работ, среди которых такие фундаментальные труды, как «Теория корабля» и «Лекции о приближенных вычислениях», многократно переизданные. В конце XIX в. вся его работа была связана с Военно-морским флотом и ему было известно о работах А. С. Попова в области беспроводной связи. Более того, Крылов был свидетелем первого практического применения аппаратуры Попова во время Гогландской эпопеи. Вот что он пишет [см. лит., с. 319]: «...3 марта 1900 г. лейтенант В. И. Канин с острова Гогланд передал, а лейтенант А. А. Реммерт на острове Аско (30 миль от Гогланда) принял первую дepe-

шу по беспроводному телеграфу, пользуясь ими самими установленными мачтами для антенн и самодельными аппаратами преподавателя Минного класса А. С. Попова. Это первое в мире не экспериментальное, а действительно деловое применение беспроводного телеграфа. Я об этом здесь упоминаю потому, что об этом мало кто знает, а я в это время был на о. Голланд...». Видимо, и далее он следил за развитием работ Попова и Маркони, так как в статье «Попов и Маркони» [см. лит., с. 330–331], посвященной вопросу о приоритетах в области науки и техники, он пишет: «...Скромный молодой преподаватель Минного офицерского класса в Кронштадте А. С. Попов, развивая опыты Герца, построил в 1895 г. прибор, названный им “грозоотметчиком”. Испросив ничтожную сумму в 300 руб., усовершенствовал его и создал первое в мире действующее устройство беспроводного телеграфа. Затем связался с французской фирмой Дюкрете, которая делала обыкновенные физические приборы. Но Дюкрете не ограничился тем, что по заказу Попова изготавливал приборы, а присвоил себе некоторую в этом роль, назвав аппарат, изобретенный русским ученым, “*apparat de telegraphie sans fils Popoff-Ducrctet*”. Здесь необходимо упомянуть еще одного идеалиста – Бранли, который изобрел когерер, получивший впоследствии большое значение в радиотехнике. Бранли показал этот прибор в Академии, патента не взял и этим предоставил свободное пользование им. Попов также идеалист. О своем изобретении беспроводного телеграфа Попов сделал доклад в Русском физико-химическом обществе (1895 г.), поместил публикации в научных журналах и приступил к осуществлению первых практических радиоустановок, не позаботясь о патентовании.

Состоя на службе в Морском ведомстве, Попов подчинился требованию этого ведомства держать изобретенные приборы в секрете, что явно было невозможно, ибо он обучал офицеров и матросов флота пользованию этими приборами; патента он не взял (хотя бы секретного) и, следовательно, собственность своего изобретения за собой не закрепил. Между тем по Уставу торговому: “*Всякое открытие или изобретение есть собственность того, кем оно сделано*”, и поэтому требование Морского ведомства было незаконным.

Спустя несколько месяцев после сделанного в январе 1896 г. Поповым печатного сообщения о “приборе для обнаружения и регистрирования электрических колебаний”, а именно в июне 1896 г., Маркони оформил свой патент и лишь через год – в 1897 г. – опубликовал сведения о своих опытах и приборах беспроводного телеграфирования. Приборы Маркони представляли собой точное воспроизведение аппаратуры, ранее изобретенной и описанной Поповым. Однако Маркони сразу поставил дело беспроводного телеграфа на широкую коммерческую ногу. Он привлек к этому делу большие деньги, основал акционерную компанию, в которой имел больше половины акций, пустил изобретение в продажу, добился резкого увеличения дальности телеграфирования, осуществив радиосвязь через Атлантический океан, и тем стяжал себе славу.

Случай изобретения радиотелеграфа принципиально отличается от вышеописанного случая астрономического открытия² между прочим тем, что вопрос о приоритете в изобретении радио совершенно бесспорен: радио, как техническое устройство, изобретено Поповым, который и сделал об этом изобретении первую научную публикацию.

² Речь идет об открытии планеты Нептун Адамсом и Леверье.

И хотя Маркони получил более широкую известность на поприще радиотелеграфии (исключительно благодаря своей энергичной коммерческой и технической предприимчивости), – приоритет и огромные заслуги Попова, как изобретателя радио, увековечивают имя русского ученого в истории науки и техники».

Вопрос о приоритете А. С. Попова обсуждался многократно специалистами в области радиотехники, однако вышеприведенная оценка высказана ученым и инженером, опыт которого охватывает также и область промышленности – «бизнеса». В течение всей своей деятельности А. Н. Крылов был теснейшим образом связан с судостроительной промышленностью, ему приходилось принимать участие в процедуре заказов на постройку военных и торговых судов, а в период с 1921 по 1928 гг. он был представителем СССР за границей, главным образом по закупке и фрахтованию судов. Поэтому вопросы патентования, а, следовательно, и установления приоритетов, ему были прекрасно известны. Более того, он был современником А. С. Попова, и так как деятельность последнего была тесно связана с Морским ведомством, то, по долгу службы, А. Н. Крылов был хорошо осведомлен о его работах. Поэтому его оценка должна рассматриваться как наиболее обоснованная.

К сожалению, пример с изобретением радио демонстрирует перманентную болезнь российской промышленности – неумение, а скорее нежелание, использовать достижения отечественной науки. Одно из относительно современных проявлений этого – изобретение нобелевским лауреатом академиком Ж. И. Алферовым полупроводниковых гетероструктур, внедрение которых произошло за границей. Только после этого такие элементы стали производить и у нас. Отечественная промышленность и до сих пор ориентируется на готовые решения, заимствованные из-за рубежа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Крылов А. Н. Мои воспоминания / Сост. Н. И. Барбашев, С. А. Шерр. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

Y. E. Lavrenko

ACADEMICIAN A. N. KRYLOV AND INVENTION OF RADIO

Excerpts of recollections of academician A. N. Krylov confirming invention of radio by A. S. Popov. Krylov had taken part in saving the armored ship "General-admiral Apraxin" and was a witness of the first practical application of Popov's invention

A. N. Krylov, A. S. Popov, Marconi, V. I. Canin, A. A. Remmert, wireless telegraph

Сведения об авторах

Баринова Евгения Анатольевна

Ассистент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-08-14. E-mail: bachish@mail.ru.

Барченко Владимир Тимофеевич

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 900-97-35. E-mail: VTBarchenko@mail.eltech.ru.

Большев Александр Константинович

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 349-49-72. E-mail: key@timeold.ru.

Бондаренко Павел Николаевич

Младший научный сотрудник кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-60-77. E-mail: pavel_bn@mail.ru.

Бушуев Валерий Степанович

Доцент кафедры социологии и политологии СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 594-10-60.

Водяхо Александр Иванович

Профессор кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: aivodyaho@mail.ru.

Во Конг Фьонг

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПб ГЭТУ.

Тел: +7(950) 043-54-69. E-mail: phuongvocong@yahoo.com.

Громов Алексей Геннадьевич

Магистрант кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (951) 689-98-54. E-mail: gromovag@yandex.ru.

Захаров Игорь Сергеевич

Доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: Sergeich188@gmail.com.

Жукова Наталья Александровна

Ассистент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ,

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: nazhukova@mail.ru.

Иващенко Елена Михайловна

Студентка, инженер кафедры лазерных измерительных и навигационных систем.

Тел.: (812) 234-08-14. E-mail: e-dokuch@yandex.ru.

Казанцева Анна Геннадьевна

Аспирант кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: kazanutik@mail.ru.

Каменская Екатерина Ивановна

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 958-30-00. E-mail: kamenskaya_k@mail.ru.

Коновалов Сергей Ильич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovarov@mail.eltech.ru.

Кринкин Кирилл Владимирович

Исполняющий обязанности доцента кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 305-20-83. Email kkv.etu@gmail.com.

Крупенко Денис Александрович

Инженер-конструктор ОАО «Микротехника» (Санкт-Петербург). Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 332-02-93. E-mail: dakrupenko@mail.ru.

Кузьменко Андрей Григорьевич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovarov@mail.eltech.ru.

Кузьмин Сергей Алексеевич

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: KSA84@yandex.ru.

Кухарев Георгий Александрович

Профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: +7 (911) 118-24-44. E-mail: kuga41@mail.ru.

Лавренко Анастасия Евгеньевна

Ассистент кафедры теоретических основ радиотехники СПбГЭТУ.

E-mail: Lavnasty@gmail.com.

Лавренко Борис Евгеньевич

Аспирант кафедры теоретических основ радиотехники СПбГЭТУ.

E-mail: Lavrenkoboris@mail.ru.

Лавренко Юрий Евгеньевич

Доцент кафедры теоретических основ радиотехники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-04-34.

Лисс Александр Рудольфович

Профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: +7 (911) 213-84-39. E-mail: alexander_liss@mail.ru.

Лучинин Виктор Викторович

Заведующий кафедрой микроэлектроники СПбГЭТУ, профессор, д-р техн. наук.

Тел. (812) 234-27-57. E-mail: cmid@eltech.ru.

Малиева Залина Колумбовна

Докторант кафедры педагогики Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова, канд. пед. наук.

Тел.: +7 (928) 933-96-72. E-mail: zkmal@yandex.ru.

Мальшев Виктор Николаевич

Декан ФРТ СПбГЭТУ, профессор.

E-mail: vm@eltech.ru.

Мурсаев Александр Хафизович

Профессор кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-60-77. E-mail: SashaMursaev@yandex.ru.

Нгуен Ван Чьен

Аспирант кафедры систем автоматического управления. СПбГЭТУ.

Тел.: +7(964) 391-68-40. Email:qc_etu@yahoo.com.

Нгуен Тиен Тханг

Выпускник ФЭА (2004–2010). СПбГЭТУ.

Тел: +7 (911) 821-30-84. E-mail: thanghvktqs416@yahoo.com.

Петухова Марина Николаевна

Студентка кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ (гр. 5582).

Тел.: (812) 234-37-26.

Павлов Петр Алексеевич

Ведущий научный сотрудник кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел: (812) 234-08-14. E-mail: pavl-petr@yandex.ru.

Пантелеев Михаил Георгиевич

Доцент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: M.G. Panteleev, mpanteleyev@gmail.com.

Пронин Владимир Петрович

Доцент кафедры теоретической физики и астрономии РГПУ им. А. И. Герцена, канд. физ.- мат. наук.

Тел.: (812) 314-48-65. E-mail:thphys@herzen.spb.ru.

Пузанков Дмитрий Викторович

Зав. кафедрой вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: D.V. Puzankov, DVPuzankov@mail.eltech.ru.

Сазонова Елизавета Григорьевна

Аспирант кафедры социологии и политологии СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 726-69-74.

Сафьянников Николай Михайлович

Доцент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-91-33. E-mail: safyannikov@sysan.sp.ru.

Хинич Иосиф Исаакович

Доцент кафедры физической электроники РГПУ им. А. И. Герцена, канд. физ.- мат. наук.
Тел.: (812) 946-90-79; E-mail: khinitch@gmail.com.

Цагараев Валерий Андреевич

Художник, член Союза художников Республики Северная Осетия-Алания, канд. пед. наук.
Тел.: 8-867-2-64-23-75. E-mail: art@tsagaraev.ru.

Швецов Максим Николаевич

Студент гр. 4395 СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 979-42-34. E-mail: shvecovmn@gmail.com.

Правила представления рукописей авторами

В редакционный совет журнала «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» необходимо представить:

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
 - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
 - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
 - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

- текстовый редактор Microsoft Word версии не ниже 97;
- формат бумаги А4;
- параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;
- основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзацным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Arial» 12 pt, интервалы: «перед» 18 pt, «после» 6 pt; межстрочный интервал «Множитель 1.2»); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

Перечень авторов разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Arial» 14 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ слева 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Arial» 18 pt; выравнивание по левому краю; отступ слева 0.5 см, автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него – 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).

Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

➤ *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);

➤ *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.

На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку. Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы (напр.: Рис. 1, Табл. 3).

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.

Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

При невозможности представить электронные версии рисунков следует представить только твердые копии, обеспечивающие качественное воспроизведение рисунков после их сканирования (графики – черной тушью на белой бумаге, фотографии – на матовой бумаге размером не менее 9 × 12 см, не более 21 × 30 см).

Перечень основных тематических направлений журнала:

- Радиоэлектроника и телекоммуникации.
- Физика твердого тела и электроника.
- Информатика, управление и компьютерные технологии.
- Автоматизация и управление.
- Электротехника.
- Приборостроение и информационные технологии.
- Биотехнические системы в медицине и экологии.
- Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент.
- Гуманитарные науки.
- История науки, образования и техники.
- Современные технологии в образовании.

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

Технические вопросы можно выяснить по адресу: Izvestiya-leti@yandex.ru