Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

Ежемесячный журнал

2'2011

К 125-летию СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Содержание

Редакционный совет:

В. М. Кутузов (председатель)
М. Ю. Шестопалов (заместитель председателя)
В. А. Мейев (ответственный секретарь)
В. Н. Малышев ("Радиоэлектроника и телекоммуникации")
А. В. Соломонов ("Физика твердого тела и электроника")
М. С. Куприянов ("Информатика, управление и компьютерные технологии")
В. В. Путов ("Автоматизация и управление")
Г. И. Прокофьев ("Электротехника")
Ю. В. Филатов ("Приборостроение и информационные технологии")
В. В. Шаповалов ("Биотехнические системы в медицине и экологии")
С. А. Степанов ("Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент")
О. Ю. Маркова ("Гуманитарные науки")
О. Г. Вендик ("История науки, образования и техники")
Н. В. Лысенко ("Современные технологии в образовании")

* * *

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
Тел.: (812) 234-02-23

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Попов А. Л., Вендик О. Г. Планарная антенна для настольных считывающих устройств систем радиочастотной идентификации *3*

Бабушкина О. А., Кершис С. А. СВЧ-фильтры высоких частот с широкой полосой задерживания *8*

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Мошников В. А., Соколова Е. Н., Спивак Ю. М. Формирование и анализ структур на основе пористого оксида алюминия *13*

Кащеев С. В., Бузников А. А., Жевлаков А. П. Особенности формирования ультраспектральной избирательности в авиационном лидаре *19*

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Хо Нгок Зуй, Молдовян Н. А. Управляемые элементы F4/1 как примитив скоростных блочных шифров *27*

Новакова Н. Е. Систематизация инженерных знаний в области автоматизированного проектирования на основе онтологического подхода *32*

Горячев А. В. Подсистема интеллектуально-информационной поддержки базы данных типовых проектных решений *38*

Смирнова В. А. Распределение некоторых функционалов от процессов Леви и применение их к экономическим задачам *44*

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Лямкин А. А., Жарковский А. В., Микуленко Н. П., Тревгода Т. Ф. Алгоритм поиска и локализации ошибок программных комплексов управления *49*

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Демидович В. Б., Григорьев Е. А., Масликов П. А., Растворова И. И. Прецизионный нагрев цилиндрических заготовок в индукционном нагревателе периодического действия *53*

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О влиянии длительности возбуждающего электрического сигнала на длительность и амплитуду акустического импульса на выходе пьезоизлучателя *60*

Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ" 2'2011

Ежемесячный журнал

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Большаков В. П., Чагина А. В. Повышение эффективности тестов на соответствие изображениям *67*

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Чигирь М. В. Концепция экономической безопасности высшего учебного заведения (университета) *73*

Павловская И. В. Подходы к анализу ранжирующих измерительных систем *79*

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Красникова Е. В. О вкладе А. С. Попова в развитие рентгенотехники в России *84*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Мурзаков А. А. Роль слияний в образовании аффиксоидов в современном английском языке *92*

Сведения об авторах *97*

Правила представления рукописей авторами *100*

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 научных 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)

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 04.12.2006 г. выдано Управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу

* * *

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

Подписано в печать 18.02.11 г.
Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 12,75.
Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)
Заказ 9.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-45-23
Факс: (812) 346-28-56

УДК 621.396.6

А. Л. Попов, О. Г. Вендик

ПЛАНАРНАЯ АНТЕННА ДЛЯ НАСТОЛЬНЫХ СЧИТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Рассмотрена конструкция планарной дипольной антенны с рефлектором. Проведен анализ влияния взаимного расположения элементов антенны на ее характеристики направленности. Произведена оценка конструкции с точки зрения ее использования в настольных считывателях систем радиочастотной идентификации.

Радиочастотная идентификация, планарная антенна, дипольная антенна

Технология радиочастотной идентификации (более популярное название: RFID – Radio Frequency Identification) в данный момент является одной из наиболее перспективных технологий, постепенно охватывающих основные сферы нашей жизни [1], [2]. Сейчас она уже активно применяется в процессах производства, цепях поставок и реализации товаров, широко используется в системах контроля доступа и оплаты общественного транспорта, становится все более популярной в системах маркировки и учета основных средств предприятий.

Популярность данной технологии объясняется возможностью бесконтактного обмена данными между радиочастотной меткой (транспондером, тэгом), которой маркируется объект, и считывателем (ридером) – устройством, считывающим информацию об объекте из памяти радиочастотной метки [3]. Таким образом, с помощью RFID-технологии могут быть сразу реализованы несколько функций: идентификация объекта, получение о нем дополнительных сведений, записанных в памяти метки, и так называемая антикражная функция – возможность определения правомерности пересечения объектом зоны регистрации.

Все 3 перечисленные функции сейчас активно используются в библиотечных приложениях, которые в России стали одной из первых площадок внедрения RFID-технологии УВЧ-диапазона (865…870 МГц). Использование данной технологии в библиотеках позволяет существенно ускорить обслуживание читателей либо полностью автоматизировать данный процесс (занесение в базу информации о взятии/возврате книги), облегчить процесс инвентаризации библиотечных фондов и предотвратить попытки несанкционированного выноса книг.

Одним из обязательных компонентов системы радиочастотной идентификации в библиотеке является настольное считывающее устройство (настольный считыватель), с помощью которого производится процесс регистрации книг при их размещении в зоне действия считывателя.

Поскольку взаимодействие между меткой и считывающим устройством производится на бесконтактной основе, то одним из ключевых компонентов обоих устройств являются антенны. В частности, характеристиками антенны считывающего устройства определяется активная зона регистрации маркируемых объектов.

Наиболее популярной конструкцией, используемой в качестве антенн считывающих устройств в RFID-системах УВЧ-диапазона, является микрополосковая антенна (patch, microstrip antenna – в зарубежной литературе) [4]. Однако их использование в настольных считывающих устройствах нерационально по причине больших габаритных размеров. Отчасти эта проблема может быть решена посредством использования модифицированных структур PIFA (Planar Inverted-F Antenna) [5], [6] или подложек с высокой диэлектрической проницаемостью. Однако опыт работы авторов с конструкциями PIFA выявил проблемы, сопряженные с узким диапазоном рабочих частот данных излучателей, что требует тщательной подстройки образцов антенн для работы в нужном диапазоне. Использование же подложек с высокой диэлектрической проницаемостью приводит к существенному увеличению стоимости антенн.

В данной статье представлена альтернативная конструкция антенны для настольного считывающего устройства УВЧ-диапазона, которая может быть реализована с использованием относительно недорогих материалов и при этом обеспечивает стабильность характеристик в заданном диапазоне частот.

Одной из наиболее простых и хорошо изученных антенных конструкций является дипольная антенна. Ее модифицированные структуры активно применяются в качестве антенн планарных RFID-меток УВЧ-диапазона [7]. Круговая ДН дипольной антенны в одной из базовых плоскостей позволяет метке сохранять дистанцию регистрации вне зависимости от ее ориентации в данной плоскости относительно антенны считывающего устройства. Однако применительно к характеристикам антенны настольного считывателя данное свойство дипольной антенны является недостатком, прежде всего по причине невозможности обеспечения направленного излучения и формирования регистрационной зоны только с одной (лицевой) стороны считывающего устройства. Это может привести к нежелательной регистрации других меток, находящихся вблизи настольного считывателя.

Скорректировать в нужную сторону характеристики излучения дипольной антенны можно, добавив в ее конструкцию рефлектор. На рис. 1 представлена структура дипольной антенны с рефлектором в планарном исполнении.

В данной конструкции изменением длины рефлектора $L_{\text{г}}$ (относительно длины излучателя) и расстояния s между рефлектором и излучателем можно корректировать характеристики направленности антенны. Зависимость формы диаграммы направленности антенны от параметров $L_{\text{г}}$ и s показана на рис. 2 и 3 (*а* – в плоскости *XZ*, *б* – в плоскости *YZ*).

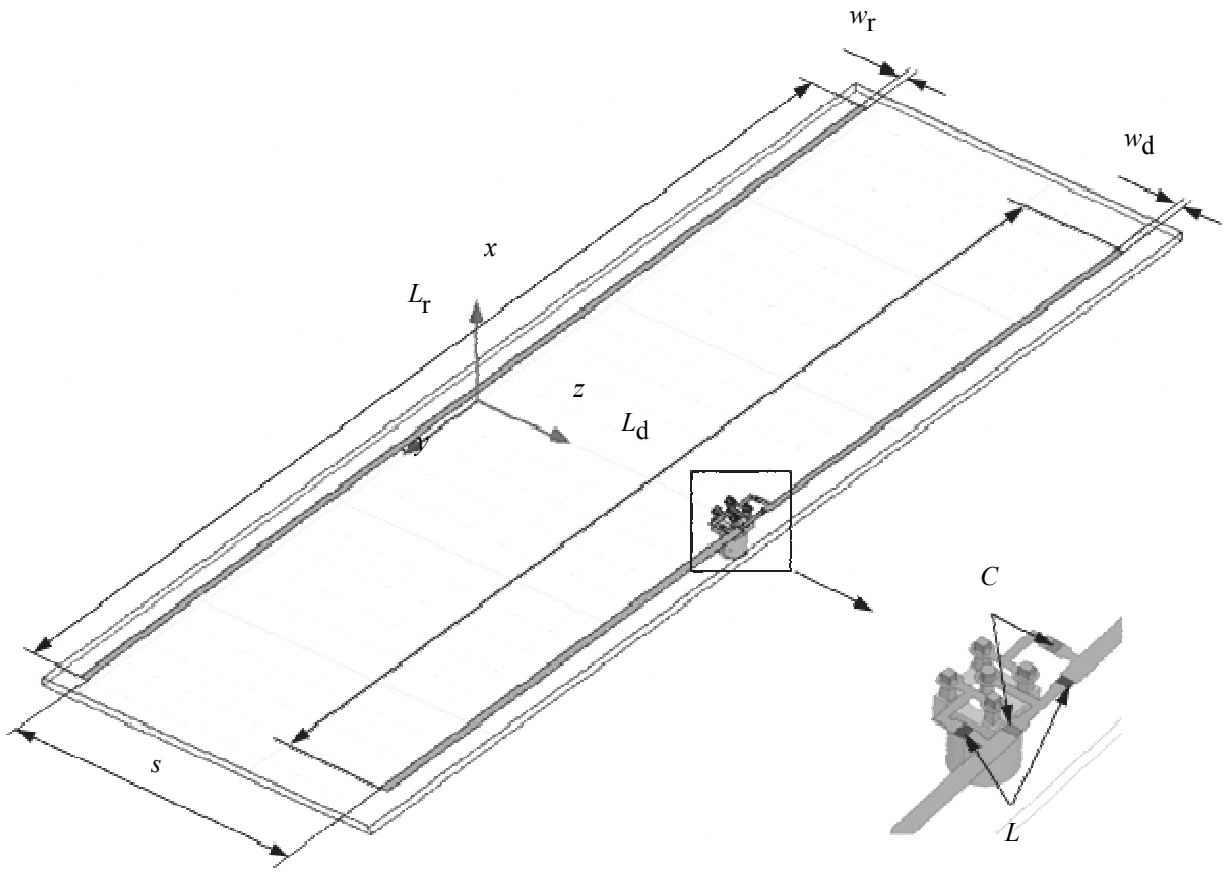

w_r
w_d
x
L_r
z
L_d
y
C
s
L

Рис. 1

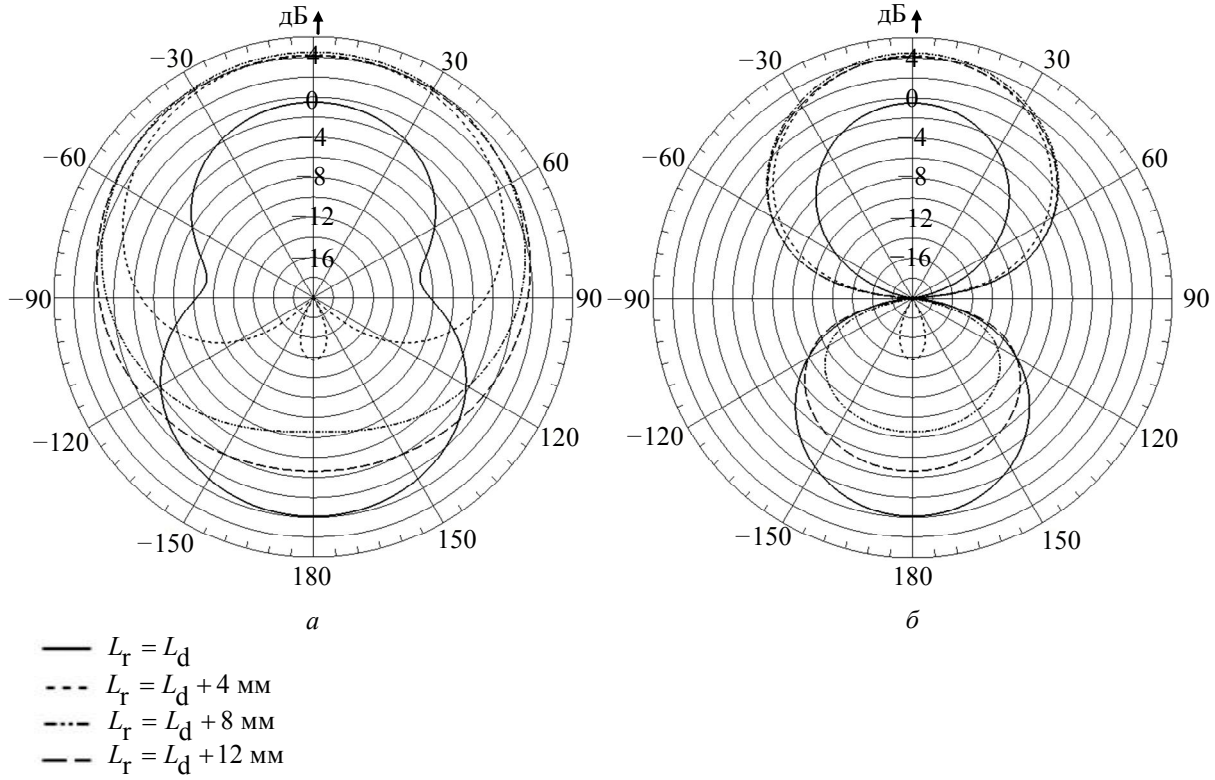

дБ
−30
30
−60
60
−90
90
−120
120
−150
150
180
4
0
−4
−8
−12
−16
а
б
$L_r = L_d$
$L_r = L_d + 4$ мм
$L_r = L_d + 8$ мм
$L_r = L_d + 12$ мм

Рис. 2

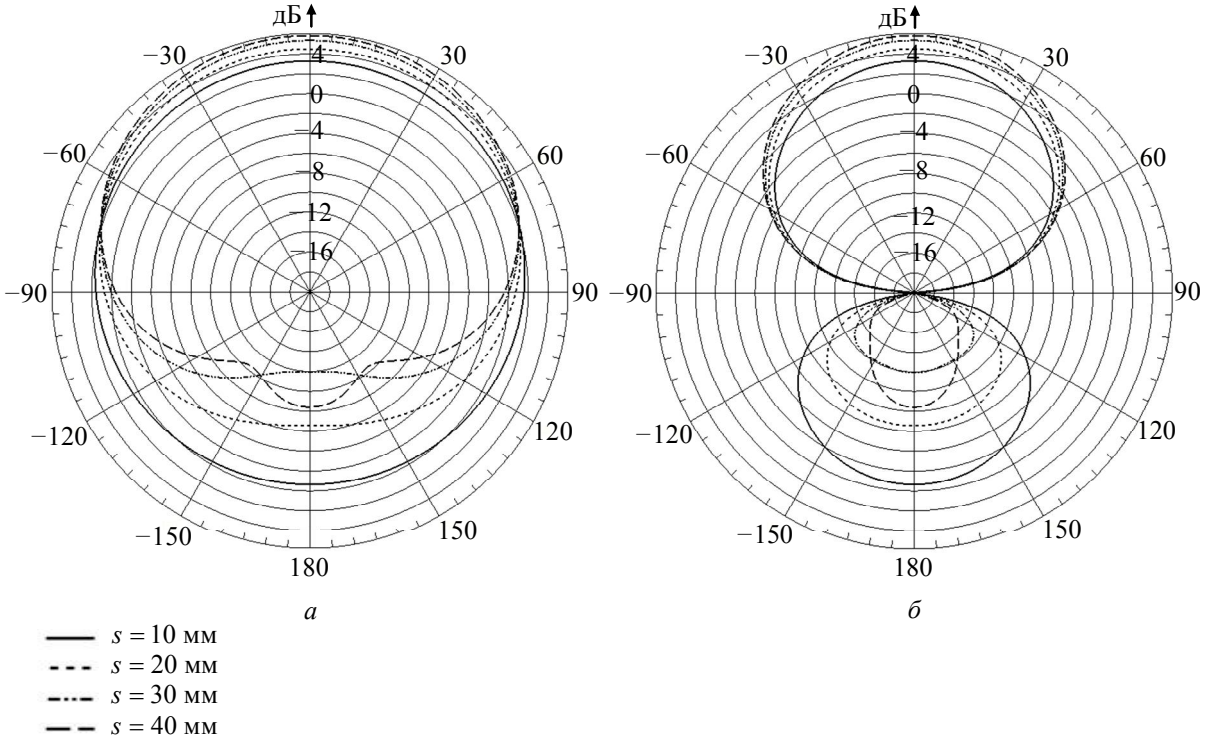


Рис. 3

Для проведения испытаний был изготовлен образец с размерами $L_d = 132$ мм, $L_r = 140$ мм, $s = 20$ мм, $w_r = w_d = 1$ мм (см. рис. 1) на подложке из фольгированного стеклотекстолита ($\varepsilon_r = 4,7$; $\mathrm{tg}\,\delta = 0,025$). При этом для согласования входа антенны с 50 Ом коаксиальным кабелем был использован *LC*-симметрирующий трансформатор с номиналами элементов $L = 4,3$ нГн и $C = 2,7$ пФ [8]. Результаты расчетов и измерений модуля коэффициента отражения на входе антенны показаны на рис. 4 (кривые *1* и *2*).

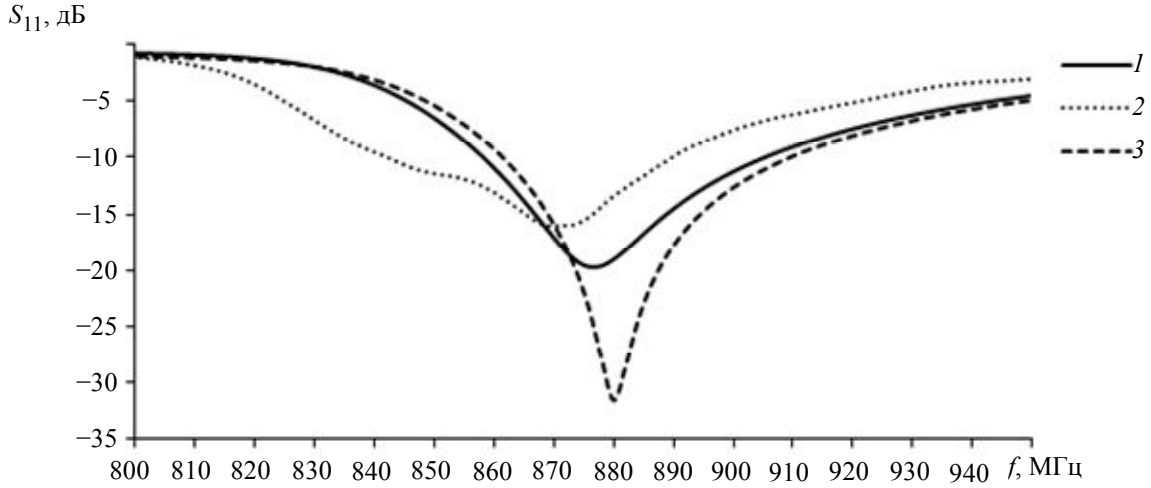
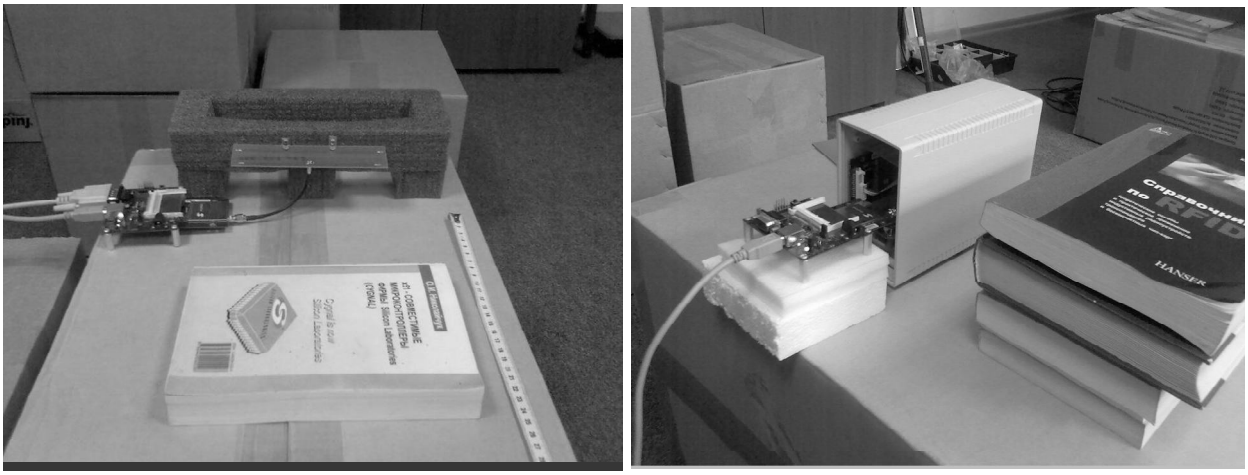


Рис. 4

Для косвенной оценки характеристик направленности антенны были проведены испытания, в ходе которых измерялась дистанция регистрации метки, расположенной в корешке книги. Измерения производились при расположении книги со стороны излучателя (лицевой стороны) и рефлектора (задней стороны) антенны (рис. 5, *а*). В измерительной

установке использовался RFID-модуль SkyeModule M9 фирмы SkyeTek. Выходная мощность считывателя в ходе экспериментов была установлена равной 20 мВт (13 дБм). Результаты измерений приведены в таблице.



а *б*

Рис. 5

Образец антенны	Расположение книги	Дистанция регистрации метки, см
1 (s = 20 мм)	Со стороны излучателя	26
1 (s = 20 мм)	Со стороны рефлектора	10
2 (s = 40 мм)	Со стороны излучателя	34
2 (s = 40 мм)	Со стороны рефлектора	2

Согласно полученным данным метка со стороны рефлектора антенны читается на значительном расстоянии, что свидетельствует о недостаточном уровне ослабления заднего лепестка и недопустимо с точки зрения практического использования антенны.

Одним из способов уменьшения излучения в заднем направлении, согласно расчетным данным, является увеличение дистанции s между излучателем и рефлектором. Для экспериментальной проверки данного факта был изготовлен образец с $s = 40$ мм. Остальные размеры при этом не менялись. Как показывают результаты расчета модуля коэффициента отражения на входе антенны, корректировка согласующих элементов при данной модификации не требуется (см. рис. 4, кривая *3*).

Со вторым образцом антенны были проведены аналогичные измерения по определению дистанции регистрации метки, расположенной в книге. Их результаты также отражены в таблице. Согласно полученным данным дистанция регистрации метки со стороны рефлектора существенно уменьшилась. Рассматривая результаты измерений второй конструкции с точки зрения ее практического применения, следует отметить, что антенна с данными параметрами может использоваться в настольном RFID-считывателе.

Авторами статьи экспериментально исследовалась зависимость характеристик антенны от расстояния между излучателем и рефлектором. Однако данные моделирования показывают, что добиться требуемых характеристик также можно изменяя длину рефлектора. Данный способ предпочтителен, когда к размерам антенны предъявляются более жесткие требования.

Следует также заметить, что при внедрении рассмотренной антенны в конструкцию считывателя необходим анализ влияния на ее характеристики других составляющих устройства. Так, при разработке конструкции настольного считывателя, использующего антенну данного типа (см. рис. 5, *б*), авторами оценивалось влияние близкорасположенных платы пи-

тания и RFID-модуля на характеристики направленности антенны. В ходе исследований было определено оптимальное взаимное расположение этих элементов в корпусе устройства.

В заключение хотелось бы отметить, что рассмотренная конструкция, на взгляд авторов, является удачной альтернативой PIFA. К основным преимуществам новой конструкции можно отнести более широкий диапазон рабочих частот, возможность достаточно простой корректировки направленности излучения антенны, высокую технологичность и низкую стоимость изготовления. Эти преимущества стали определяющими при принятии решения использовать антенны данного типа в новых настольных терминалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lahiri S. RFID Sourcebook. IBM Press, 2005. P. 63–100.
2. Vipul Chawla and Dong Sam Ha. An Overview of Passive RFID // IEEE Application & Practice Magazine. Sept. 2007. P. 11–17.
3. Фринкенцеллер К. Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт. М.: Додэка-XXI, 2008.
4. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. 2nd ed. Wiley & Sons, Inc.,1997. P. 722.
5. Слюсар В. Антенны PIFA для мобильных средств связи // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2007. № 1. С. 64–74.
6. Wong K.-L. Compact and Broadband Microstrip Antennas. 2002.
7. Dobkin D. The RF in RFID. Passive UHF RFID in Practice. 2008. P. 305– 354.
8. AVR2004: LC-Balun for AT86RF230 // Atmel Application Note. 2004. July.

A. L. Popov, O. G. Vendik

A PLANAR ANTENNA FOR DESK READERS OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEMS

A planar dipole antenna design with a reflector is considered. Influence of the antenna elements positional relationship on its directional characteristics is analyzed. Estimation of the design in terms of its use in desk readers of radio frequency identifications systems is made.

Radio frequency identification, planar antenna, dipole antenna

УДК 621.372.543.2

О. А. Бабушкина, С. А. Кершис

СВЧ-ФИЛЬТРЫ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ С ШИРОКОЙ ПОЛОСОЙ ЗАДЕРЖИВАНИЯ

Предложена и исследована новая структура на отрезках линий передачи, которая может использоваться на СВЧ в качестве фильтра высоких частот. Даны рекомендации по выбору параметров отрезков линий передачи для получения максимальной ширины полосы пропускания фильтра высоких частот и получения равноволновой АЧХ в полосах пропускания и задерживания.

Техника СВЧ, широкополосный фильтр ВЧ, структура на отрезках линии передач, равноволновая АЧХ, дополнительные нули передачи

Большинство структур СВЧ-фильтров высоких частот (ФВЧ) на отрезках регулярных линий передачи имеют узкие полосы задерживания и паразитные полосы пропускания на кратных частотах, уровень затухания в которых зачастую сравним с затуханием в основной полосе пропускания фильтра, что затрудняет их применение в передающих и приемных устройствах, а также мультиплексорах. В [1] предложена структура фильтра нижних частот (ФНЧ) с широкой полосой задерживания на основе фазовой цепи первого порядка, нагруженной на конденсатор, а в [2] анализируется дальнейшее развитие этой структуры для СВЧ на основе распределенной СВЧ-фазовой цепи, нагруженной на отрезок разомкнутой линии пе-

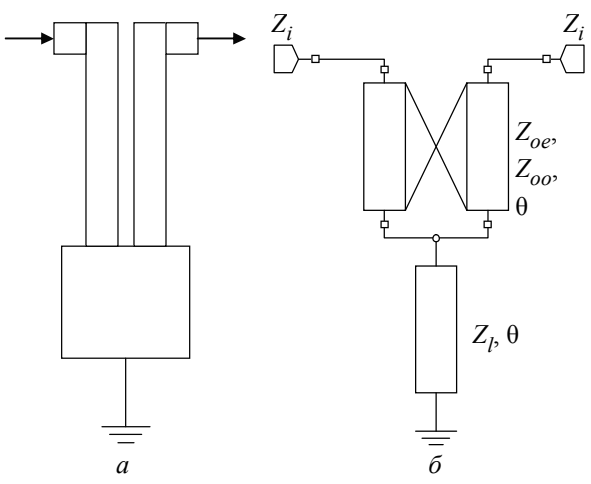


Рис. 1

передачи. Эти цепи могут быть использованы в диплексорах в качестве ФНЧ, а также для подавления паразитных полос пропускания в СВЧ-полосовых фильтрах.

В настоящей статье рассматривается аналогичная структура, выполненная полностью на распределенных элементах, которая может использоваться на СВЧ как ФВЧ с широкой полосой задерживания, а также может служить частотно-избирательным элементом в диплексорах.

Анализ характеристик пропускания и задерживания для структуры ФВЧ на основе фазовой цепи первого порядка. Предлагаемая структура может быть получена из структуры ФНЧ [2] с улучшенными характеристиками задерживания заменой отрезка разомкнутой линии передачи на отрезок короткозамкнутой на свободном конце линии. Эквивалентная электрическая схема и схематическое изображение топологии этой структуры при микрополосковом исполнении показаны на рис. 1.

Цепь представляет собой отрезок соединенных на одном из концов связанных линий передачи с волновыми сопротивлениями четного Z_{oe} и нечетного Z_{oo} видов колебаний с электрической длиной $\theta = \omega d\sqrt{\varepsilon_{эф}}/c_0$, где ω – текущее значение частоты; d – геометрическая длина связанных линий; $\varepsilon_{эф}$ – эффективное значение диэлектрической проницаемости; c_0 – скорость света. К соединенным концам связанных линий подключен отрезок короткозамкнутой на втором конце линии передачи с волновым сопротивлением Z_l и электрической длиной $\theta_l = \omega l\sqrt{\varepsilon_{эф}}/c_0$, где l – геометрическая длина отрезка замкнутой линии передачи. Внутреннее сопротивление возбуждающего тракта и сопротивление нагрузки цепи равно Z_i.

В качестве упрощающего анализ допущения примем, что электрическая длина связанных линий для колебаний четного и нечетного видов одинакова и равна θ. Предлагаемую структуру относительно входного и выходного портов можно представить в виде последовательного соединения двух четырехполюсников: пары связанных линий и параллельно включенного отрезка замкнутой линии передачи (рис. 2).

Матрицы $\mathbf{Z}_1$ и $\mathbf{Z}_2$ для каждого из четырехполюсников будут равны:

$$\mathbf{Z}_1 = \begin{Vmatrix} j\rho\mathrm{tg}\,\theta & -jr\mathrm{tg}\,\theta \\ jr\mathrm{tg}\,\theta & -j\rho\mathrm{tg}\,\theta \end{Vmatrix}, \quad \mathbf{Z}_2 = \begin{Vmatrix} jZ_l\mathrm{tg}\,\theta_l & -jZ_l\mathrm{tg}\,\theta_l \\ jZ_l\mathrm{tg}\,\theta_l & -jZ_l\mathrm{tg}\,\theta_l \end{Vmatrix}.$$

Учитывая последовательное соединение четырехполюсников, определим матрицу z-параметров такой цепи, нормированных к сопротивлению нагрузки [3]:

$$\mathbf{Z} = \begin{Vmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} j\left(\rho\mathrm{tg}\,\theta + Z_l\mathrm{tg}\,\theta\right) & -j\left(r\mathrm{tg}\,\theta + Z_l\mathrm{tg}\,\theta\right) \\ j\left(r\mathrm{tg}\,\theta + Z_l\mathrm{tg}\,\theta\right) & -j\left(\rho\mathrm{tg}\theta + Z_l\mathrm{tg}\,\theta\right) \end{Vmatrix}, \tag{1}$$

где $\rho = \left(Z_{oo} + Z_{oe}\right)/2$, $r = \left(Z_{oe} - Z_{oo}\right)/2$, остальные переменные определены ранее.

Из (1) получим выражение для коэффициента передачи исследуемой цепи [3]:

$$S_{21} = \frac{-2z_{21}}{(z_{11}+1)(z_{22}-1)-z_{12}z_{21}}. \qquad (2)$$

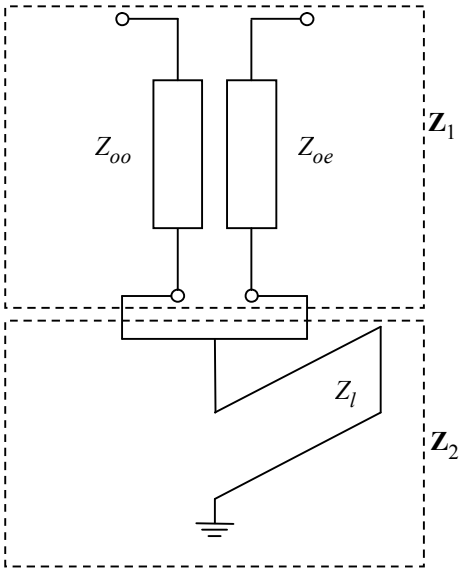


Рис. 2

Как видно из соотношений (1) и (2), на нижних частотах при $\omega \to 0$ модуль коэффициента передачи предлагаемой цепи $|S_{21}| \to 0$ и практически частотно-независим, в то время как на высоких частотах $|S_{21}|$ может существенно изменяться. Таким образом, в зависимости от соотношений между Z_{oo}, Z_{oe}, Z_l, θ_l и θ на высоких частотах можно получить $|S_{21}| \to 1$, т. е. цепь будет иметь характеристики ФВЧ с заданными параметрами амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе пропускания.

На рис. 3 приведена АЧХ рассматриваемого фильтра, рассчитанная в пакете “Mathcad”. Как видно из рисунка, фильтр имеет нули передачи на нулевой частоте и на частотах f_1, f_3, f_4. Вокруг центральной частоты полосы пропускания f_2 симметрично расположены еще две частоты, на которых $|S_{21}| = 1$.

На основании многочисленных результатов моделирования было установлено, что для получения у ФВЧ АЧХ чебышевского типа (рис. 3) с ярко выраженными полосами пропускания и задерживания необходимо выполнить условие

$$\frac{\theta}{\theta_l} = 2. \qquad (3)$$

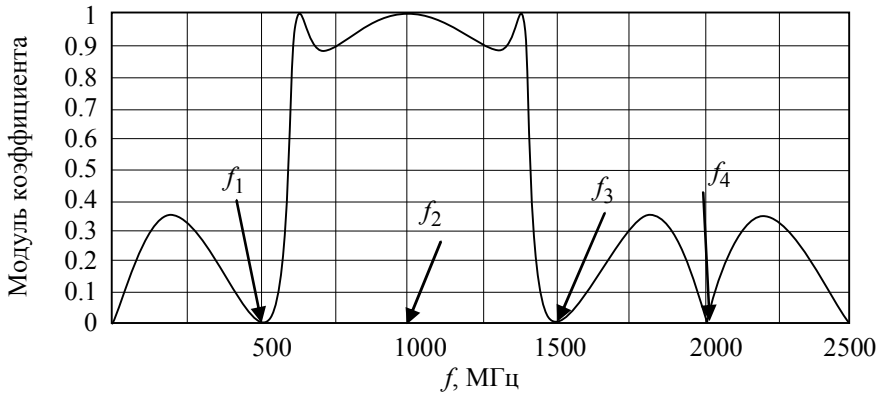


Рис. 3

С учетом (1)–(3) получим уравнение для определения нулей коэффициента передачи $|S_{21}|$ на частотах f_1, f_3, f_4:

$$r\,\mathrm{tg}\,2\theta_l + Z_1\,\mathrm{tg}\,\theta_l = 0. \qquad (4)$$

Из уравнения (4) находим значения электрических длин короткозамкнутого отрезка, соответствующие частотам нулей передачи цепи f_1, f_3, f_4:

$$\theta_{l1} = \pi k\,, \tag{5}$$

$$\theta_{l2} = \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right) + \pi k\,, \tag{6}$$

$$\theta_{l3} = -\mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right) + \pi k\,, \tag{7}$$

где k – целые числа.

На основании (5)–(7) и с учетом того, что $\theta_l = \omega l\sqrt{\varepsilon_{эф}}\,/\,c_0$, получим выражения для частот, соответствующих нулям модуля коэффициента передачи цепи $|S_{21}|$:

$$f_1 = \frac{c_0 \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right)}{2\pi l\sqrt{\varepsilon_{эф}}},$$

$$f_3 = \frac{c_0}{2l\sqrt{\varepsilon_{эф}}} - \frac{c_0 \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right)}{2\pi l\sqrt{\varepsilon_{эф}}},$$

$$f_4 = \frac{c_0}{2l\sqrt{\varepsilon_{эф}}}.$$

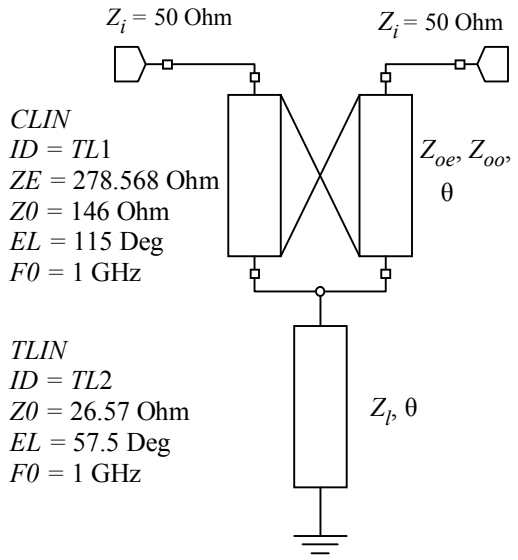


Рис. 4

Центральная частота полосы пропускания f_2 ФВЧ-структуры, показанной на рис. 3, с учетом (1), (2) и условия $|S_{21}| = 1$ определяется следующим образом:

$$f_2 = \frac{c_0 \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right)}{2\pi l\sqrt{\varepsilon_{эф}}} + \frac{1}{2}\left(\frac{c_0}{2l\sqrt{\varepsilon_{эф}}} - \frac{c_0 \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right)}{2\pi l\sqrt{\varepsilon_{эф}}}\right) = \frac{c_0}{4l\sqrt{\varepsilon_{эф}}}. \tag{8}$$

Ширина полосы пропускания может быть определена как разность между частотами f_1 и f_3, соответствующими нулям передачи $|S_{21}|$, и составит:

$$\Delta f = \frac{c_0}{2l\sqrt{\varepsilon_{эф}}} - \frac{c_0 \mathrm{arctg}\left(\sqrt{\frac{2r+Z_l}{Z_l}}\right)}{\pi l\sqrt{\varepsilon_{эф}}}. \tag{9}$$

Важными свойства исследуемой цепи, которые следуют из (3), (8), (9), являются:

– центральная частота полосы пропускания однозначно определяется геометрическими длинами линий, структурой и свойствами материала подложки и не зависит от Z_{oo}, Z_{oe}, Z_l. Коэффициент передачи на центральной частоте $|S_{21}| = 1$;

– ширина полосы пропускания зависит от геометрических длин связанных и короткозамкнутой линий, свойств материала подложки, а также соотношения между волновыми сопротивлениями колебаний четного Z_{oe} и нечетного Z_{oo} типов связанных линий передачи и волнового сопротивления короткозамкнутого отрезка Z_l.

Для использования такой структуры в цепи в качестве ФВЧ необходимо обеспечить максимально возможную ширину полосы пропускания, условиями чего является выполнение равенств:

$$\frac{d(\Delta\omega)}{d(Z_{oe}-Z_{oo})}=\frac{d(\Delta\omega)}{d(Z_l)}=0;\ \frac{d^2(\Delta\omega)}{d(Z_{oe}-Z_{oo})^2}=\frac{d^2(\Delta\omega)}{dZ_l^2}\le 0. \qquad (10)$$

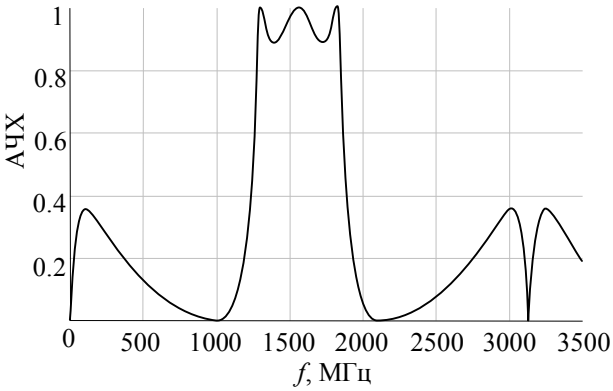


Рис. 5

Однако аналитически решить уравнения (10) весьма затруднительно, поэтому более предпочтительно определять оптимальные соотношения для Z_{oo}, Z_{oe}, Z_l методами математического программирования. В пакете “Microwave office” была смоделирована такая структура, и оказалось, что ее можно использовать не только как ФВЧ, но и как полосовой фильтр. Результаты моделирования показаны на рис. 4, 5.

При выполнении этих соотношений относительная полоса пропускания ФВЧ составляет $\omega_{\text{в}}/\omega_{\text{н}} \ge 2$, что достаточно для большинства практических задач реализации ФВЧ и диплексоров на СВЧ.

Использование описанной в настоящей статье структуры ФВЧ на основе фазовой цепи первого порядка позволяет обеспечить широкую полосу пропускания с малой неравномерностью АЧХ внутри полосы, а также успешно подавлять паразитные сосредоточенные помехи в полосе задерживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкина О. А., Головков А. А. СВЧ полосовые фильтры с подавлением паразитных полос пропускания // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Радиолокационная техника». 2008. Вып. 4. С. 51–59.

2. Rui Li, Dong Kim, Chang Mook Choi. Compact Structure With Three Attention Poles for Improving Stopband Characteristics // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2006. Vol. 16, № 12. P. 663.

3. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987.

O. A. Babushkina, S. A. Kershis

VHF FILTERS WITH THE BROAD ATTENUATION BAND

The new structure built with links that can be used in high frequencies as a highpass filter is offered and investigated. Recommendations for selecting parameters of links to get the broad passband in high frequencies and Chebyshev characteristic are made.

Microwave technology, broad passband VHF filters, structure of links, Chebyshev characteristic, additional transmission gain zeros

УДК 621.315.592

В. А. Мошников, Е. Н. Соколова, Ю. М. Спивак

ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Изучен процесс формирования слоев пористого оксида алюминия на разных подложках при различных технологических условиях анодирования. Исследована поверхность por-Al_2O_3 с помощью атомно-силовой микроскопии. Проведена оценка качества сотовой структуры por-Al_2O_3 и вычислена поверхностная концентрация пор.

Наноэлектроника, пористый анодный оксид алюминия, атомно-силовая микроскопия, топология поверхности, степень упорядоченности, концентрация пор, доменная структура

Наноструктурированные диэлектрики находят все более широкое применение в современной сенсорике, наноэлектронике, фотонике, при изготовлении мембран [1]–[3]. Нанопористые материалы на основе оксидов представляют перспективное направление в катализе [4], используются в качестве микро- и нанореакторов [5], высокоселективных и высокочувствительных датчиков, в том числе на основе эффекта гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) [1]. Пористая структура обладает комплексом функциональных возможностей (вариантов аналитического отклика).

Для формирования пористых структурированных материалов на микро- или наноуровнях применяют как современные нанотехнологии (например, золь-гель-синтез), так и традиционные методы (электрохимическое травление). Эти технологии обладают рядом важных достоинств: низкой себестоимостью, низкой время- и энергозатратностью, совместимостью с кремниевой технологией интегральных микросхем.

Одним из наиболее изученных структурированных пористых материалов, полученных электрохимическим анодированием, в настоящее время является пористый оксид алюминия (por-Al_2O_3). Уникальность алюминия заключается в том, что в процессе электрохимического травления (ЭХТ) при определенных технологических условиях возможно получить слой Al_2O_3 с самоупорядоченной структурой пор типа «пчелиные соты». Интеграция наноэлементов в современные интегральные схемы возможна только при использовании ансамблей идентичных наноэлементов [2].

Создание слоев por-Al_2O_3 на подложках кремния (проблема формирования сложных структур, совместимых с кремниевой технологией) осложнено тем, что на начальных этапах формирования дефектные участки пленки Al шунтируют высокоомный барьерный слой, что приводит к образованию проколов и отслоению алюминия. Тем не менее, получение слоев por-Al_2O_3/Si представляет значительный научный и практический интерес в темплатном синтезе (например, для создания высокоупорядоченных слоев пористого кремния в широком диапазоне размеров пор; в качестве подложек для формирования квантовых точек с узким распределением по размерам). Также такие слои перспективны для создания приборных структур, интегрированных с элементами обрабатывающей электроники, сформированной в кремниевой подложке [1].

Данная статья посвящена анализу особенностей структур слоев пористого анодного оксида алюминия с помощью атомно-силовой микроскопии (атомно-силовой микроскоп (АСМ) «Ntegra Terma», NT-MDT). Основное внимание уделено разработке методики для оценки степени упорядоченности пористой структуры.

В работе, результаты которой представлены настоящей статьей, был использован известный механизм формирования упорядоченной сотовой структуры por-Al_2O_3 [3]. Главным источником сил самоорганизации, возникающих между соседними ячейками, является механическое напряжение, связанное с увеличением объема при образовании оксида алюминия. Расширение может происходить только в вертикальном направлении, так как непрерывное образование нового слоя осуществляется на границе между алюминием и оксидным слоем на дне пор. Можно показать, что существуют оптимальные условия формирования упорядоченной структуры. Согласно этому, варьируя напряжение и состав электролита, необходимо добиться таких значений плотности тока, при которых увеличение объема образующегося оксида алюминия составит 1.2–1.4 раза.

В основе эффекта порообразования и последующего роста пор лежит равновесие между одновременно протекающими на дне пор электрохимическими процессами локального нарастания и растворения оксида алюминия (рис. 1, *а*). На рис. 1 представлено схематичное изображение процесса образования слоя пористого оксида алюминия: *а* – электрохимическое окисление алюминия/растворение оксида; *б* – структура сформированнного por-Al_2O_3 [6], [7].

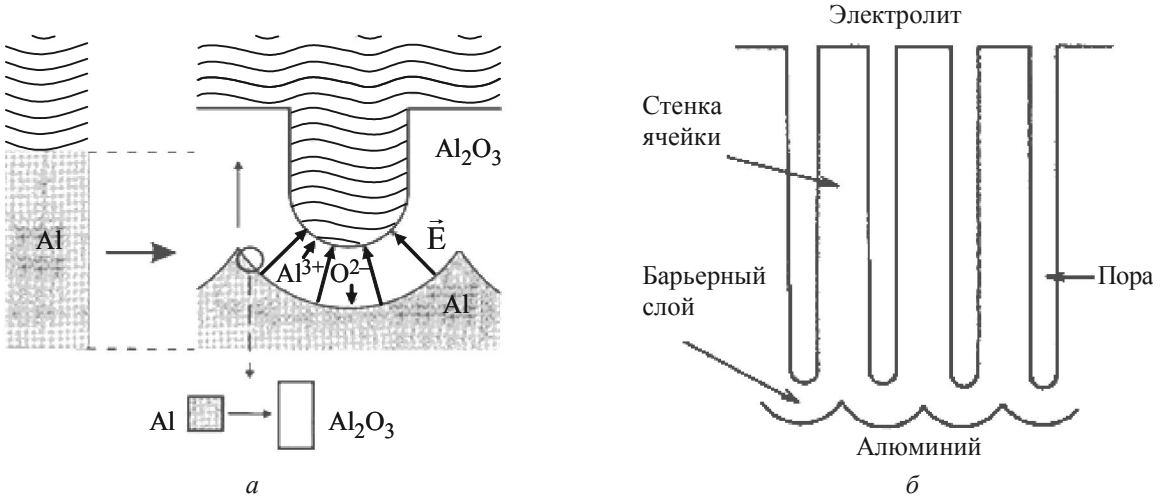


Рис. 1

Для получения por-Al_2O_3 была сконструирована однокамерная ячейка для электрохимического травления с возможностью контроля температуры системы. Слои por-Al_2O_3 формировали электрохимическим анодированием в потенцио- и гальваностатическом режимах в электролитах на основе серии составов (растворы H_3PO_4, H_2SO_4, $(COOH)_2$). В качестве исходных слоев была использована алюминиевая фольга и пленки алюминия, полученные методом магнетронного распыления на кремнии. Для получения высокоупорядоченных слоев por-Al_2O_3 был использован прием, предложенный в работе [7]. Для этого многократно повторялись циклы «анодирование – селективное стравливание оксидного слоя». Таким образом, осуществлялся контроль мест зарождения пор: инициирование порообразования происходит за счет использования преструктурированной поверхности Al, полученной в результате предыдущего этапа окисления и удаления оксида. На рис. 2 приведены результаты исследования методом атомно-силовой микроскопии слоя por-Al_2O_3, полученного с помощью преструктурирования в электролите на основе щавелевой кислоты при напряжении 40 В, область сканирования – 500 × 500 нм [1].

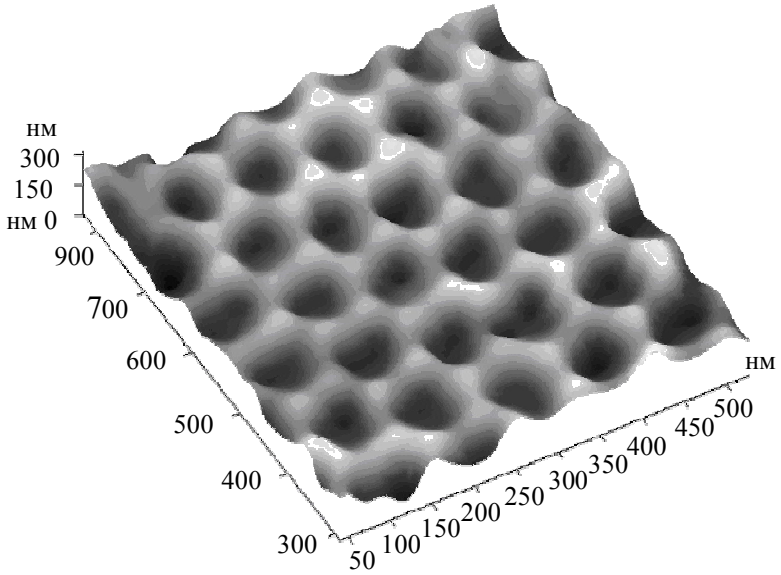


Рис. 2

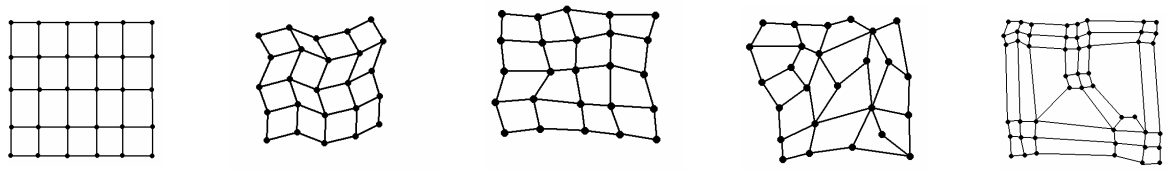
Как видно из рис. 2 и 4, por-Al_2O_3, сформированный на преструктурированных подложках Al, характеризуется узким разбросом значений по размерам пор (~150 нм), высокой упорядоченностью.

Методика атомно-силовой микроскопии пористого оксида алюминия и анализ степени упорядоченности пор. Для исследования структуры и морфологии слоев por-Al_2O_3 наиболее часто применяют растровую электронную микроскопию. Спецификой применения атомно-силовой микроскопии является высокая чувствительность к состоянию поверхности, но малая глубина исследования (в случае узких и глубоких пор) из-за реальных размеров зондов АСМ. Также необходимо учитывать, что стенки пор часто обладают размерами, сопоставимыми с радиусом закругления зонда АСМ (например, ширина стенки ≈10…15 нм, типичный радиус закругления зонда ≈10 нм и более). В этом случае на данных АСМ форма и размеры стенок могут быть сильно искажены за счет эффекта

конволюции зонда АСМ с поверхностью. Для исследования por-Al_2O_3 лучше выбирать зонды с высоким аспектным соотношением и возможно меньшим радиусом закругления зонда (современные промышленно выпускаемые зонды с радиусом закругления ≈2 нм).

Одним из важнейших критериев при определении структурных характеристик por-Al_2O_3 является оценка степени упорядоченности сформированной системы. Для ряда важнейших применений (например, фотонные кристаллы) создание высокоупорядоченной структуры пор является критичным [1], [3]. Существует определенная классификация неупорядоченности структур. В [8] проведен анализ общих дифракционных соотношений для гетерогенных систем. При этом в качестве исходных моделей гомогенных решетчатых структур рассмотрены приближения совершенной кристаллической структуры (рис. 3, *а*), неидеальной паракристаллической структуры (рис. 3, *б*), паракристаллической структуры общего типа (рис. 3, *в*) и совершенно разупорядоченной аморфной системы (рис. 3, *г*). Под идеальной паракристаллической структурой в рентгеновской дифрактометрии понимают ячейки, встроенные в ряды и колонки двумерной решетки и образующие параллелограммы, но в отличие от кристаллической решетки имеющие разную форму и размеры [9]. Такая модель может быть использована для описания рассеяния слабо разупорядоченными структурами [6].

Базисные векторы решетки могут изменяться как по величине, так и по направлению. Ячейки представляют собой искаженные параллелограммы, упорядоченные в ряды и колонки. На рис. 3 представлены также двумерные модели аморфной решетки (рис. 3, *г*) и модель структуры, содержащей кластеры (рис. 3, *д*). Последняя модель может быть использована для описания рассеяния двухуровневыми структурами.

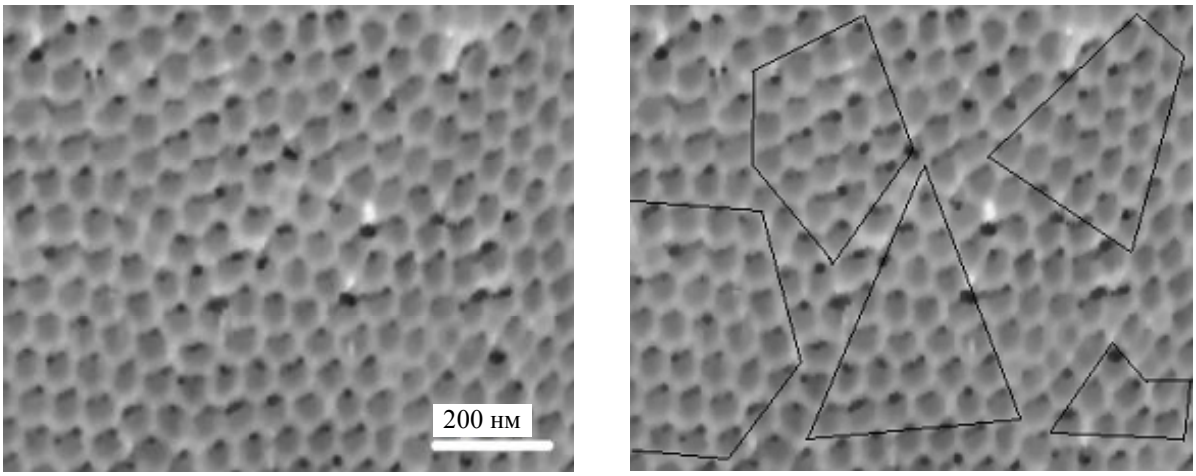


а *б* *в* *г* *д*

Рис. 3

Как видно из рис. 3, *д*, двухмерная модель структуры, содержащей кластеры, является негомогенной. В таком случае можно рассматривать структуру более высокого уровня, которая формируется в виде сверхрешетки и представляет собой квазипериодическое распределение центров микрообластей.

Пористый оксид алюминия представляет собой двухмерную модель (рис. 3, *д*). Обычно для количественной оценки степени упорядоченности структуры por-Al_2O_3 используется коэффициент упорядоченности – отношение количества ячеек, гексагонально расположенных друг относительно друга, к общему числу ячеек на выбранной площади поверхности por-Al_2O_3. Но такой способ оценки качества структуры позволяет судить только о доле гексагональных ячеек с формой, близкой к идеальной, и оценивать ближний порядок структуры. Тем не менее, часто слои por-Al_2O_3 характеризуются блочной структурой, что представлено на рис. 4. АСМ изображения на рис. 4 представляют собой слой por-Al_2O_3, полученный с помощью преструктурирования (рис. 4, *а*), и изображение с выделенными вручную границами областей повышенной упорядоченности для цифровой обработки (рис. 4, *б*).



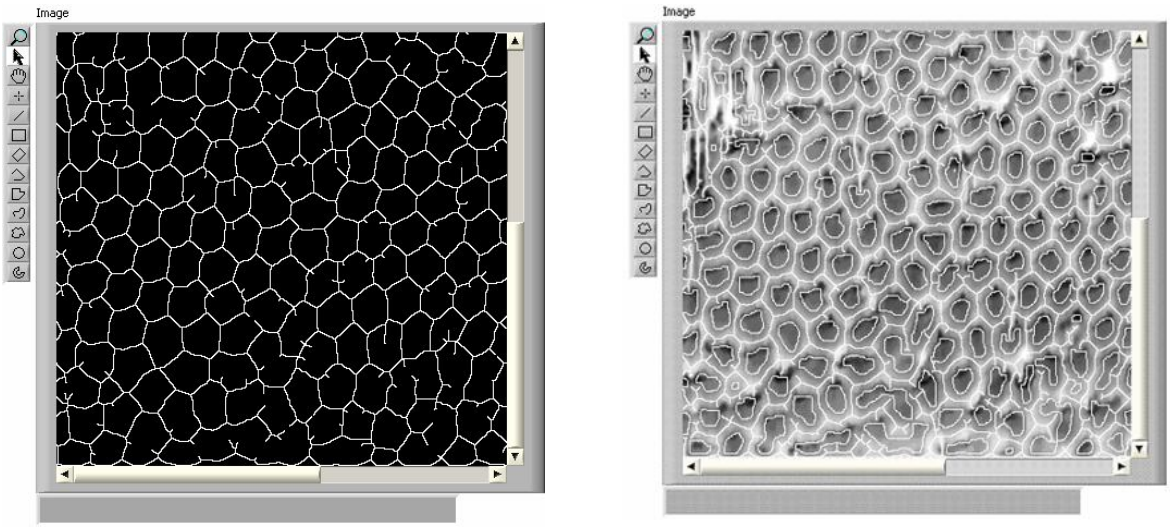
а *б*

Рис. 4

Как видно из рис. 4, в слое por-Al_2O_3 можно выделить области с размерами ~ 500…700 нм, в которых коэффициент упорядоченности достигает 98 %, разделенные переходными дефектными областями. Внутри таких областей – доменов ячейки строго ориентированы друг относительно друга. Но соседние домены могут иметь различную ориентацию друг относительно друга. Оценка упорядоченности на макроуровне важна, так как будет определять свойства и размеры рабочих областей функциональных структур на основе por-Al_2O_3. Образование блочной структуры с точки зрения анализа термодинамических и кинетических условий роста пор в оксиде алюминия (по аналогии с образованием дефектов в реальных кристаллах) объясняется тем, что исходная структура поверхности алюминия была поликристаллической. Это поясняет тот факт, что ориентация ячеек внутри разных доменов отличается.

В работе [1] был предложен один из вариантов алгоритмов, позволяющих проводить оценку качества сотовой структуры por-Al_2O_3 по данным атомно-силовой микроскопии. Программный продукт был создан на языке графического программирования при помощи пакетов National Instruments LabVIEW 8.5 и National Instruments Vision Assistant 8.5, в частности при использовании ряда функций IMAQ Vision, которые позволяют обрабатывать практически любые изображения [10], [11]. Алгоритм предполагает преобразование исходного цветного изображения в полутоновое. Затем изображение конвертируется в бинарное путем задания глобального порога. Полученное изображение очищается от шума медианной фильтрацией и отсечением верхних частот Фурье-преобразования. Определенный набор последовательно идущих друг за другом морфологических операций позволяет выделить внутренние контуры и остов пористой структуры, которые затем складываются с исходным полутоновым изображением, образуя конечный результат. Также вычисляется поверхностная концентрация пор.

Результаты исследований отражены на рис. 5. На данном рисунке представлен участок АСМ изображения образца пористого анодного оксида алюминия, полученного с помощью преструктурирования и в результате цифровой обработки: *а* – остов пористой структуры; *б* – изображение, полученное путем сложения исходной картинки с изображениями, прошедшими морфологический анализ (обведены контуры гексагональных ячеек и пор).



а *б*

Рис. 5

В программе также была рассчитана поверхностная концентрация пор в исследованном образце por-Al_2O_3. Было получено значение ~127 пор/мкм^2. Значение не абсолютно точное, так как в силу некоторой дефектности исходного изображения оказалось, что некоторые ячейки в результате работы программы были сдвоенными и даже строенными, однако процент таких отклонений невелик.

Таким образом, в данной статье приведены результаты исследования поверхности слоев пористого анодного оксида алюминия с помощью АСМ. По данным атомно-силовой микроскопии показано, что структура является высоко упорядоченной с размерами пор ~150 нм. Выяснено, что por-Al_2O_3 обладает доменной структурой. С помощью разработанного программного обеспечения проведен анализ пористой структуры и построено изображение поверхности por-Al_2O_3 с выделением контуров гексагональных ячеек и пор на полутоновом изображении. Использование в программе методов математической морфологии позволяет выделить остов пористой структуры. Проведена оценка степени упорядоченности por-Al_2O_3 и поверхностной концентрации пор, которая составила ~127 пор/ мкм^2.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, гос. контракт № 16.740.11.0211 от 24.09.2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование однородности структурных параметров пористых оксидных наносистем, полученных методом электрохимического травления / Ю. М. Канагеева, В. А. Мошников, Н. Е. Преображенский, А. И. Румянцева // Материалы 11-й междунар. конф. "Физика диэлектриков" (ICD–2008). СПб.: Изд-во РГПУ, 2008.

2. Pat. US № 7208389 B1 / K. Tipton, G. Lu. Method of porogen removal from porous low-k films using UV radiation. Apr. 24. 2007.

3. Гаврилов С. А., Белов А. Н. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники. М.: Высш. образование, 2009. С. 169–236.

4. Бородинов Н. С., Елисеев А. А. Применение методов химической иммобилизации для получения высокоэффективных ферментных катализаторов на основе анодных пленок пористого оксида алюминия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009.

5. Пат. РФ № 2322384 / Н. А. Григорьева, К. С. Напольский, А. А. Елисеев и др. Способ получения нанокомпозитных материалов с упорядоченной структурой; опубл. 20.04.2008. Бюл. № 11.

6. Diggle J. W., Downie T. C., Goulding C. W. Anodic oxide films on aluminium // Chem. Rev. 1969. № 69. P. 365–405.

7. Highly Ordered Nanochannel-Array Architecture in Anodic Alumina / H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh et al. // Appl. Phys. Lett. 71 (19). 10 Nov. 1997. P. 2770–2772.
8. Диагностика наносистем. Многоуровневые фрактальные наноструктуры / А. П. Шпак, В. В. Шилов, О. А. Шилова, Ю. А. Куницкий. Киев: Академпериодика, 2004.
9. Hosemann R., Bagchi S. N. Direct analysis of diffraction by matter. Amsterdam: North Holland P. C., 1962.
10. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, В. А. Князь и др. М.: ДМК Пресс, 2007.
11. Тревис Д. LabVIEW для всех / Пер. с англ. Н. А. Клушина. М.: ДМК Пресс.-ПриборКомплект, 2005.

V. A. Moshnikov, E. N. Sokolova, Y. M. Spivak

THE FORMATION AND ANALYSIS OF STRUCTURES BASED ON POROUS ALUMINA

Formation process of por-Al_2O_3 layers on various substrates (Al, Si) under different technological conditions by electrochemical etching has been studied in the work. Examination of structural parameters and morphology of obtained samples were carried out by following AFM method. The quality of honeycomb-like porous structure and surface concentration of pores were evaluated by original analysis program.

Nanoelectronics, porous anodic alumina, Atomic Force Microscopy, surface topology, degree of ordering, surface concentration, domain structure

УДК 520.6; 535.31

С. В. Кащеев, А. А. Бузников, А. П. Жевлаков

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАСПЕКТРАЛЬНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ В АВИАЦИОННОМ ЛИДАРЕ

Рассмотрены основные компоненты техники создания лидара с ультраспектральным ($\lambda/\Delta\lambda$ >>1000) разрешением, развитой в ИЛФ НПК "ГОИ им. С. И. Вавилова". Особое внимание уделено возможности многоцелевого применения метода спонтанного комбинационного рассеяния для аэропоиска и синхронного обнаружения широкого набора химических веществ и соединений при лазерном зондировании земной биосферы на одной длине волны. Представлены технические характеристики функциональных подсистем и результаты летных испытаний лидара.

Лидар, ультраспектральное разрешение, комбинационное рассеяние, чувствительность, поиск загрязнений, экология

В последнее десятилетие как в промышленно развитых, так и развивающихся странах широкое распространение применительно к задачам дистанционного контроля и мониторинга экологически вредных и опасных продуктов загрязнения атмосферы и гидросферы получила лидарная техника. С одной стороны, это связано с тем, что сенсоры, основанные на лазерном зондировании, позволяют проводить детальный анализ исследуемых объектов и компонентов окружающей среды по их спектральным характеристикам в условиях существенно ниже предельного уровня пространственного разрешения наблюдательных систем, с другой – благодаря удешевлению комплектующих изделий и элементной базы, а также прогрессу в лазерной технике, средствах вычислительной техники и программном обеспечении. Решение задач экодиагности, исследований опасных газов техногенного происхождения, появляющихся в атмосфере при уничтожении отходов и мусора, обнаружения отравляющих и взрывоопасных веществ, поиска произрастания и угодий наркотических растений – это далеко не полный охват возможных применений лидаров в коммерческих целях.

Стратегическое значение приобретают проблемы получения объективной информации о фактическом состоянии природных ресурсов и возможных изменениях недроносных территорий. Минеральные ресурсы, прежде всего углеводородные, представляют собой крупнейший реальный, хотя и труднодоступный, резерв для наращивания запасов и развития топливно-энергетического комплекса России и мирового сообщества в целом. Основным геофизическим методом поиска залежей нефти и газа является сейсмическая разведка. Но достоверность прогноза этим методом остается недостаточно высокой и при самых благоприятных условиях составляет не более 30 %. Поэтому на современном этапе развития нефтепоисковых работ необходимо развитие более широкого комплекса методов, имеющих различную физическую основу. В этой связи разработка новых аппаратурных средств аэрогеофизической разведки и регистрации сверхмалых углеводородных концентраций при добыче полезных ископаемых представляется актуальной и полезной.

Ореолы пропана на земной поверхности, формируемые залежами углеводородов, характеризуются чрезвычайно низкими концентрациями. Для их уверенного выявления требуется аппаратура с чувствительностью на уровне 10…20 *ppb (частиц на миллиард)*. Лазерное зондирование может служить высокоэффективным методом геолого-разведочных работ на региональных поисковых этапах для прогноза нефтегазоносности, оценки зон нефте-газонакопления и выявления локальных структур под глубинное бурение.

Создание авиационного лидара с предельно высокой чувствительностью и избирательностью связано с выбором методов и технологий, обеспечивающих соответствующие уровни спектрального разрешения, помехозащищенности, фоновых засветок, а также режимов регистрации и обработки принимаемых сигналов. Исследование особенностей формирования ключевых лидарных характеристик и составляло основное содержание работы, результаты которой представлены настоящей статьей.

Лидарный метод спонтанного комбинационного рассеяния. По селективной способности современные лидары, как и спектрометры, делятся на многоспектральные ($\lambda/\Delta\lambda \geq 10$), гиперспектральные ($\lambda/\Delta\lambda \geq 100$) и ультраспектральные ($\lambda/\Delta\lambda \geq 1000$). До последнего времени разработки лидарных систем, обладающих экстремально высоким спектральным разрешением, практически отсутствовали.

Для измерений содержания газообразных примесей и конденсированных веществ в окружающей среде в основном используются метод дифференциального поглощения (ДП) и метод спонтанного комбинационного рассеяния (СКР), за рубежом называемый рамановским. Лидары, построенные на методе ДП, работают в ИК-диапазоне, в окнах прозрачности атмосферы, а метод комбинационного рассеяния (КР) наиболее чувствителен в УФ-области.

Комбинационное рассеяние излучения газами, жидкостями и твердыми телами является прямым источником информации о химическом составе различных сред (рис. 1) [1]. Этот метод нашел широкое применение не только при оперативном контроле состояния приземной атмосферы, экологической безопасности среды, но и для проведения широкого круга исследований в интересах физики и химии атмосферы, геофизики и геологии, других сфер антропогенной деятельности. При проведении спектрального анализа рассеянного на частицах излучения с волновым числом $\nu_0 = 1/\lambda_0$ (λ – длина волны) наблюдаются серии боковых частот, сдвинутые на величины, равные частотам колебательно-вращательных переходов облучаемых молекул $\nu_{кв}$.

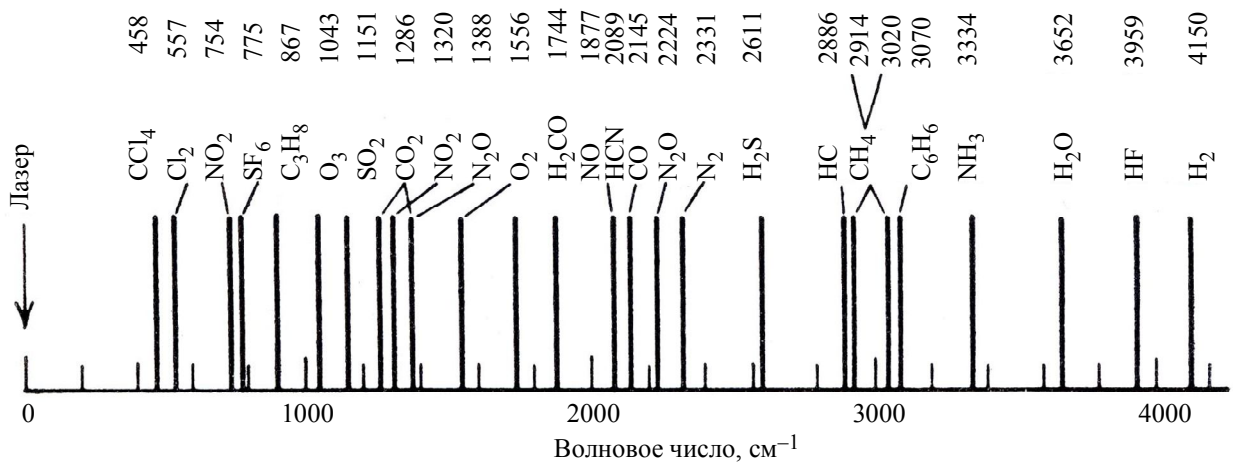


Рис. 1

В сравнении с ДП метод СКР обладает следующими достоинствами:

1) только рамановский метод позволяет при зондировании одним лазером одновременно регистрировать широкий набор и непосредственно измерять абсолютные значения концентраций химических веществ – газовых компонентов, жидкостей и аэрозолей – без изменения состава и режима аппаратуры. Метод ДП для идентификации каждого из веществ в сложных смесях требует набора лазеров или лазера с перестройкой в спектральном диапазоне 2,5…15 мкм, работающего одновременно на двух близкорасположенных длинах волн; кроме того, широкие полосы поглощения атмосферными парами воды и углекислым газом не позволяют обнаруживать компоненты, имеющие собственные полосы поглощения в этих же спектральных интервалах. Метод ДП пригоден для регистрации лишь тех веществ, линии поглощения которых совпадают с длиной волны зондирующего лазера. Отсутствие переналожения спектров СКР в широком диапазоне длин волн открывает возможности селекции исследуемых антропогенных выбросов на фоне системы «Земля–атмосфера» при наблюдении с борта летательных аппаратов;

2) чрезвычайно высокая чувствительность к спектральным отличительным признакам различных покрытий и материалов, поэтому метод КР особенно эффективен при обнаружении малоконтрастных объектов. Эффективность метода может быть усилена за счет дополнительной селекции целей по отрицательному контрасту «объект-фон»; возможность использования метода СКР как в ночных, так и дневных условиях из-за отсутствия солнечных помех при использовании ультрафиолетовой «солнечно-слепой» области спектра (короче 300 нм). На чувствительность оптико-электронных систем, применяемых в методе ДП, влияет не только рассеянное днем солнечное излучение, но и тепловой фон Земли, особенно в летних условиях;

3) только на основе метода СКР можно непосредственно измерять абсолютную концентрацию газовых составляющих атмосферы, так как в качестве репера служит концентрация азота;

4) высокая надежность СКР-лидара и менее жесткие условия эксплуатации; в частности, не требуются лазеры с точной настройкой и стабилизацией длины волны, охлаждаемые фотоприемные устройства; схема СКР-лидара легко перестраивается для регистрации флуоресценции обнаруживаемых веществ без изменения структурных элементов.

Исследование узловых подсистем рамановского лидара. Молекулярные колебания имеют ширину спектральной линии не более 1 см$^{-1}$. Поэтому спектры рамановского рассеяния различных молекул, особенно в коротковолновой области, могут располагаться близко относительно друг друга (рис. 1). Современные рамановские лидары могут быть построены весьма малогабаритными и легковесными. Это вполне обеспечивается применением компактных твердотельных лазеров с диодной накачкой и облегченной оптикой. Улучшение инструментальной точности и массогабаритных характеристик в оптико-электронных комплексах связано с уменьшением длины волны излучения. Применение УФ-средств подсветки и приема в лидарах позволяет качественно увеличить чувствительность и точность обнаружения химических веществ и физических объектов. Традиционные средства повышения чувствительности и селективности приемных систем, как правило, связаны с увеличением светосилы входной оптики и с уменьшением спектральной ширины сигналов. В лидарных комплексах подобный путь часто сопровождается необходимостью увеличения мощности зондирующего излучения, что не гарантирует безопасности воздействия на органы зрения людей, попавших в область его распространения. Поэтому реализация перечисленных требований к точности измерений предполагает разработку методов и устройств, способствующих значительному снижению уровня фоновых засветок, увеличению помехозащищенности и соотношения «сигнал/шум».

Зондирующее излучение лидаров может представлять угрозу для здоровья людей из-за возможного поражения органов зрения и ожога кожи. Лазеры с длиной волны порядка 1.0 мкм оказываются наиболее опасными (наивысший, IV класс опасности по международной классификации), а в диапазонах спектра около 0.26 и 1.5 мкм самыми безопасными (низший, I класс), так как стекловидное тело глаза в значительной степени прозрачно для $\lambda \approx 1.0$ мкм и почти полностью непрозрачно для $\lambda \approx 0.26$ мкм и $\lambda \approx 1.5$ мкм.

Однако не следует считать, что лидары с рабочей $\lambda \approx 1.5$ мкм предпочтительны из-за их безопасности. Поскольку вода интенсивно поглощает излучение с такой длиной волны, лидары оказываются чрезвычайно чувствительными к содержанию водяного пара в атмосфере и могут «слепнуть» уже при незначительном снижении метеорологической дальности видимости. По этой же причине лазерные импульсы с $\lambda \approx 1.5$ мкм не отражаются от водных и увлажненных поверхностей, а также от объектов, покрытых слоем влаги (например, росой). С этих позиций зондирование УФ лазерными импульсами оказывается более предпочтительными.

СКР-лидар с ультраспектральной селекцией. Разработанный СКР-лидар, предназначенный для непрерывного аэропоиска, идентификации и измерения мощности и поля концентрации утечек газов на трансконтинентальных нефте- и газопроводах может служить экспериментальной моделью для изучения ключевых технологий на пути создания авиационного лидара нового поколения, обладающего чувствительностью измерения газовых концентраций на уровне десятков частиц на миллиард. В нем ультраспектральное разрешение достигнуто за счет лазерного зондирования и регистрации приемных сигналов в «солнечно-слепой» области длин волн, где фоновые помехи на фотоприемное устройство лидара практически сведены к нулю. По реализованному спектральному разрешению ($\lambda/\Delta\lambda >> 1000$) данный авиационный лидар превосходит известные аналоги почти на два порядка. Его отличают повышенные чувствитель-

ность и информативность в сочетании с широким диапазоном диагностируемых антропогенных выбросов. В разработке лидара использованы новейшие достижения и технологии в области твердотельных лазеров с диодной накачкой [2]–[4], высокопрецизионной ультрафиолетовой оптики, фотоприемных устройств [5], а также в области фоноцелевых моделей [6], автоматизированных средств регистрации и обработки сигналов в гигагерцовом диапазоне частот [www.ni.com/Russia]. Существующие в мире аналоги рассчитаны на обнаружение лишь ограниченного набора веществ и не обеспечивают измерений распределения поля концентраций аномальных примесей в окружающей среде с уровнем ниже 10^{13} см$^{-3}$. Решения, заложенные в данном приборе, позволили реализовать чувствительность измерения концентрации на уровне существенно ниже ПДК практически для любой вредной примеси в атмосфере.

Технические характеристики СКР-лидара следующие:

высота полета	– 100…1000 м;
спектральное разрешение ($\lambda/\Delta\lambda$)	– 10000;
пространственное разрешение	– 0.3…3 м;
напряжение питания	– 27 В;
мощность электропитания	– 0.7 кВт;
размер	– 1200×660×1120 мм;
масса	– 65 кг.

Бортовой лидар построен по модульному принципу и содержит следующие основные компоненты:

– твердотельный лазер с диодной накачкой и преобразователем гармоник;

– телеобъектив;

– полихроматор с отрезающим фильтром;

– детектор;

– дальномер и блок контроля зондирующего пучка;

– ПК со специализированным программным обеспечением.

Моностатическая оптическая система экспериментального образца построена по схеме Кассегрена. Лазерный пучок совмещается системой поворотных зеркал с осью приемного телеобъектива и направляется в обследуемую область атмосферы. Рассеянное назад рамановское излучение попадает в фотоприемное устройство, состоящее из телеобъектива, полихроматора и детекторов. Входной телеобъектив построен на основе зеркальной оптики, что позволило иметь входной зрачок крупного размера – 350 мм. Зондирование осуществляется на длине волны $\lambda = 261.7$ нм малогабаритным твердотельным лазером с диодной накачкой и частотным преобразованием гармоник.

Поворотные зеркала, выводящие излучение в атмосферу, выполнены с диэлектрическими покрытиями, селективно отражающими лишь на $\lambda = 261.7$ нм. Зеркала Кассегрен-телеобъектива выполнены облегченными из ситалла СО 115М с УФ диэлектрическими покрытиями. Относительное отверстие объектива – 1:3, световой диаметр – 350 мм, мгновенное поле зрения 1.5 мрад.

Спектрометрический канал в данном лидаре представляет собой двойной полихроматор со сложением дисперсий и тремя детекторами для регистрации в атмосфере азота, метана и сероводорода.

Двойной полихроматор работает в диапазоне спектра 0.264…0.294 мкм и содержит фильтр, отрезающий излучение с длиной волны меньше 0.266 мкм, две широкоапертурные стигматические голограммные решетки 2-го типа и три щели: входную, промежуточную и выходную. Отрезающий фильтр (фирмы «Barr Associate Inc.», USA) служит для защиты приемного канала от рассеянного лазерного излучения. Каждая решетка выполнена с пространственной частотой $N = 3600$ мм$^{-1}$, радиус $R = 500$ мм и имеет разрешающую силу на уровне 450 000 для длин волн около 280 мкм и спектральный коэффициент отражения 60 %.

Использование в приемном канале голограммных оптических элементов (рис. 2) позволило не только снизить шумовые характеристики в сравнении с нарезными решетками, обладающими заметным светорассеянием, но и работать с широкой апертурой, поскольку в отличие от нарезных они свободны от сферической аберрации и астигматизма [7].

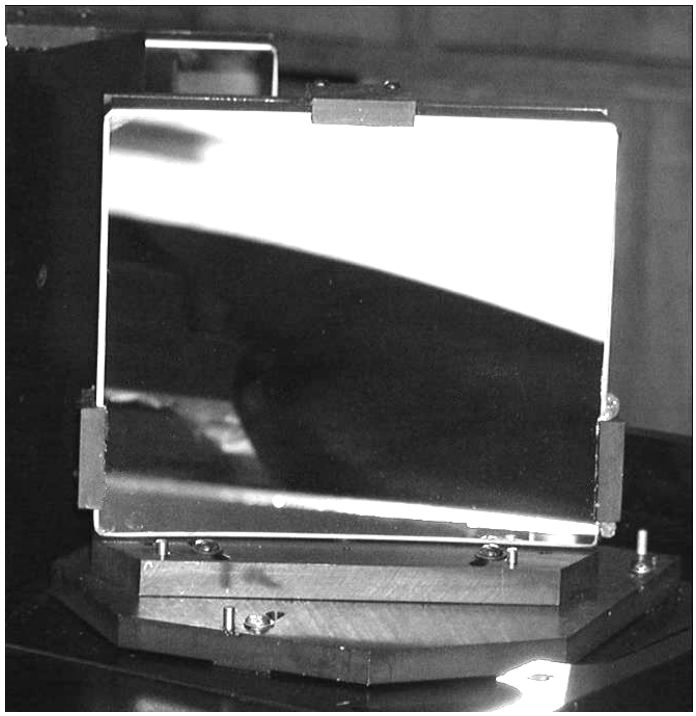


Рис. 2

Приемный канал в лидаре работает с пороговым уровнем сигналов на входном зрачке объектива в несколько десятков фотонов. Режим счета фотонов осуществлялся в режиме стробирования сигнала и синхронного накопления зарядов у детекторов. В таком режиме критерием их качества становилось статистическое соотношение «сигнал/шум», однозначно определяющее вероятность обнаружения сигнала СКР и точность измерения его величины.

Сигнал обратного рассеяния, принятый фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) и прошедший через импульсный усилитель, стробируется по дальности около момента времени $2L/c$ с шириной строба $t_{стр}$. Импульс строба задается генератором, запускаемым от стартового (лазерного) импульса, и сдвигается цепью задержки до совмещения его с моментом прихода рассеянного сигнала $2L/c$. Таким образом, стробирование позволяло регистрировать только те фотоны, которые прошли внутри строба, и эффективно подавлять шумы вне временного отрезка $t_{стр} = 0.6…3.0$ мкс при $L = 100…500$ м соответственно.

Минимизация времени получения искомой информации, как правило, требует представлять результат в цифровом виде. В лидаре фотоприемники в приемном канале работают в субгигагерцовом диапазоне частот. Во время работы использовались системы сбора регистрируемых данных на основе высокоскоростной шины передачи данных *PXI* и платформы *Compact DAQ* от компании «National Instruments», позволяющие проводить *plug-and-play* подключения для проведения измерений непосредственно в полевых условиях.

В режиме накопления аппаратура вполне обеспечивает измерения концентраций веществ на уровне, близком к фоновым значениям. Достигнутый практически нулевой уровень фоновых помех в дальнейшем позволит осуществлять сбор информации на сильно наклонных приземных трассах при широкоформатном сканировании и зондировании.

При эксплуатации бортового лидара большое значение имеет синхронизация работы всех его компонентов. Привязка координат местности к результатам аэропоиска утечек газа производилась посредством спутниковой навигационной системы (GPS), синхронизированной по мировому времени с блоками регистрации, обработки и записи информации. Синхронизация всех компонентов лидара реализуется на основе импульса, подаваемого от специальной платы GPS приемника на внутренние подсистемы лидара. При этом любой фиксируемый сигнал СКР снабжается временной меткой, а непрерывная запись и архивирование получаемой информации осуществляется на встроенном жестком диске.

Проведенные исследования ключевых характеристик авиационного лидара позволяют сформулировать следующие выводы.

Дистанционное зондирование и детектирование приемных сигналов в «солнечно-слепой» области ($\lambda < 300$ нм) позволяют качественно увеличить чувствительность и точность обнаружения химических веществ и соединений, практически для любой примеси в атмосфере определять концентрации на уровне существенно ниже предельно допустимых. При этом достигается и сверхвысокое, ультраспектральное разрешение, особо необходимое для выявления малых газовых концентраций, близких к фоновым значениям.

Использование малогабаритного твердотельного лазера в качестве источника зондирования в УФ-диапазоне спектра отвечает международным требованиям по экологической и радиационной безопасности и обеспечивает длительный ресурс непрерывной работы при лидарных исследованиях.

Режим счета фотонов в гигагерцовом диапазоне частот обеспечивает высокую чувствительность и оперативность регистрации сверхмалых газовых концентраций в реальном времени.

Продемонстрирован вертолетный лидар со спектральным разрешением $\lambda/\Delta\lambda \geq 1000$. Использование в нем малогабаритного твердотельного лазера в качестве источника зондирования в УФ-диапазоне спектра отвечает международным требованиям по экологической и радиационной безопасности и обеспечивает длительный ресурс непрерывной работы при лидарных исследованиях. Двойной полихроматор выполнен на основе крупноразмерных стигматических голограммных решеток. Лидар испытан в натурных летных условиях на трансконтинентальном газопроводе. Проведен аэропоиск и измерены концентрации утечек газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сущинский М. М. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. М.: Наука, 1969.

2. Пат. РФ № 21005339 / В. П. Семенков, А. А. Мак, Г. Е. Новиков и др. Твердотельный лазер с накачкой лазерными диодами; опубл. 20.02.1998. Бюл. № 8.

3. Pat. USA № 5877898 / G. Holleman, H. Voelckel, M. M. Khaleev et al. Arrangement for Combining and Shaping the Radiation of a Plurality of Laser Diode Lines. 1999.

4. Пат. РФ № 2200361 / А. А. Мак, Б. Г. Малинин, В. М. Митькин и др. Модуль твердотельного пластинчатого лазера с диодной накачкой; опубл. 10.03.2003. Бюл. № 5.

5. Ишанин Г. Г., Панков Э. Д., Челибанов В. П. Приемники излучения. СПб.: Папирус, 2003.

6. The program complex for computation of spectroscopic characteristics of atomic and molecular gases in UV, visible and IR spectral ranges for a wide range of temperatures and pressures / A. S. Abakumov, E. A. Gavrilin, N. N. Naumova et al. // J. of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2004. Vol. 84. P. 215–222.

7. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов. Л.: Машиностроение, 1973.

S. V. Kascheev, A. A. Buznikov, A. P. Zhevlakov

ULTRASPECTRAL RESOLUTION IN AIRBORNE RAMAN-LIDAR

Scanning Raman lidar employed for automatic remote airborne prospecting, detection and identification the impurity gas and condensed components in ground layers of an atmosphere and coastal water areas is developed. The small-sized prototype of onboard scanning Raman lidar as the gas analyzer have been manufactured and tested in real conditions of transcontinental gas pipeline. Minimal concentrations of methane outflow of 6 ppm and of hydrogen suiphide one of 4 ppm are remotely measured in natural flight conditions.

Lidar, ultraspectral resolutions, sensitivity, searchofpollution, ecology

УДК 691.3

Хо Нгок Зуй, Н. А. Молдовян

УПРАВЛЯЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ F4/1 КАК ПРИМИТИВ СКОРОСТНЫХ БЛОЧНЫХ ШИФРОВ

Описан подход к реализации скоростных блочных шифров на основе управляемых подстановочно-перестановочных сетей, построенных с использованием управляемых элементов (УЭ) F4/1, осуществляющих управляемые подстановки размера 4 × 4 в зависимости от одноразрядного управляющего вектора. Сформулированы критерии выбора УЭ F4/1 и исследованы их основные криптографические свойства.

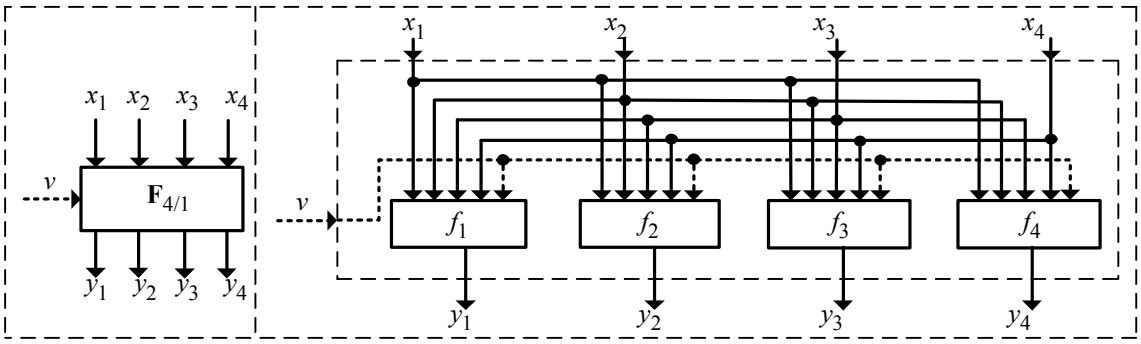
Подстановочно-перестановочные сети, скоростные блочные шифры, скоростное шифрование, аппаратная реализация

Для защиты информации в скоростных информационно-телекоммуникационных системах достаточно широко используется аппаратное шифрование, причем предпочтение отдается блочным шифрам. Ранее была показана эффективность использования управляемых подстановочно-перестановочных сетей (УППС) для синтеза скоростных блочных шифров, ориентированных на аппаратную реализацию [1]–[3]. В настоящее время в массовом масштабе выпускаются приборы FPGA нового поколения (Virtex 5, Virtex 6 и Virtex 7[*]), которые позволяют существенно повысить производительность устройств преобразования информации. В приборах FPGA нового поколения типовые логические блоки содержат 2 SLICE-узла, каждый из которых включает в себя 4 логические ячейки в виде 64-битовых элементов (ячеек) памяти. Одна ячейка памяти позволяет реализовать произвольную булеву функцию (БФ) от шести переменных. Это создает предпосылки для построения УППС на основе УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, обладающих четырехбитовыми входом и выходом и однобитовым управляющим входом. Схемное представление УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ показано на рис. 1, *а*.

Переход к использованию УЭ типа $\mathbf{F}_{4/1}$ обеспечивает улучшение шифрующих свойств УППС при заданном числе активных слоев, что выражается в повышении значения нелинейности, алгебраической степени и усилении лавинного эффекта при изменении одиночных бит на входе УППС. В частности, в отличие от УЭ с двухбитовым входом данных [1]–[3] УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ осуществляют нелинейное преобразование при фиксированном значении управляющего би-

[*] http://www.xilinx.com/products/.

та. Следовательно, применение УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ обеспечивает нелинейность шифрующего преобразования, выполняемого с помощью УППС при фиксировании управляющего подблока данных. Однако для реализации указанных преимуществ при переходе от УЭ с двухбитовым входом к элементам $\mathbf{F}_{4/1}$ требуется разработать критерии выбора УЭ типа $\mathbf{F}_{4/1}$, обеспечивающих построение УППС с ожидаемыми свойствами. Решение этой задачи позволит сократить число раундов преобразования и снизить сложность аппаратной реализации блочных шифров при сохранении заданной криптостойкости.



а *б*

Рис. 1

В соответствии с [1], [3] в общем случае УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ удобно представлять в следующих двух видах:

1) в виде четырех булевых функций от пяти переменных (рис. 1, *б*);

2) в виде двух подстановок размером 4×4, каждая из которых выполняется над входным 4-битовым двоичным вектором (x_1, x_2, x_3, x_4) при значении управляющего бита $v = 0$ и $v = 1$ соответственно.

Первый вариант представления обычно используется при аппаратной реализации УППС и при исследовании линейных свойств УЭ и УППС, а второй вариант – для выбора УЭ по заданным критериям [1], [3]. Для синтеза эффективных многослойных УППС требуется сформулировать некоторые критерии выбора конкретных вариантов УЭ вида $\mathbf{F}_{4/1}$. На основании вышеизложенного и результатов, полученных в работах [1], [3], сформулируем следующие базовые критерии отбора и проектирования УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$:

1. Любой из четырех выходов блока $\mathbf{F}_{4/1}$ должен представлять собой нелинейную БФ от пяти переменных: $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$, $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$, $y_3 = f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$ и $y_4 = f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$, имеющих значения нелинейности NL(y_i), где $i = 1$–4, близкие к максимально возможной нелинейности для сбалансированных БФ от пяти переменных.

2. Каждая из двух элементарных модификаций блока $\mathbf{F}_{4/1}$, а именно $\mathbf{F}^{(0)}$, $\mathbf{F}^{(1)}$, должна осуществлять биективное преобразование $(x_1, x_2, x_3, x_4) \to (y_1, y_2, y_3, y_4)$.

3. Каждая из двух модификаций УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ должна быть инволюцией.

4. Все линейные комбинации компонентных БФ: $f_5 = y_1 \oplus y_2$, $f_6 = y_1 \oplus y_3$, $f_7 = y_1 \oplus y_4$, $f_8 = y_2 \oplus y_3$, $f_9 = y_2 \oplus y_4$, $f_{10} = y_3 \oplus y_4$, $f_{11} = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3$, $f_{12} =$

$= y_1 \oplus y_2 \oplus y_4$, $f_{13} = y_1 \oplus y_3 \oplus y_4$, $f_{14} = y_2 \oplus y_3 \oplus y_4$ и $f_{15} = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3 \oplus y_4$ должны иметь значения нелинейности, близкие к NL(y_i).

Для оценки возможности полного перебора всех вариантов УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ рассмотрим 2 подхода к этой задаче, ранее использованные в работах [1]–[3]:

1. Перебор всех возможных четырех булевых функций $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$, $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$, $y_3 = f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$ и $y_4 = f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, v)$.

2. Перебор всех возможных наборов подстановок размера 4×4 (визуальное проектирование), которые далее обозначаются как модификации $\mathbf{F}^{(0)}$, $\mathbf{F}^{(1)}$ преобразования, реализуемого элементом $\mathbf{F}_{4/1}$.

При первом подходе объем вычислений, требуемых для полного перебора возможных вариантов УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, удовлетворяющих заданным критериям, достаточно велик. Действительно, существует 2^{32} различных БФ от пяти переменных, следовательно, в общем случае необходимо перебрать $2^{32}(2^{32} - 1)(2^{32} - 2)(2^{32} - 3) \approx 3{,}403 \cdot 10^{38}$ различных БФ. Для ограничения количества вариантов перебора можно воспользоваться требованием сбалансированности БФ, которое является следствием второго критерия выбора. Количество сбалансированных БФ от n переменных равно числу сочетаний $C_{2^{n-1}}^{2^n}$. При $n = 5$ их число примерно равно $6 \cdot 10^8$. Следовательно, перебор различных пар сбалансированных БФ требует рассмотрения примерно $6 \cdot 10^8(6 \cdot 10^8 - 1)(6 \cdot 10^8 - 2)(6 \cdot 10^8 - 3) \approx 1{,}296 \cdot 10^{35}$ вариантов, что также достаточно велико и не позволяет выполнить полный перебор.

Минимальное число вариантов перебора достигается при втором подходе, так как в этом случае проектирование эффективных УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ сводится к формальному выбору модификаций $\mathbf{F}^{(0)}$, $\mathbf{F}^{(1)}$, каждая из которых является подстановкой размера 4×4. Количество подстановок размера $n \times n$ определяется формулой $2^n!$, что при $n = 4$ дает $2^4! = 16! = 2{,}092 \cdot 10^{13}$. Причем существует $4{,}621 \cdot 10^7$ вариантов таких подстановок, удовлетворяющих третьему критерию. Следовательно, визуальное проектирование сводится к выбору пар подобных модификаций и требует анализа $2{,}1 \cdot 10^{15}$ вариантов. Несмотря на то что и в последнем случае число вариантов перебора остается чрезвычайно большим, вероятность того, что текущий вариант УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ будет удовлетворять критериям отбора, существенно выше. Благодаря этому второй подход представляется предпочтительным, хотя и в его рамках полный перебор связан с использованием больших вычислительных ресурсов. Однако для синтеза блочных шифров достаточно получить некоторый ограниченный представительный набор УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, удовлетворяющих сформулированным критериям.

Указанный набор УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ можно получить в виде некоторой репрезентативной статистической выборки УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, генерируя варианты элементов $\mathbf{F}_{4/1}$ путем равновероятной случайной выборки инволюций $\mathbf{F}^{(0)}$ и $\mathbf{F}^{(1)}$. Полученное представительное множество подстановок-инволюций, описываемых в виде четверки БФ от четырех переменных, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Номер набора	Набор функций			
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
1	$x_1 \oplus x_1x_2 \oplus x_2x_3$	$x_1x_2 \oplus x_1x_3 \oplus x_3$	$x_1x_3 \oplus x_2 \oplus x_2x_3$	$x_1x_3 \oplus x_4 \oplus 1$
2	$x_1 \oplus x_1x_3 \oplus x_3x_4$	$x_1 \oplus x_2 \oplus x_3x_4$	$x_1x_3 \oplus x_1x_4 \oplus x_4$	$x_1x_4 \oplus x_3 \oplus x_3x_4$
3	$x_1 \oplus x_2 \oplus x_2x_3$	$x_1x_3 \oplus x_1x_3x_4 \oplus x_2$	$x_1x_4 \oplus x_1x_2x_4 \oplus x_3$	$x_1x_2x_3 \oplus x_2 \oplus x_4$
4	$x_1 \oplus x_2 \oplus x_2x_3$	$x_1x_3 \oplus x_2 \oplus x_3x_4$	$x_1x_4 \oplus x_1x_2x_4 \oplus x_3$	$x_2 \oplus x_2x_3 \oplus x_4$
5	$x_1 \oplus x_1x_2 \oplus x_2x_3 \oplus x_1$	$x_1 \oplus x_3 \oplus x_2 \oplus {}_1$	$x_1x_2 \oplus x_2x_3 \oplus x_3 \oplus x_1$	$x_1x_3 \oplus x_2 \oplus x_4$
6	$x_1 \oplus x_2x_3 \oplus x_3$	$x_1x_4 \oplus x_1x_3x_4 \oplus x_2$	$x_2 \oplus x_2x_4 \oplus x_3$	$x_2x_3 \oplus x_3 \oplus x_4$
7	$x_1 \oplus x_1x_2 \oplus x_2x_3 \oplus x_2$	$x_1 \oplus x_1x_3 \oplus x_2$	$x_1 \oplus x_2x_3 \oplus x_3 \oplus x_1$	$x_1 \oplus x_4 \oplus x_1x_2x_3$

С целью определения параметров УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, заданных парой подстановок $\mathbf{F}^{(0)}$ и $\mathbf{F}^{(1)}$, получим алгебраическую нормальную форму БФ f_1, f_2, f_3 и f_4, описывающих элемент $\mathbf{F}_{4/1}$. Пусть $\varphi_1^1(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_2^1(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_3^1(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_4^1(x_1,x_2,x_3,x_4)$ – четверка булевых функций, реализующая подстановку $\mathbf{F}^{(0)}$ при значении $v=0$, а $\varphi_1^2(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_2^2(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_3^2(x_1,x_2,x_3,x_4)$, $\varphi_4^2(x_1,x_2,x_3,x_4)$ – четверка булевых функций, реализующая подстановку $\mathbf{F}^{(1)}$ при значении $v=1$. Тогда конкретный вид четырех БФ, реализующих УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, можно получить следующим образом:

$$y_1 = (v+1)\varphi_1^1(x_1,x_2,x_3,x_4) \oplus v\varphi_1^2(x_1,x_2,x_3,x_4),$$

$$y_2 = (v+1)\varphi_2^1(x_1,x_2,x_3,x_4) \oplus v\varphi_2^2(x_1,x_2,x_3,x_4),$$

$$y_3 = (v+1)\varphi_3^1(x_1,x_2,x_3,x_4) \oplus v\varphi_3^2(x_1,x_2,x_3,x_4),$$

$$y_4 = (v+1)\varphi_4^1(x_1,x_2,x_3,x_4) \oplus v\varphi_4^2(x_1,x_2,x_3,x_4).$$

Найденные варианты УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$, которые удовлетворяют заданным критериям 1–4, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер набора	Значение нелинейности БФ NL(f_1)-NL(f_2)-NL(f_3)-NL(f_4)-NL(f_5)-NL(f_6)-NL(f_7)-NL(f_8)-NL(f_9)-NL(f_{10})-NL(f_{11})-NL(f_{12})-NL(f_{13})-NL(f_{14})-NL(f_{15})	Набор модификаций
1	8-8-8-8-8-8-8-8-8-8-8-8-8-8-8	$\mathbf{F}^0 = 1$, $\mathbf{F}^1 = 2$
2	8-12-8-12-8-8-8-12-10-10-10-10-8-8-8	$\mathbf{F}^0 = 4$, $\mathbf{F}^1 = 6$
3	8-10-10-10-8-10-8-10-10-10-10-8-8-8-8	$\mathbf{F}^0 = 5$, $\mathbf{F}^1 = 6$
4	8-8-10-10-8-8-10-10-10-8-10-10-8-8-10	$\mathbf{F}^0 = 3$, $\mathbf{F}^1 = 7$

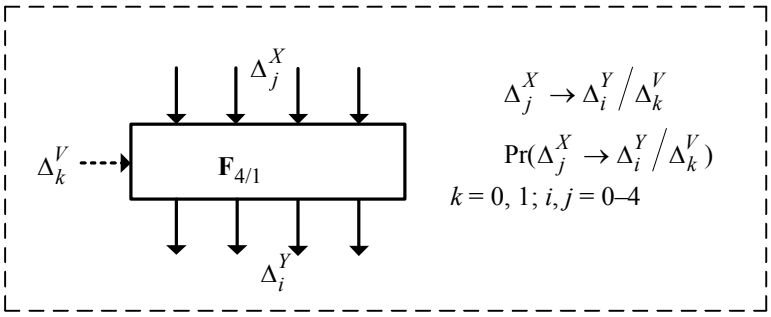


Рис. 2

Наряду с нелинейностью другим показателем качества криптографического примитива являются его дифференциальные (ДХ) и линейные характеристики (ЛХ). При этом ДХ и ЛХ элемента $\mathbf{F}_{4/1}$ определяют для заданной топологии УППС ее дифференциальные и линейные свойства.

Дифференциальная характеристика УЭ может быть представлена как четверка параметров $(\Delta_j^X \to \Delta_i^Y / \Delta_k^V)$ или в виде равенства $\Pr(\Delta_j^X \to \Delta_i^Y / \Delta_k^V) = p'$, где p' – значение вероятности ДХ. На рис. 2 представлены варианты всех возможных разностей, относящихся к УЭ вида $\mathbf{F}_{4/1}$. В табл. 3 приведены результаты исследования ДХ для набора модификаций № 3 из табл. 2.

Таблица 3

k	*j*	*i*	Pr	*k*	*j*	*i*	Pr	*k*	*i*	*j*	Pr	*k*	*j*	*i*	Pr
0	0	0	0.00	0	2	3	0.250	1	0	0	0.042	1	2	3	0.281
0	0	1	0.00	0	2	4	0.073	1	0	1	0.375	1	2	4	0.031
0	0	2	0.00	0	3	0	0.000	1	0	2	0.271	1	3	0	0.047
0	0	3	0.00	0	3	1	0.188	1	0	3	0.208	1	3	1	0.234
0	0	4	0.00	0	3	2	0.375	1	0	4	0.104	1	3	2	0.422
0	1	0	0.000	0	3	3	0.375	1	1	0	0.109	1	3	3	0.203
0	1	1	0.563	0	3	4	0.063	1	1	1	0.141	1	3	4	0.094
0	1	2	0.188	0	4	0	0.000	1	1	2	0.484	1	4	0	0.125
0	1	3	0.188	0	4	1	0.250	1	1	3	0.234	1	4	1	0.125
0	1	4	0.063	0	4	2	0.438	1	1	4	0.031	1	4	2	0.188
0	2	0	0.000	0	4	3	0.250	1	2	0	0.031	1	4	3	0.375
0	2	1	0.125	0	4	4	0.063	1	2	1	0.323	1	4	4	0.188
0	2	2	0.552					1	2	2	0.333				

Таблица 4

a	*b*	*c*	*P*(*a b*, *c*)	*a*	*b*	*c*	*P*(*a*, *b*, *c*)	*a*	*b*	*c*	*P*(*a*, *b*, *c*)	*a*	*b*	*c*	*P*(*a*, *b*, *c*)
0	0	0	0.5000	1	13	1	0.0625	2	14	0	0.1875	3	14	0	0.1875
0	0	1	0.5000	1	15	0	0.0625	2	14	1	0.1875	3	15	0	0.1250
1	1	0	0.1875	1	15	1	0.0625	2	15	0	0.0625	3	15	1	0.1250
1	1	1	0.1875	2	1	0	0.1250	2	15	1	0.0625	4	1	0	0.1250
1	2	0	0.1250	2	1	1	0.1250	3	1	0	0.0625	4	1	1	0.1250
1	2	1	0.1250	2	2	0	0.1250	3	1	1	0.0625	4	2	0	0.0625
1	3	0	0.0625	2	2	1	0.1250	3	2	0	0.1250	4	2	1	0.0625
1	3	1	0.0625	2	3	0	0.1250	3	2	1	0.1250	4	3	0	0.0625
1	4	0	0.1250	2	3	1	0.1250	3	3	0	0.0625	4	3	1	0.0625
1	4	1	0.1250	2	4	0	0.0625	3	3	1	0.0625	4	4	0	0.1875
1	5	0	0.0625	2	4	1	0.0625	3	4	0	0.0625	4	4	1	0.1875
1	5	1	0.0625	2	5	0	0.0625	3	4	1	0.0625	4	5	0	0.1875
1	6	0	0.1250	2	5	1	0.0625	3	5	0	0.1250	4	5	1	0.1875
1	6	1	0.1250	2	6	0	0.1875	3	5	1	0.1250	4	8	0	0.1250
1	7	0	0.0625	2	6	1	0.1875	3	6	0	0.1875	4	8	1	0.1250
1	7	1	0.0625	2	7	0	0.0625	3	6	1	0.1875	4	10	0	0.0625
1	9	0	0.0625	2	7	1	0.0625	3	9	0	0.0625	4	10	1	0.0625
1	9	1	0.0625	2	10	0	0.1250	3	9	1	0.0625	4	11	0	0.0625
1	11	0	0.0625	2	10	1	0.1250	3	11	0	0.0625	4	11	1	0.0625
1	11	1	0.0625	2	12	0	0.0625	3	11	1	0.0625	4	12	0	0.0625
1	12	0	0.1250	2	12	1	0.0625	3	12	0	0.0625	4	12	1	0.0625
1	12	1	0.1250	2	13	0	0.0625	3	12	1	0.0625	4	13	0	0.0625
1	13	0	0.0625	2	13	1	0.0625	3	13	0	0.1250	4	13	1	0.0625

Для вычисления смещения ЛХ элементов $\mathbf{F}_{4/1}$ использовалась следующая формула:

$$P(a,b,c) = \left|\Pr(X \bullet a \oplus \mathrm{F}_{4/1}(X) \bullet b \oplus V \bullet c = 0) - 1/2\right|,$$

где a и b – четырехбитовые значения ($0 \le a, b \le 15$) и c – однобитовое значение ($0 \le c \le 1$). Для УЭ № 3 из табл. 2 вычисленные значения смещения ЛХ представлены в табл. 4 (показаны ЛХ, включающие все варианты наборов (a, b, c) при $a \le 4$.

Результаты выполненного исследования: 1) обоснование УЭ типа $\mathbf{F}_{4/1}$ в качестве примитивов скоростных блочных шифров, ориентированных на реализацию в приборах FPGA нового поколения; 2) формулировка критериев отбора УЭ типа $\mathbf{F}_{4/1}$; 3) разработка подхода к выбору элементов $\mathbf{F}_{4/1}$; 4) исследование свойств УЭ, удовлетворяющих сформулированным критериям отбора. Показано, что УЭ $\mathbf{F}_{4/1}$ имеют лучшие криптографические свойства по сравнению с элементами меньшего размера, использованными ранее в качестве криптографических примитивов. Полученные результаты являются развитием направления в синтезе скоростных блочных шифров, изложенного в [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молдовян Н. А., Молдовян А. А., Еремеев М. А. Криптография: от примитивов к синтезу алгоритмов. СПб.: Петербург-БХВ, 2004.

2. Полная классификация и свойства нелинейных управляемых элементов минимального размера и синтез криптографических примитивов / А. А. Молдовян, М. А. Еремеев, Н. А. Молдовян, Е. В. Морозова // Вопросы защиты информации. 2003. № 3. С. 15–27.

3. Moldovyan N. A., Moldovyan A. A. Data-driven Ciphers for Fast Telecommunication Systems. – Auerbach Publications. New York, London: Talor & Francis Group, 2008.

Ho Ngoc Duy, N. A. Moldovyan

CONTROLLED ELEMENTS $F_{4/1}$ AS PRIMITIVE OF FAST BLOCK CIPHERS

To improve the implementation efficiency of the fast block ciphers in programmable logic such as the new generation of the FPGA devices, an approach to implement high-speed block ciphers based on the controlled substitution-permutation networks (CSPNs) has been proposed. The proposed approach is characterized in using the controlled elements $F_{4/1}$ for constructing the CSPNs. Criteria for selecting elements $F_{4/1}$ are formulated. The basic cryptographic properties of the selected elements has been investigated.

Substitution-permutation networks, fast block ciphers, fast encryption, hardware implementation

УДК 37.014.1

Н. Е. Новакова

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Рассмотрены проблемы описания предметных областей САПР. Представлены методы концептуального описания ИТ-инфраструктуры.

САПР, онтология, процесс проектирования, представление знаний, ИТ-инфраструктура

Систематизация инженерных знаний автоматизированного проектирования предполагает описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними. Существуют различные подходы, модели и языки, ориентированные на интегрированное описание данных и знаний. Однако все большую популярность в последнее время приобретают онтологии. Среди многочисленных интерпретаций термина «онтология», представленных в [1], остановимся на определении онтологии как концептуальной модели

предметной области. Таким образом, онтология – это точная спецификация некоторой области, которая включает в себя словарь терминов предметной области и множество связей. Создание предметной онтологии является непростой задачей [2].

Под формальной моделью онтологий O будем понимать упорядоченную тройку вида: $O = \langle C, R, F \rangle$, где C – конечное непустое множество концептов предметной области, которую представляет онтология O; R – конечное множество отношений между концептами заданной предметной области; F – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии. Большая часть онтологий содержит лишь первые две компоненты. Это так называемые легкие онтологии. Наибольший интерес представляют онтологии, включающие в себя набор аксиом, т. е. законов и правил, которые описывают принципы существования концептов.

В настоящее время активно развиваются технологии разработки онтологий – онтологический инжиниринг [3]. Основным преимуществом онтологического инжиниринга в управлении знаниями является целостный подход к автоматизации предприятия. При этом достигаются:

– системность – онтология представляет целостный взгляд на предметную область;

– единообразие – материал, представленный в единой форме, гораздо лучше воспринимается и воспроизводится;

– научность – построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи во всей их полноте.

В [4] рассмотрена модель представления знаний в области автоматизированного проектирования. Выполнена систематизация основных процедурных компонентов САПР. Знания любой предметной области имеют две составляющие: декларативную и процедурную. Основной задачей приведенных в [4] теоретического обобщения и характеристики процесса проектирования с системных позиций базовых компонентов декларативных и процедурных знаний является выявление свойств и способов структуризации, обоснование, разработка и исследование обобщенной модели процесса автоматизированного проектирования, предназначенной для объективного представления исходного описания новых системных решений. Выполнена систематизация инженерных знаний в САПР, в частности, системы «Процесс», формирование на ее основе единого комплекса понятий, определений и положений, которые основываются на феноменологической и информационной сущности и закономерностях происходящих в САПР явлений и событий, а не на отдельных фактах, относящихся к этим системам. Предложенная теория процессов автоматизированного проектирования включает в себя следующие основные положения:

– понятия, определения и аксиомы автоматизированного проектирования;

– систему преобразований проектной информации;

– процесс автоматизированного проектирования как элемент системы преобразований;

– САПР как элемент системы преобразований;

– назначение, структуру, оценки и систематизацию компонентов САПР.

Инженерные знания, закладываемые в основу автоматизированного проектирования, определены как система абстрактных понятий, порождающая семиотические структуры, которые позволяют однозначно описывать, распознавать и дифференцировать объекты предметной области и их свойства. В [4] обоснован способ организации фрагментов прикладных знаний в виде небольших, объединяемых и декомпозируемых единиц, которые способны взаимодействовать друг с другом, моделируя таким образом процесс рассужде-

ний. Важнейшие компоненты *декларативных знаний* определены в виде понятий предметной области, отношений, свойств объектов, проектных описаний и ситуаций, которые образуют систему, обеспечивающую выявление расстояния в метрическом пространстве свойств между различными экземплярами проектируемых объектов. Базовым компонентам *процедурных знаний* предписано функциональное отображение процесса автоматизированного проектирования в виде двухместного предиката, значения аргументов которого образует пространство метризуемых проектных ситуаций. Маршрут проектирования представляет собой транзитивное замыкание типовых проектных процедур на множестве проектных ситуаций в виде конечной последовательности базовых единиц процесса. Выполнение процедурных компонентов частично упорядочивается в соответствии с тактикой проектирования, определяемой имеющимися в системе программно-техническими средствами, логикой проектных работ и накопленным неформализованным опытом проектирования.

Правило 1. Два проектных описания объекта различаются в заданной метрике пространства свойств (d, Q) тогда и только тогда, когда не выполняется условие эквивалентности значений хотя бы по одному свойству.

Правило 2 (синтез): $u_s^i\left(P_s^i(\text{ì})\right) = P_s^i(\text{ì}) \mid \Lambda^{i-1} \times D \times K \to \Lambda^i, D, K$, $i = 1, I$.

В этом отображении каждая управляющая команда $u \in U$ на множестве доступных машинных проектных процедур синтезирующего типа $P_s(\text{ì})$ инициирует конкретную процедуру $P_s^i(\text{ì})$, такую, что обеспечивается преобразование цифровых проектных описаний Λ^{i-1} в Λ^i хотя бы на одну информационную единицу. Данное преобразование осуществляется на основе автоматических программ с использованием информации из БД D или из базы знаний K, а количество I синтезирующих процедур определяется уровнем декомпозиции процесса в модели. Синтезирующие процедуры обеспечивают прогресс в текущем проекте созданием нового атрибутивного описания или его детализацией. Синтезирующие процедуры, выполняемые либо только пользователем, либо пользователем совместно с машиной, характеризуются следующими отображениями:

$$P_s(\div): \Theta \to F,\ P_s(\div\text{ì}): F \to \Lambda.$$

Правило 3 (расширение информационной базы):

$$P_d(\div\text{ì}): F \to D;\ G(\text{ì}): K \to D;\ P_k(\div\text{ì}): F \to K;\ L(\text{ì}): D \times \Lambda \to K,$$

где $P_d(\div\text{ì})$ – ввод описаний стандартных библиотечных элементов; $G(\text{ì})$ – расширение словаря общения в интеллектуальной САПР; $P_k(\div\text{ì})$ – приобретение системой знаний от эксперта; $L(\text{ì})$ – конкретизация и активация знаний, самообучение системы по данным.

Правило 4 (анализ): $u_a(P_a) = P_a \mid \Lambda \times D \times A \to A$,

где P_a – проектная процедура анализирующего типа.

Правило 5 (оценка свойств): $u_e(P_a') = P_a'(\text{ì}) \mid A^{i-1} \to A^i$;

$$E(\div): S(X, Y, Z) \to \Theta;\ E(\text{ì}): \Lambda \to K,$$

где $E(\div)$ – процедура оценки пользователем свойств описания объекта проектирования $S(X,Y,Z)$; $E(\text{ì})$ – процедура оценки свойств проектного описания с использованием базы знаний; $P'_a(\text{ì})$ – процедура автоматической оценки качества промежуточного проектного решения.

Правило 6 (прогнозирование и планирование): $u_p^m(P_p) = P_p^m \mid \Lambda \times D \times K \to S^{\sim}(Z), R$,

где P_p^m – проектная процедура прогнозирования и планирования; $S^{\sim}(Z)$ – прогнозируемые нечеткие оценки проектируемого объекта; R – ресурсы, необходимые для достижения прогнозируемых (планируемых) показателей.

Правило 7 (объяснение и обучение): $u_e^i(P_e) = P_e^i \mid \Lambda^i \times K \to S^{\sim}(Y,Z)$,

где P_e^i – проектная процедура объясняющего и обучающего типов; Y – текущее описание объекта проектирования; Z – прогнозируемое решение; K – формализованные инженерные знания; $S^{\sim}(Y,Z)$ – информация о текущем и прогнозируемом проектных решениях поясняющего и обучающего характера. Для выполнения такой процедуры требуется технология, основанная на знаниях.

Правило 8 (принятие решений и управление процессом проектирования):

$$\Psi(\div): \Theta \to \Theta;\ \Psi(\text{ì}): F \times \Lambda \times D \times K \to K;\ U(\div\text{ì}): F \to \Lambda;\ \Phi(\text{ì}): A \to \Lambda,$$

где $\Psi(\div)$ – процедура принятия решений пользователем; $\Psi(\text{ì})$ – процедура, выполняемая машиной логического вывода (дедукция знаний); $U(\div\text{ì})$ – управляющая процедура выбора режимов работы и маршрутов проектирования; $\Phi(\text{ì})$ – выбор алгоритма из альтернативных вариантов в автоматическом режиме на основе формальных критериев и оценок качества проекта.

Правило 9 (комментирование): $u_h^i(P_h) = P_h^i \mid D, K \to S(X), C$,

где P_h^i – проектная процедура комментирующего типа; $S(X)$ – архивные проектные решения, представленные в форме, доступной проектировщику; C – постоянная справочная информация из базы данных D.

Правило 10 (конвертирование): $u_c^i(P_c) = P_c^i \mid \Lambda^i \to S(Y)$,

где P_c^i – проектная процедура конвертирующего типа; $S(Y)$– текущее описание проекта в форме, доступной проектировщику.

Правило 11 (визуализация результатов анализа): $u_y^i(P_y) = P_y^i \mid A \to S(Y)$,

где P_y^i – проектная процедура визуализации; $S(Y)$ – множество текущих оценок свойств проектного решения в форме, доступной проектировщику.

Правило 12 (обмен данными и изменение способов их представления):

$$u_n^i(P_n) = P_n^i \mid D^i \to D^{i+1};\ u_r^i(P_r) = P_r^i \mid D \to \Lambda, A;\ u_w^i(P_w) = P_w^i \mid \Lambda \times A \to D,$$

где P_n^i – проектная процедура переформатирования данных, передача данных по сети или с одного носителя на другой; P_r^i – процедура чтения из БД архивных проектов, а также

постоянных параметров и библиотечных элементов; P_w^i – процедура записи в архив проектных решений.

Для декларативного представления знаний используются таксономия понятий предметной области и языки описаний. Процедурные знания можно разделить на операционные и управляющие. К операционным знаниям относятся методы, процессы и процедуры, а к управляющим – стратегии, способы реализации стратегий и условия выбора проектных процедур.

Процесс онтологического (концептуального) моделирования для разработки предметной онтологии предполагает:

Шаг 1. Отбор значимых для рассматриваемой предметной области понятий.

Шаг 2. Категоризацию (начальную классификацию) отобранных понятий.

Шаг 3. Дальнейшую систематизацию понятий предметной области внутри категорий – таксономическую (иерархическую) организацию понятийного словаря.

Шаг 4. Установление отношений между понятиями в рамках некоторого априори принимаемого ограниченного списка значимых отношений.

Шаг 5. Формирование аксиом, заданных на концептах и/или отношениях онтологии.

Первым шагом на пути к созданию предметной онтологии является отбор наиболее важных понятий предметной области и составление словаря. К основным понятиям ИТ-инфраструктуры относятся, например, следующие: корпоративная сеть, каналы связи, сетевое оборудование, среда передачи, сетевое взаимодействие, сетевые сервисы, служба каталога, бизнес-приложения.

Следующим важным аспектом создания модели предметной области является формирование таксономии понятий. Таксономия – частный случай онтологии, а именно $O = T =< C, \{R^T\}, \{\} >$, где R^T – теоретико-множественные отношения. Таксономия используется для смыслового разделения лексики предметной области. В таксономии различают свойства и их значения. Свойства указывают точки смыслового дробления лексики, а их значения определяют области, получаемые в результате такого дробления. Формально таксономия свойств как алгебраическая система – это четверка $T =< D, Z, R_1, R_2 >$, где D – множество свойств; Z – множество их значений; R_1 – отношение на $D \times Z$; R_2 – отношение на $Z \times D$. Отношения R_1 и R_2 имеют следующие характеристики:

1. $\forall d_i \in D\ \exists z_i \subset Z$: $\forall z \in Z_i \to (d_i R_1, z) \in R_1 \equiv d_i\ R_1\ z \wedge |Z| > 1$, т. е. отношение R_1 определяет принадлежность значений из множества Z конкретным свойствам множества D.

2. $\forall z \in Z\ \ \exists! d \in D : dR_1 z$. В соответствии с этим утверждением во множестве D не существует значений, не связанных отношением R_1 ни с одним свойством, и каждое значение связано только с одним свойством.

3. $\exists! d_0 \in D \to \neg z \in Z : zR_2 d_0$. Это означает, что множество D имеет единственный корневой элемент, не связанный ни с одним значением отношением R_2.

4. Всякое некорневое свойство связано отношением R_2 с единственным элементом из Z: $\forall d \neq d_0 \in D\ \exists! z \in Z : zR_2 d$.

5. Любая пара (свойство, значение) не может находиться одновременно в отношениях R_1 и R_2: $\forall d, z : (d, z) \in R_1 \to (z, d) \notin R_2$ и $\forall z, d : (z, d) \in R_2 \to (d, z) \notin R_1$.

Для формирования онтологии построены рабочие модели. Структура понятий определяется установлением между ними теоретико-множественных отношений. Задание на множестве понятий отношения «целое–часть» определяет иерархию рассматриваемого

множества. Так, в задачах проектирования службы каталога семантическим отношением «часть–целое» связаны понятия «Лес – Дерево, Дерево – Домен, Домен – Подразделение (Организационная единица)».

Кроме таксономических отношений при описании модели предметной области используется широкий спектр других семантических отношений. К базовым типам семантических отношений относят: характеристические, каузальные, атрибутивные, квантифицирующие, временные, пространственные, арифметические, логические и многие др. Указанные типы отношений в трактовке теории четких отношений могут быть использованы при качественном анализе взаимосвязей между элементами определяемой системы объектов, свойств, процессов и состояний, когда взаимосвязи носят дихотомический характер. Этого недостатка лишены методы анализа данных, основанные на теории нечетких отношений, которые позволяют проводить качественный анализ систем с учетом различия в силе связей между объектами системы [4].

Рассмотрим формирование аксиом для предметной области «ИТ-инфраструктура» на примере применительно к понятию «сетевое взаимодействие». Для любого сетевого взаимодействия необходимы 3 элемента:

- Как минимум 2 объекта (сетевых сервиса), заинтересованных во взаимодействии, когда хотя бы у одного их них есть ресурсы (например, информация), которые представляют интерес для другого и, следовательно, могут быть использованы объектами совместно.
- Среда передачи (Transmission media) информации и взаимодействия между объектами (метод или канал связи). Среда передачи может формироваться на основе кабельных и беспроводных технологий, позволяющих сетевым устройствам передавать информацию друг другу.

Рассмотрим правила взаимодействия между этими объектами. В качестве таких правил используются протоколы. Протокол может состоять из одного правила или из множества правил и стандартов, которые позволяют различным устройствам «вести друг с другом переговоры».

Введем обозначения: O – сетевой сервис, K – среда передачи (канал), P – протокол. Тогда аксиому можно записать так: $\forall\, O_i \wedge \forall O_j\ (\exists N \wedge \exists P \wedge \exists K) \Rightarrow \forall N(O_i, O_j)$.

Аналогично создаются остальные аксиомы для описания предметной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новакова Н. Е. Онтология управления знаниями в проектной деятельности // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. № 3. С. 8-15.
2. Горячев А. В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в распределенной информационной среде: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001.
4. Новакова Н. Е. Модели и методы принятия проектных решений в сложноструктурированных предметных областях. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.

N. E. Novakova

THE KNOWLEDGE SYSTEMATIZATION ON ONTOLOGY APPROACH OF CAD SYSTEM DOMAIN

The problems of description of domain CAD system are considered. Conceptual definition method of IT-infrastructure is offered.

CAD-system, ontology, design process, knowledge representation, IT-infrastructure

УДК 37.014.1

А. В. Горячев

ПОДСИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ БАЗЫ ДАННЫХ ТИПОВЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрены проблемы комплексной информационной поддержки процесса проектирования сложного гетерогенного объекта. Предложены модель предметной области и метод интеллектуально-информационной поддержки базы данных типовых проектных решений.

САПР, база данных, процесс проектирования, знания, отношения, семантическая сеть, сенсор, датчик

Одним из наиболее динамично развивающихся научно-технических направлений микроэлектроники является разработка, исследование и применение изделий микросистемной техники. Отдельными составляющими изделий микросистемной техники (ИМСТ) являются микроэлектромеханические и микрооптоэлектромеханические системы, обеспечивающие выполнение функций за счет преобразования механической энергии, оптического, акустического и других видов воздействий в электрический сигнал с помощью ИМСТ. Датчики представляют собой сложный гетерогенный объект, содержащий разнородные компоненты. На рис. 1 представлена обобщенная схема датчика [1]. Несмотря на большое разнообразие датчиков различного назначения, все они содержат следующие компоненты: объект наблюдения, микросистемотехнический датчик и управляющую ЭВМ. Датчик также состоит из нескольких подсистем. Рассмотрим каждую из подсистем детальнее.

Объект наблюдения – объект или среда, актуальное значение одного или нескольких из параметров которого (ой) требуется определить. ***Микросистемотехнический датчик*** – самостоятельное микросистемотехническое устройство, контактирующее с объектом наблюдения, собирающее под контролем управляющей ЭВМ информацию о требуемых параметрах объекта наблюдения и представляющее результаты наблюдений либо локально в виде сигналов сигнализатора, или в виде данных, передаваемых на управляющую ЭВМ. *Кондуктор-преобразователь* – компонент, передающий (возможно, с параметрическим преобразованием) измеряемое воздействие от объекта или среды к сенсору. *Актюатор* – устройство, производящее на объект или среду измерения регламентированное воздействие, измерение параметров реакции на которое и предоставляет информацию, необходимую и достаточную для последующего вычисления текущего значения измеряемого параметра. *Сенсор* (чувствительный элемент) – ключевой компонент микросистемотехнического датчика, преобразующий некий физический параметр объекта или среды измерения, полученный непосредственно или с помощью кондуктора-преобразователя, в электрический сигнал, параметры которого однозначно соответствуют измеряемому параметру.

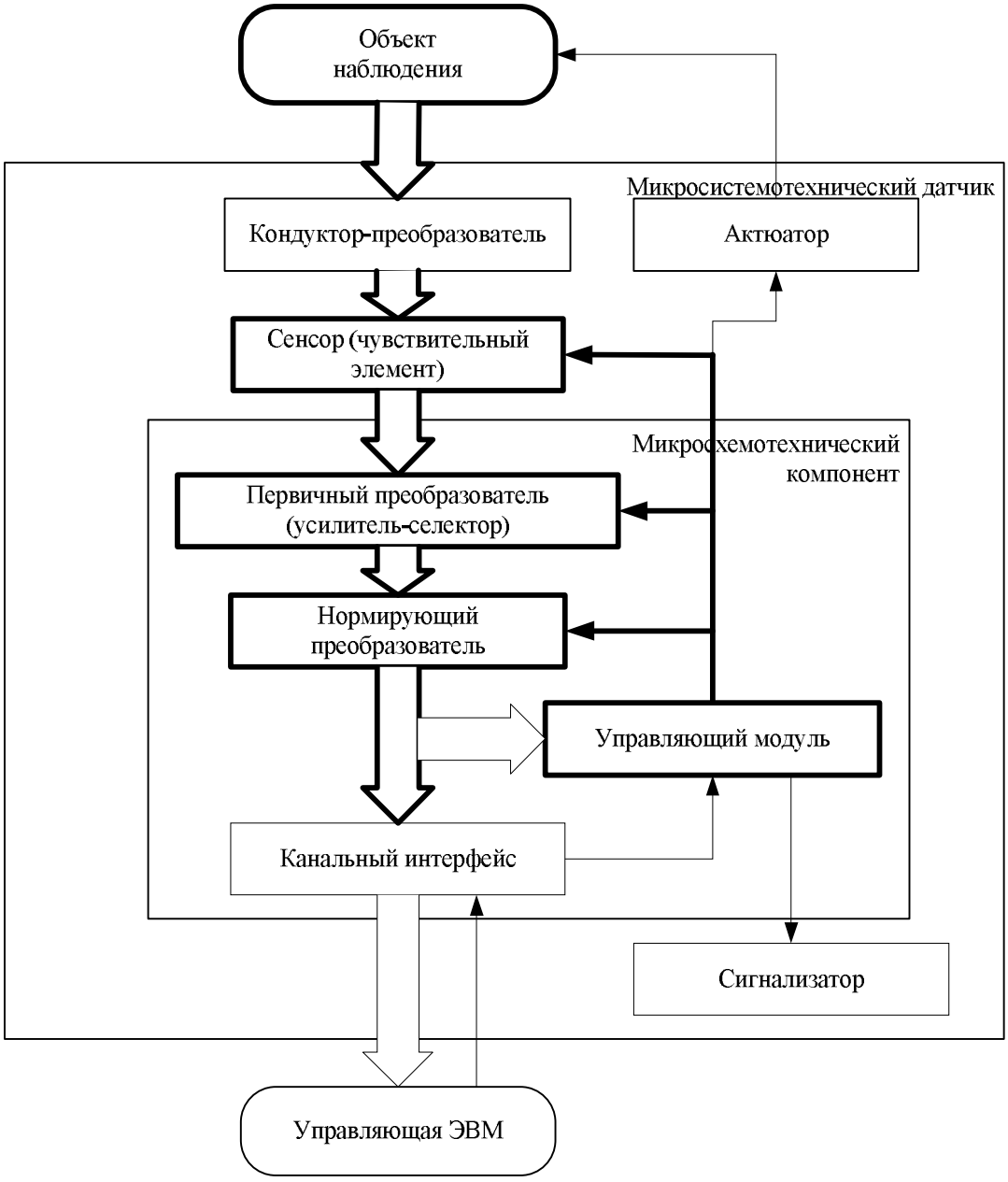


Рис. 1

Микросхемотехнический компонент – микроэлектронное схемотехническое решение, получающее на входе электрический сигнал от сенсора и формирующее на выходе сигнал, передаваемый в информационную систему для дальнейшей обработки или (и) формирующий управляющие воздействия для сигнализатора. В ряде случаев не только представляет собой единое микросхемотехническое устройство (кристалл), но и интегрирован в единое целое с сенсором. *Первичный преобразователь* (усилитель-селектор) – часть микросхемотехнического компонента, преобразующая сигнал, полученный от сенсора, в форму, воспринимаемую остальной частью микросистемотехнического компонента. Чаще всего является аналоговым компонентом и служит согласователем уровня и формы сигнала, формируемого датчиком, и сигналом, воспринимаемым нормирующим преобразователем. *Нормирующий преобразователь* – часть микросхемотехнического компонента, преобразующая аналоговый сигнал в нормированную цифровую форму, пригодную для цифровой обработки в управляющем модуле и управляющей ЭВМ. *Сигнализатор*

– компонент, обеспечивающий индикацию результатов измерения. Наличие сигнализатора дает возможность превратить микросистемотехнический датчик в автономное устройство, не связанное с внешним миром, а также обеспечить локальный контроль за состоянием датчика. ***Управляющая ЭВМ*** – ЭВМ, соединенная с микросистемотехническим датчиком каналом связи, управляющая процессом сбора информации об объекте наблюдения и получающая от микросистемотехнического датчика данные с результатами измерений. В ряде случаев может представлять собой специализированную ЭВМ, предназначенную исключительно для управления микросистемотехническим датчиком. Таким образом, важнейшей частью любого датчика является схемотехнический компонент.

Одним из самых сложных и интеллектуально-емких в схемотехническом проектировании является этап функционального проектирования объекта. Этот этап требует от проектировщика достаточно высокой эрудиции, специализированных знаний и опыта. Таким образом, для автоматизации функционального проектирования необходимы специальные инструментальные средства, основанные на применении современных технологий инженерии знаний. Создание средств информационной и интеллектуальной поддержки различных этапов детализации функциональных и принципиальных схем (ПС) позволит существенно повысить производительность труда проектировщиков и обеспечить автоматизированное получение функциональных и принципиальных схем. Любой объект проектирования определяется конечным множеством свойств, рассматриваемых на определенном уровне декомпозиции. Основным объектом декларативной части базы знаний радиоэлектронных схем является понятие. *Понятие* представляет собой фрагмент знаний, интерпретированный в терминах естественного языка и представляющий обобщенную модель класса объектов предметной области, в которой оперирует система проектирования. Понятие соответствует элементу функционально-структурной классификации электронных схем и определяется на основе опыта схемотехнического проектирования. В качестве модели представления знаний будем использовать семантическую сеть [2].

С каждым понятием связано множество *экземпляров* (реализаций) схем и графическое изображение функционального элемента. Для каждого экземпляра схемы в базе данных хранятся: сведения о функциональном составе и структурах электронных схем, графическое изображение функциональной схемы (подсхемы); графическое изображение принципиальной схемы (подсхемы); графическое изображение эскизов в виде слайдов; параметры схем, характеризующие их работу; значения параметров для конкретных реализаций устройств; текстовые пояснения, рекомендации по применению схем, настройке и выбору параметров, характеристики в виде графиков и т. д.; набор дополнительных признаков. Для удобства работы проектировщика некоторые самостоятельные понятия семантической сети объявлены основными и называются группой схем. Объединение схем в группы производится по функциональному или структурному признаку и соответствует классификации, принятой проектировщиками, использующими базу данных (БД) радиоэлектронных схем.

Детальное исследование предметной области проектирования ИМСТ позволяет сделать вывод о том, что используемые в процессе проектирования схемотехнические знания носят сложный и неоднородный характер. В связи с этим в БД радиоэлектронных схем используются различные способы представления схемотехнической информации, обеспечивающие интеллектуально-информационную поддержку процесса проектирования объекта на протяжении всех этапов схемотехнического проектирования. Это нашло отраже-

ние в многоуровневой организации базы знаний радиоэлектронных схем, что позволяет наиболее полно представить данную предметную область.

В процессе проектирования осуществляется поиск узла-прототипа, затем из нее выделяется непротиворечивый фрагмент, основой которого служит узел-прототип, после чего не его основе формируется подсеть нижнего уровня, максимально отражающая проектируемый объект. При таком подходе функциональная схема представляется смешанной сетью, так как связи внутри данного объекта (цепи) носят конкретный характер, сами же функциональные элементы имеют обобщенный характер. Замещенная функциональная схема представляет собой сеть нижнего уровня, так как не содержит объектов, не имеющих конкретного содержания. Характерной особенностью является сохранение всех атрибутов прародителя и, как следствие, возможности возврата в исходное состояние. Общая информация характеризует схему как единый объект. Она может иметь как чисто презентативный характер (например, справочная информация от разработчика схемы), так и нести конкретную функциональную нагрузку.

Для наиболее распространенных структур представления схемной информации характерны следующие особенности:

1. Каждый компонент не связан с другими компонентами.

2. Часть компонентов содержат всю информацию, определяющую их сущность, в своих атрибутах.

3. Некоторые компоненты имеют атрибуты, определяющие их корреляцию с объектами, расположенными за пределами данной структурной единицы.

К числу последних и относятся компоненты, обеспечивающие иерархическое представление ПС. Основное их назначение – сформировать ссылку на схемный объект другого уровня. Для таких объектов характерны следующие особенности:

– жесткое задание характера связываемых объектов: в структуре однозначно определяется расположение зависимого объекта (или только внутри текущей структурной единицы, или только вне ее);

– отсутствие средств поддержки корректности интерфейса (обеспечение согласования цепей возлагается, как правило, на пользователя, в структуре не предусмотрено никаких средств для управления этим процессом);

– однозначность устанавливаемой связи: каждый объект, устанавливающий связь с внешним объектом, однозначно идентифицирует его, причем введение какой-либо неопределенности в структуру практически исключено.

Рассмотрим особенности информационной поддержки всех подсистем, преобразующих схемотехническую информацию, с помощью БД типовых схемотехнических решений (рис. 2).

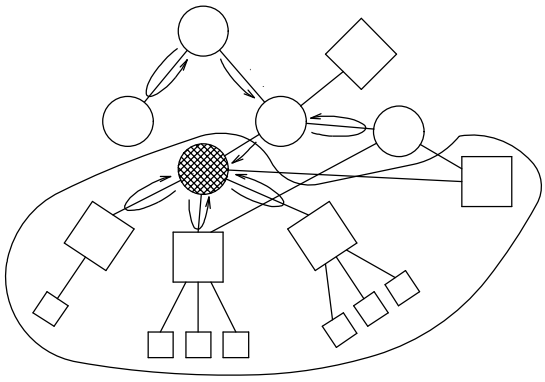


Рис. 2

В процессе проектирования ПС с использованием семантической модели предметной области (МПО) можно выделить следующие характерные процедуры:

1. Поиск в МПО узла, наиболее адекватно отражающего сущность разрабатываемого объекта.

2. Проектирование объекта с использованием

выбранных объектов на основе установленных отношений. Этапы разделяются по используемым в них средствам и объектам.

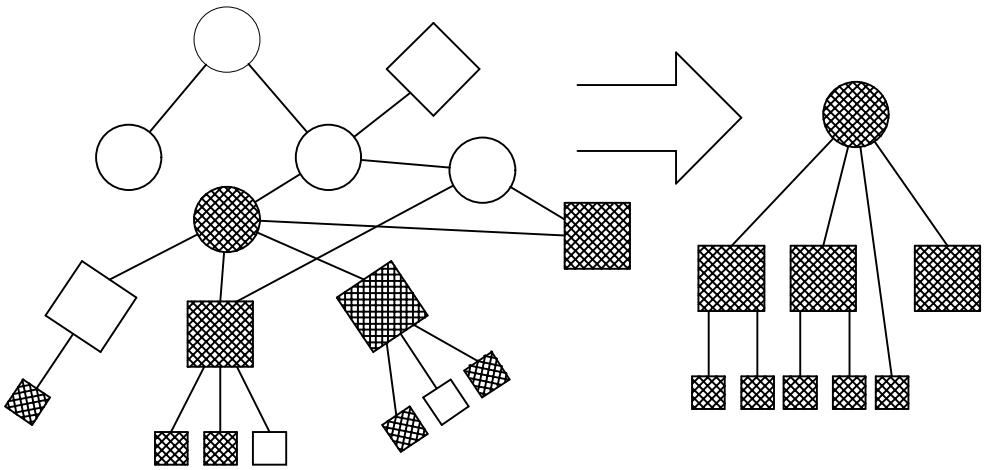


Рис. 3

На первом этапе применяются только средства и объекты, содержащиеся в базе схемотехнических решений. Единственным результатом этого этапа является выбор нового активного понятия (показан штриховкой), а используемые процедуры имеют чисто поисковый (поиск понятия) или информационный (просмотр и оценка атрибутов активного понятия) характер [1], [2]. На втором этапе (рис. 3) формируется модель проекта. При этом создается структура модели проекта, устанавливаются связи с объектами, расположенными в базе схемотехнической информации, а объекты, предполагаемые к модификации, копируются в проект. На третьем этапе производится модификация объектов, выбранных в МПО, формирование новых схемотехнических объектов, внесение изменений в модель проекта, отражающих произведенные над его содержимым операции.

В модели проекта используются только отношения, хотя бы одним из участников которых является схемный объект. Данный факт определяет конкретный характер этих отношений. В МПО со схемотехническими объектами связаны 2 типа активных отношений: «является реализацией» и «может включать в себя». Понятие «проект», являющееся корневым для МПО, может быть связано со следующими объектами. Разработчик может выбрать одну или несколько функциональных схем для дальнейшего преобразования, выделить интересующие его функциональные элементы, подобрать к ним реализации. Если расширить отношение «*A* является реализацией *B*» так, чтобы оно определяло не только возможность функционального элемента *B* быть замещенным на схемную реализацию *A* с помощью процедуры замещения, но и возможность получения ПС, адекватной *A*, путем любого из преобразований, доступных относительно *B*, то становится возможным, используя отношение «являться реализацией», построить динамичную модель проекта на основе двух отношений: «может включать в себя» и «является реализацией». Одно и то же отношение может связывать проект как с готовой ПС, найденной в МПО, так и с функциональной схемой, а также и ПС, полученной с помощью формирования ПС из функциональной. Таким образом, отношение «является реализацией» приобретает свойства наследуемости. Отношение «может включать в себя» является фундаментальным для проектирования функциональных схем. В процессе формирования функциональной схемы человек разрешает неопределенность в данном отношении, превращая его в одну из двух альтернатив:

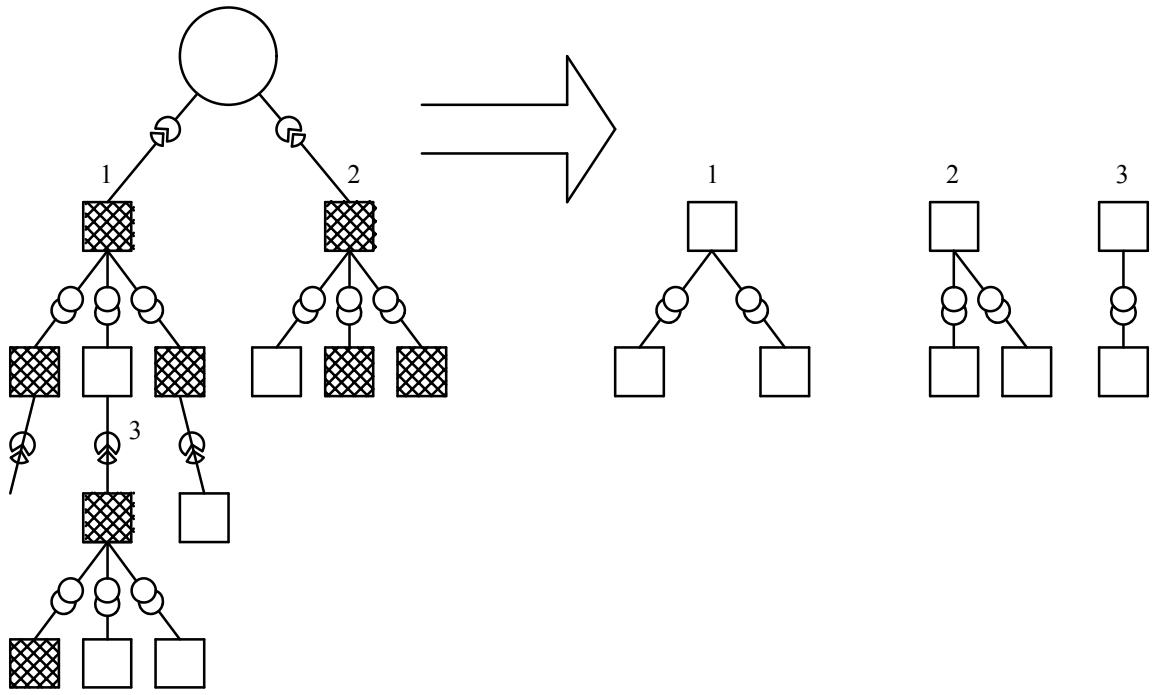


Рис. 4

«включает в себя» или «не включает в себя». Особенность представления этой пары отношений заключается в том, что у них различные носители: отношение «может включать в себя» устанавливается в структуре модели проекта, а отношение «включает в себя» сосредоточено в схемном файле. Отношение «может включать в себя» (рис. 4) носит многосвязный характер: один и тот же объект может входить в состав *n* объектов более высокого уровня, в свою очередь объекты могут включать в себя *m* объектов более низкого уровня. При формировании модели проекта используется только отношение вида 1: *n*, т. е. структура модели по данному отношению принимает вид дерева. Данное отношение обладает свойством наследования. Таким образом, список объектов, связанных с корневым понятием отношением «может включать в себя», выглядит как линейный список всех вершин подсети модели проекта, составленной в соответствии с отношением «может включать в себя». Отношение «является реализацией» имеет более жесткий характер в силу своей большей конкретности. Это отношение не обладает свойствами наследования или транзитивности, что определяет характер его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысенко И. Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.

2. Горячев А. В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в распределенной информационной среде: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.

A. V. Goryachev

INTELLIGENT SUPPORT SUBSYSTEM OF TYPICAL DESIGN SOLUTION DATABASE

The problems of integrated information support of design process of complex heterologous object are considered. The domain model and intelligent information support method of typical design solution database are offered.

CAD-system, Data Base, design process, knowledge, relationship, semantic network, sensor, transmitter

УДК 519.217.2

В. А. Смирнова

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ОТ ПРОЦЕССОВ ЛЕВИ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ К ЭКОНОМИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ

Получено распределение времени первого достижения процессом Леви заданного уровня при условии, что в конце промежутка времени его значение фиксировано, а также без этого условия. Показано как можно применить эти результаты к экономическим задачам.

Процесс Леви, функционал

Процессы Леви – это случайные процессы с независимыми приращениями, включающие в себя диффузионную и скачкообразную составляющую. Они широко применяются в технике, медицине, финансах.

Распределение различных функционалов от процессов Леви (например, времени первого достижения процессом некоторого уровня) и других функцилналов получено в неявном виде как решение сложных дифференциальных или интегральных уравнений.

В данной статье для частных случаев процессов Леви решение получено в явном виде.

Одним из частных случаев процессов Леви является процесс $w_c(s) = w(s) + cs$, где $w(s)$ – винеровский процесс. Процесс $w_c(s)$ называется винеровским процессом с линейным сносом.

Найдем распределение времени первого достижения винеровским процессом с линейным сносом уровня B при условии, что в конце промежутка изменения времени он находится на уровне a. Предполагается, что $t \in [0;1]$, $a < B$, $w(0) = 0$.

Такая задача возникает при изучении так называемых опционов с последействием [1].

Обозначим $\tau_B = \min\{t \in [0,1],\ w(t) \geq B\};\ \ B > 0.$

Очевидно, что $P(\tau_B > t) = P(\max\limits_{0<s<t} w(s) < B).$

Если $\sup\limits_{0\leq t\leq 1} w(t) < B$, то положим $\tau_B = \infty.$

Имеем [2]

$$P(\tau_B \in dt,\ w(t) \in dz) = \varphi'_t(t, B, dz)dt,$$

$$\varphi(t, B, dz) = \int\limits_B^\infty \frac{2(2b-z)}{t\sqrt{2\pi t}} \exp\left(-\frac{(2b-z)^2}{2t}\right) db\, dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(2B-z)^2}{2t}} dz\,.$$

Обозначим $p_t(z)dz = P(w(t) \in dz) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{z^2}{2t}} dz.$

Используя строго марковское свойство винеровского процесса, а также то, что процесс, выходя из точки x, начинается заново, получим:

$$P(\tau_B < t, w(1) \in da) = \int\limits_{-\infty}^{\infty} P\left(\sup_{0<s\leq t} w(s) > B, w(1) \in da \mid w(t) = z\right) p_t(z)dz =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} P\left(\sup_{0<s\le t} w(s) > B \mid w(t) = z \right) P(w(1) \in da \mid w(t) = z) p_t(z) dz =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} P\left(\sup_{0<s\le t} w(s) > B \mid w(t) = z \right) P(w(1-t) \in d(a-z)) p_t(z) dz =$$

$$= \int_{-\infty}^{B} \varphi(t, B, z) p_{1-t}(a-z) p_t(z) da\, dz + \int_{B}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi(1-t)}} e^{\frac{-(a-z)^2}{2(1-t)}} p_t(z) dz.$$

Произведя стандартные вычисления, получим

$$P(\tau_B < t,\ w(1) \in da) = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} e^{\frac{-4B^2+4aB-a^2}{2}} \int_{-\infty}^{\frac{-B+2Bt-at}{\sqrt{2t(1-t)}}} e^{-y^2} dy\, da +$$

$$+ \frac{1}{\pi\sqrt{2}} e^{-\frac{a^2}{2}} \int_{\frac{B-at}{\sqrt{2t(1-t)}}}^{\infty} e^{-y^2} dy\, da.$$

Взяв от этого выражения производную по t, получим плотность распределения

$$P(\tau_B \in dt,\ w(1) \in da) = \frac{B}{2\pi t^{3/2}\sqrt{1-t}} e^{\frac{-B^2+2aBt-ta^2}{2t(1-t)}} da\, dt\ .$$

Рассмотрим эту же задачу для винеровского процесса с линейным сносом:

$$w_c(s) = w(s) + cs\ .$$

Проводя аналогичные рассуждения и используя формулы (1.0.5) и (1.2.8) (см. [3], гл. 2), получим

$$P(\tau_B \in dt,\ w_c(1) \in da) = e^{-\frac{c^2}{2}+ac} \frac{B}{2\pi t^{3/2}\sqrt{1-t}} e^{\frac{-B^2+2aBt-ta^2}{2t(1-t)}} da\, dt\ .$$

Важным вопросом для практики является также нахождение распределения времени последнего достижения уровня для случайного процесса

$$\lambda_x = \sup\{t, X(t) = x\}\ .$$

Если X не посещает x совсем, положим $\lambda_x = 0$. Если X – возвратная диффузия, то $\lambda_x = \infty$ почти наверное для любого x, в частности, это верно для винеровского процесса.

Для винеровского процесса с линейным сносом [3]

$$P_x(\lambda_y \in dt) = \frac{|c|}{\sqrt{2\pi t}} \exp\left(c(y-x) - \frac{c^2 t}{2} - \frac{(x-y)^2}{2t} \right) dt \quad \text{è}$$

$$P_x(\lambda_y = 0) = P_x(H_y = \infty) = \begin{cases} 1 - e^{-2c(x-y)}, & c(x-y) > 0, \\ 0, & c(x-y) < 0. \end{cases}$$

Функционалы от процессов Леви возникают также в задачах страхования. Для классической задачи поток заявок – это пуассоновский процесс, предельным случаем которого является винеровский процесс, а функция выплат линейна. Рассматривается задача о вычислении распределения момента первого выхода на заданный уровень случайного процесса, представляющего собой сумму броуновского процесса с линейным сносом и пуассоновского процесса. Такой случайный процесс изучен в работе [4], гл. 3, §4, где вычислена цена европейского опциона, стоимость которого описывается с помощью данного случайного процесса. Однако для вычисления стоимости американского опциона полезно знать распределение времени достижения этим процессом некоторого уровня, что и найдено в настоящей статье без ограничений на параметры.

Вот как формируется классический результат теории актуарных расчетов «Фундаментальная теорема теории риска Лундберга–Крамера» [1].

Определим процесс риска некоторого страхового бизнеса следующим образом:

$$R_t = u + ct - \sum_{k=1}^{N(t)} \xi_k ,$$

где u – начальный капитал; c – скорость поступления взносов; ξ_k – последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин; N_t – процесс Пуассона.

Одна из первых естественных задач, связанных с этой моделью, – расчет вероятности разорения вообще $P(\tau < \infty)$ или вероятности разорения $P(\tau \le t)$ до момента времени t, где $\tau = \inf\{t : R_t \le 0\}$.

Теорема Лундберга–Крамера утверждает, что $P(\tau < \infty) \le e^{-Ru}$, где u – начальный капитал.

В более сложной модели процесс риска описывается суммой винеровского процесса с линейным сносом и пуассоновского процесса.

Пусть $w(t), t > 0$ – процесс броуновского движения, $w_c(t) = ct + \sigma w(t)$ – броуновское движение с линейным сносом. Положим $z(t) = w_c(t) + N(t)$, где $N(t)$ – пуассоновский процесс с параметром λ_1.

Предполагается, что броуновское движение и пуассоновский процесс взаимно независимы. Пуассоновский процесс $N(t)$ можно представить в виде: $N(t) = \max\left\{ l : \sum_{i=1}^{l} \tau_k < t \right\}$, где $k = 1, 2, \ldots$ – независимые одинаково распределенные случайные величины с показательным распределением с параметром λ_1, т. е. $P(\tau_k \ge t) = e^{-\lambda_1 t}$.

Пусть x – точка, из которой выходит случайный процесс, $x \le b$.

Обозначим $Q(x) = P_x(\sup_{0 \le s \le \tau} Z(s) \le b)$, где τ – не зависящий от процесса $Z(s), s \ge 0$, случайный момент остановки с показательным распределением с параметром $\lambda > 0$, т. е. $P(\tau \ge t) = e^{-\lambda t}$; $P_x(\sup_{0 \le s \le \tau} Z(s) > b)$ можно трактовать как вероятность разорения, если расходы $Z(s)$ превысили начальный капитал b.

Для упрощения вычислений положим сначала $c = 0, \sigma = 1$, $k = \sqrt{2\lambda + 2\lambda_1}$.

Тогда справедлива

Теорема 1

$$Q(x) = 1 - e^{-\alpha(b-x)},$$

где α – положительный корень уравнения

$$e^{-\alpha} = \frac{2\lambda_1}{2\lambda_1 + 2\lambda - \alpha^2}. \qquad (1)$$

Доказательство. Используя результаты работы [5] (теорема 2.1), получим, что

$$Q(x) = P_x(\sup_{0 \le s \le \tau} Z(s) \le b)$$

является единственным непрерывным решением интегрального уравнения

$$Q(x) = M(x) + \int_{-\infty}^{\infty} G_x(z) Q(z+1) dz, \qquad (2)$$

где

$$M(x) = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} - \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} e^{-(b-x)k};$$

$$G_x(z) = \frac{\lambda_1}{k}\left(e^{-|z-x|k} - e^{-(2b-z-x)k}\right) 1_{(-\infty, b)}(z).$$

Будем искать $Q(x)$ в виде: $Q(x) = ce^{-\alpha(b-x+1)} + \gamma, \alpha > 0$.

Подставив $Q(x)$, $M(x)$ и $G_x(z)$ в уравнение (2) и произведя вычисления, получим

$$ce^{-\alpha(b-x+1)} + \gamma = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} - \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} e^{-(b-x)k} + \frac{2c\lambda_1}{k^2 - \alpha^2} e^{-(b-x)\alpha} -$$

$$- \frac{2c\lambda_1}{k^2 - \alpha^2} e^{-(b-x)k} + \frac{\gamma\lambda}{\lambda + \lambda_1} - \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} \gamma e^{-k(b-x)}.$$

Приравнивая коэффициенты при $e^{-\alpha(b-x)}$, найдем:

$$ce^{-\alpha} = \frac{c2\lambda_1}{k^2 - \alpha^2} \to e^{-\alpha} = \frac{2\lambda_1}{2\lambda_1 + 2\lambda - \alpha^2}.$$

Очевидно, что это уравнение имеет единственный положительный корень. Приравнивая свободные члены, получим $\gamma = 1$. Из вероятностного смысла задачи

$$Q(b) = 0 \to ce^{-\alpha} = -\gamma \to c = -e^{\alpha}.$$

Этот же результат можно получить, приравняв коэффициенты при $e^{-(b-0x)k}$.

Итак: $P_x\left(\sup_{0 \le s \le \tau} w(s) + N(s) \le b\right) = 1 - e^{-\alpha(b-z+1)} = 1 - e^{-\alpha(b-x)}$, где $\alpha > 0$ – корень уравнения (1). Теорема 1 доказана.

Теорема 2

$$P_x\left(\sup_{0 \le s \le \tau} \sigma w(s) + cs + N(s) \le b\right) = 1 - e^{-\alpha(b-x)},$$

где $\alpha > 0$ – корень уравнения $e^{-a} = \dfrac{2\lambda_1}{2\lambda + 2\lambda_1 - \sigma^2\alpha^2 - 2ac}$.

Доказательство аналогично доказательству теоремы 1, но требует более сложных вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики: В 2 т. М.: Фазис, 1998. С. 778–782.
2. Shreve S. Stochastic Calculus and Finance. Carnegie Mellon University, 1997. P. 248.
3. Бородин А. Н., Салминен П. Справочник по броуновскому движению. СПб.: Лань, 2000. С. 89.
4. Иголкин В. Н., Ковригин А. Б. Финансовые потоки и их флуктуации. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006.
5. Бородин А. Н. Распределения функционалов от некоторых процессов с независимыми приращениями // Вестник СПбГУ. 2005. Сер. № 4. С. 5–24.

V. A. Smirnova

DISTRIBUTION OF FUNCTIONALS OF LEVI PROCESS AND ITS APPLICATIONS TO ECONOMIC QUETSCHIONS

Distribution times of firster reaching of Levi processes defined level is founded .Its application to economic problems are explained.

Levi process, functional

УДК 004.4´22(07)

А. А. Лямкин, А. В. Жарковский,
Н. П. Микуленко, Т. Ф. Тревгода

АЛГОРИТМ ПОИСКА И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОШИБОК ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ

Предлагается алгоритм поиска и локализации ошибок при отладке программных комплексов управления сложными техническими системами.

Система, программный комплекс, отладка, модель, эталон, ошибка, алгоритм

Цели функционирования сложных технических систем (СТС) достигаются только благодаря управлению. Эффективность функционирования таких систем зависит главным образом от качества программных средств управления, т. е. от качества функционального программного обеспечения (ФПО). Для управления системами служит обычно не одна программа, а целый их комплекс. Самым длительным и трудоемким этапом создания такого программного комплекса является его отладка, заключающаяся в обнаружении, локализации и устранении ошибок [1].

Ошибки ФПО обусловлены главным образом несогласованностью частных технических заданий (ТЗ) на разработку отдельных программ и разным пониманием Заказчиком и Исполнителем функций ФПО из-за вербальной формулировки общего и частных ТЗ на его создание. Основным методом, используемым при отладке ФПО, является метод тестирования. Он предполагает формирование входного тестового набора данных, который подается на вход ФПО и некоторого эталона. Затем решение (реакция, выход) ФПО сравнивается с эталонным решением. Несовпадение решений не только говорит о наличии ошибки, но и позволяет судить даже о месте ее возникновения.

Для повышения качества ФПО и сокращения длительности и трудоемкости процесса его отладки в [2] предложена структура автоматизированной системы тестирования программных комплексов, состоящая из двух ЭВМ. В реальной (бортовой, боевой) ЭВМ размещается реальное (создаваемое) ФПО, а в технологической ЭВМ – программы формирования входных тестов и эталонных решений, программа поиска и локализации ошибок ФПО и вспомогательные программы по управлению совместной работой двух машин. В качестве эталона предлагается использовать имитационную модель ФПО, которая всегда создается в процессе концептуального проектирования и служит для предварительной оценки эффективности СТС. На основе этой модели и разрабатывается ТЗ на создание ФПО. Естественно, что при этом структура ФПО и его модели (состав программ и связей между нами) должны сов-

падать, несмотря на различия компьютеров, на которых реализуются ФПО и его модель (по элементной базе, техническим характеристикам, языкам программирования и т. п.).

Рассмотрим в качестве методического примера СТС зенитный комплекс (ЗК) и некоторый ограниченный круг задач, решаемых при управлении им. Обычно к числу решаемых задач относятся: преобразование информации о целях, определение параметров их движения, ранжирование целей по степени их опасности и, наконец, целераспределение-целеуказание (указание местоположения наиболее опасной цели, назначенной для уничтожения). Эти задачи последовательно решаются отдельными программами комплекса управления, которые в совокупности и образуют ФПО.

Идея алгоритма поиска и локализации ошибок ФПО при его автоматизированной отладке состоит в сравнении выходов одноименных программ ФПО и его модели. При этом сами алгоритмы решения задач в ФПО и его модели могут различаться. Важно лишь, чтобы выходы одноименных программ содержали одни и те же переменные. Выходные данные программам могут быть описаны с использованием объектно-признакового языка [3] в виде формуляров обмена (*F*.).

Так, формуляр радиолокатора ЗК (информация на входе ФПО) имеет вид

$$F.Z\ [LC, N_C, D, K, M, S, PR{:}\{B, N\}],$$

где LC – количество целей; N_C – порядковый номер цели в нумерации данного радиолокатора; D – наклонная дальность до цели; K – курсовой угол цели; M – угол места цели; S – скорость цели; $PR{:}\{B, N\}$ – признак размера цели (B – цель большеразмерная, N – цель малоразмерная).

Выходной формуляр программы преобразования –

$$F.P\ [LC, N_C, X, Y, Z],$$

где X, Y, Z – координаты цели в декартовой системе координат.

Формуляр программы расчета параметров движения целей имеет вид

$$F.K\ [LC, N_C, EZ, EY, DG, KP, TP],$$

где EZ и EY – углы, характеризующие направление движения цели соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; DG – горизонтальная дальность; KP – курсовой параметр цели; TP – подлетное время цели к заданной точке (области).

Формуляр ранжирования

$$F.R\ [LC, N_C, RC]$$

включает в себя RC – ранг цели.

Формуляр программы целеуказания может быть описан как

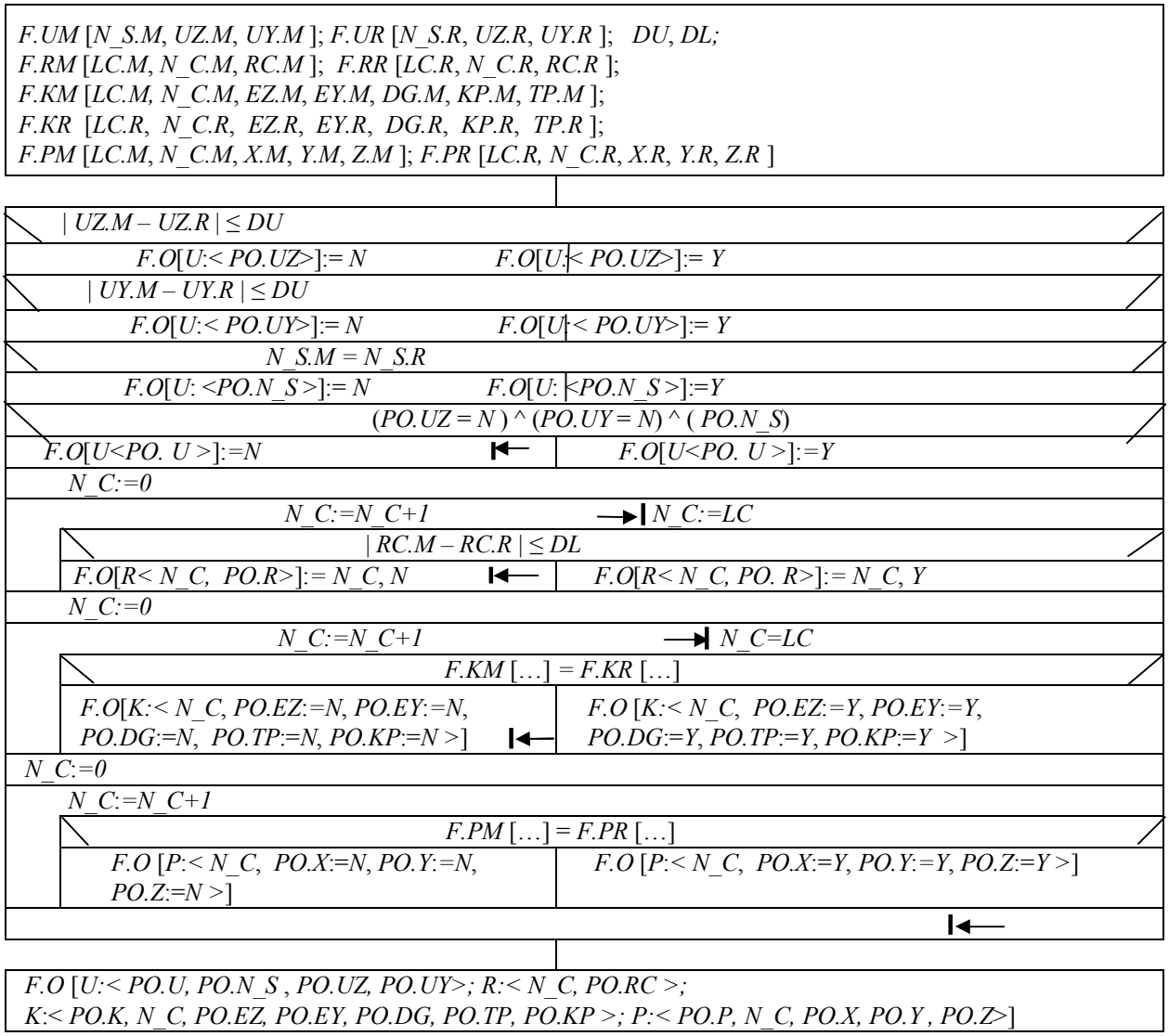
$$F.U\ [N_S, UZ, UY],$$

где N_S – имя (номер) ориентируемого в направлении на цель средства ЗК (например, инфракрасное или радиолокационное устройство сопровождения цели); UZ и UY – углы ориентации этого средства в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

В приведенных формулярах содержатся значения лишь тех переменных, которые вычисляются указанными программами. При последовательном выполнении программ выход предыдущей программы является входом последующей.

Но это не означает, что всякая последующая программа использует только выходную информацию предыдущей – это может быть и выходная информация любых предшествующих по времени выполнения программ. Например, в программе ранжирования используются *KP* и *TP* из *F.P*, а также *D* и *S* из *F.Z*.

Алгоритм поиска и локализации ошибок при отладке ФПО в строчной форме записи [3] приведен на рисунке. В блоке исходных данных алгоритма записываются выходные формуляры всех программ реального ФПО с расширением *R*, а формуляры его модели – с расширением *M*. Здесь также указываются константы, определяющие допустимое расхождение в вычислениях угловых (*DU*) и линейных (*DL*) величин одноименными программами ФПО и его модели. В блоке выходных данных (в формуляре ошибок *F.O*) записываются относительно всех программ признаки ошибки (*PO.X*:{*Y,N*}) по каждой из вычисляемых переменных *X* со значениями наличия (*Y*) или отсутствия (*N*) ошибки.



В алгоритме последовательно (начиная с *F.U*) сравниваются выходные формуляры всех программ по каждой из переменных. Если нет ошибки при вычислении всех переменных какой-либо программой (разность одноименных числовых переменных не превышает допустимой погрешности, а значения одноименных нечисловых переменных совпадают) – значит, нет ошибки и в работе данной и предшествующих программ. Если есть ошибка в вычислении какой-либо переменной, то переходят к сравнению выходных фор-

муляров предшествующей программы. Их равенство свидетельствует о том, что ошибка в вычислении такой-то переменной произошла в данной программе, а неравенство говорит об ошибке в одной из предшествующих программ.

Когда в выходном формуляре какой-либо программы присутствуют данные, относящиеся к нескольким целям, то сравниваются формуляры относительно каждой из них. Это требует циклического перебора всех целей.

Для уменьшения размерности приведенного алгоритма подробное сравнение всех переменных формуляров *F.K* обозначено как сравнение самих формуляров *F. KM* […] = *F. KR* […], а сравнение всех переменных формуляров *F.P* – как *F.PM* […] = *F.PR* […]. Сам алгоритм сравнения переменных этих формуляров аналогичен приведенному ранее алгоритму сравнения переменных формуляров *F.U*.

В соответствии с выявленной ошибкой в вычислении той или иной переменной соответствующая программа ФПО корректируется, и поиск ошибок в соответствии с приведенным алгоритмом повторяется.

Предложенный подход при построении данного алгоритма может быть использован для поиска и локализации ошибок при отладке любых программных комплексов управления сложными техническими системами, в которых осуществляется последовательное выполнение программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липаев В. В. Тестирование программ. М.: Радио и связь, 1986.

2. Автоматизация тестирования программных комплексов управления / А. А. Лямкин, А. В Жарковский, Н. П. Микуленко, Т. Ф. Тревгода // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Автоматизация и управление». 2009. № 4. С. 31–34.

3. Лямкин А. А. Концептуальное проектирование информационно-управляющих комплексов подвижных объектов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001.

A. A. Lyamkin, A. V. Zharkovskiy, N. P. Mikulenko, T. F. Trevgoda

ERROR SEARCH AND LOCALISATION ALGORITHM FOR CONTROL SOFTWARE PACKAGES

The error search and localization algorithm to be used at debugging of control software packages for complex engineering systems is provided.

System, software package, debugging, model, reference standard, error, algorithm

УДК 621.365.52

В. Б. Демидович, Е. А. Григорьев,
П. А. Масликов, И. И. Растворова

ПРЕЦИЗИОННЫЙ НАГРЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК В ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВАТЕЛЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Обсуждаются проблемы прецизионного индукционного нагрева заготовок из сплавов цветных металлов – титана, циркония, ниобия, тантала и некоторые других. Описаны особенности, которые необходимо принимать во внимание при разработке индукционного оборудования для нагрева сплавов из цветных металлов. Представлен пример оптимального нагрева заготовки из циркония в индукционном нагревателе периодического действия.

Прецизионный нагрев, индукционный нагреватель, термообработка сплавов из цветных металлов

Индукционные установки широко применяются для нагрева заготовок и слябов перед прокаткой, прессованием, ковкой, выпрямлением и другими видами пластической деформации. Это объясняется такими известными преимуществами индукционного нагрева, как хорошие энергетические характеристики, высокая скорость нагрева, простота управления, возможность полной автоматизации, небольшие габаритные размеры установки и легкость в обслуживании (в том числе в случае нагрева заготовок различного размера) [1], [2].

При всех известных преимуществах технологии индукционного нагрева необходимо отметить невозможность достижения абсолютной равномерности температурного поля в заготовке из-за существующей разности температур окружающей среды в индукторе и конечной температурой заготовки.

Для сплавов многих металлов – титана, циркония, ниобия, тантала и некоторых других, важно обеспечить точность нагрева с высокой степенью однородности температурного поля. Это объясняется полиморфизмом подобных сплавов в узком интервале температур, в котором может быть реализована пластическая деформация высокого качества, низкой теплопроводностью и высоким уровнем потерь температуры на поверхности, которые приводят к тому, что наибольшая температура будет находиться внутри заготовки, где она не может быть измерена пирометром. В то же время, обеспечение необходимой точности нагрева с очень высокой однородностью температурного поля имеет большое значение для термической обработки сплавов перед пластической деформацией. Поэтому определение максимально достижимой неравно-

мерности температурного поля при нагреве заготовки индукционным способом играет существенную роль при проектировании индукционной установки. Часто, когда требуется обеспечить нагрев с точностью ±5…10 °С, после достижения требуемой в заготовке температуры с помощью индукционного нагрева целесообразно применить термостатирование. В этом случае за счет теплопроводности металла температурное поле внутри заготовки выравнивается и становится более равномерным. Тем не менее, наиболее точный индукционный нагрев может быть реализован именно в периодическом индукционном нагревателе. В последние годы был реализован метод прецизионного индукционного нагрева длинномерной заготовки [1], [3] и разработан комплекс комбинированного нагрева «индукционный нагреватель – печь сопротивления» для прецизионного нагрева заготовок.

Для обеспечения качественного нагрева заготовок из цветных сплавов к ним предъявляются следующие требования:

- формирование предельно возможного равномерного температурного поля по длине и сечению заготовки;
- исключение перегрева заготовки;
- минимизация времени нагрева.

Вследствие скин-эффекта при индукционном нагреве тепловые источники распределены по сечению заготовки крайне неравномерно: максимальное тепловыделение происходит на поверхности, с увеличением расстояния от поверхности интенсивность источников тепла резко падает.

Таким образом, поверхностные слои имеют более высокую температуру, чем внутренние, и эта разница температур тем больше, чем больше мощность нагрева и выше частота тока. Потери тепла с наружной поверхности качественно влияют на характер температурного поля в поперечном сечении заготовки: из-за потерь тепла с поверхности зона с максимальной температурой образуется на некоторой глубине от поверхности. Теплоотвод с внешней поверхности качественно отражается на характере температурного поля: вследствие захолаживания поверхности в глубине заготовки образуется зона, имеющая более высокую температуру, чем поверхность. Это происходит при индукционном нагреве всех металлов, однако для титановых сплавов проявляется в большей мере из-за низкой теплопроводности и высокого уровня тепловых потерь. Перегрев внутренних слоев металла может привести к локальным изменениям в структуре титана, к возникновению остаточных напряжений, а при больших температурах нагрева – к расплавлению внутренних слоев.

Типичное распределение температуры по радиусу цилиндрических заготовок, нагреваемых индукционным методом, показано на рис. 1. На левом графике изображена зависимость температуры нагрева поверхности $\theta_п$ и центра $\theta_ц$ заготовки от времени t. Значениям температур поверхности и центра в моменты времени t_1 и t_2 сопоставляются соответствующие значения на графике распределения температуры в зависимости от расстояния r от оси (0 на оси абсцисс графика) до поверхности R заготовки. До момента времени t_1 происходит интенсивный нагрев поверхности заготовки при постоянном значении подаваемой мощности, при этом температура поверхности значительно превышает температуру центра. Разница между температурой центра и области с максимальной температурой составляет $\Delta\theta_1$. Затем значение мощности уменьшается, вслед за этим уменьшается и разность температур между поверхностью и центром.

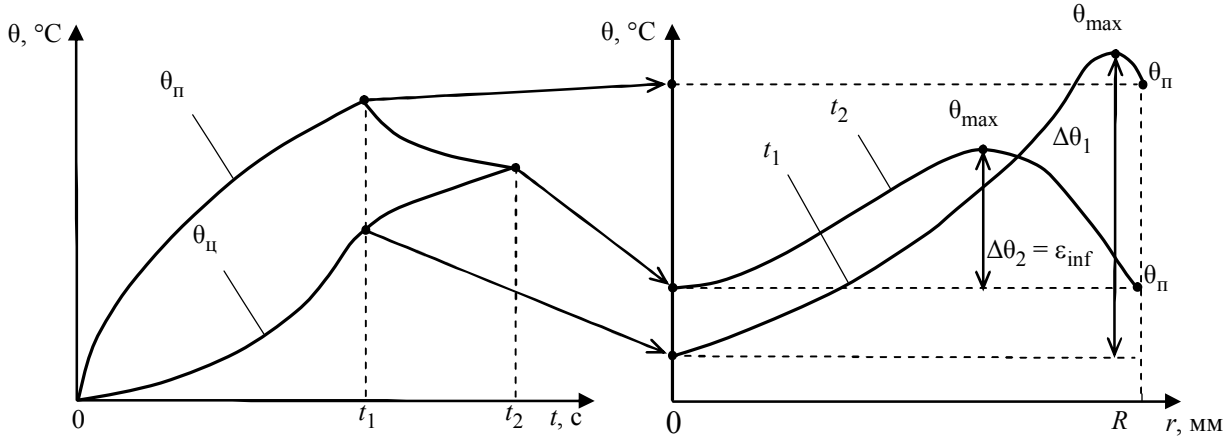


Рис. 1

Из-за потерь тепла область с максимальной температурой θ_{max} при индукционном нагреве всегда расположена внутри заготовки (рис. 1). Во время нагрева t_2, когда температуры на поверхности и в центре равны, всегда будет существовать некоторая разница температур $\Delta\theta_2 = \varepsilon_{inf} < \Delta\theta_1$, которая не может быть уменьшена в соответствии с настоящими условиями нагрева. Перепад температур $\Delta\theta_2 = \varepsilon_{inf}$, называемый предельной неравномерностью нагрева, зависит от конечной температуры нагрева, диаметра заготовки, частоты тока, теплопроводности сплава, уровня тепловых потерь с поверхности (качества футеровки).

Рассмотрим два типа футеровок, которые обеспечивают в стационарном режиме нагрева тепловые потери с поверхности заготовки с коэффициентом теплообмена α = 0,002 Вт/(см^2·°С) и α = 0,006 Вт/(см^2·°С). Реальные футеровки, которые в настоящее время могут быть установлены в индукционных нагревателях, обеспечивают коэффициент теплообмена, лежащий в указанном диапазоне.

Для исследования влияния качества футеровки на распределение температурного поля проводились расчеты нагрева цилиндрических титановых заготовок из сплава ВТ6 диаметром 275 мм в одном индукторе. Нагрев заготовок производился на частотах 100 и 500 Гц до конечной температуры нагрева 1000 °С. Мощность нагрева подбиралась таким образом, чтобы в конце нагрева температура поверхности $\theta_п$ и температура центра $\theta_ц$ заготовки были одинаковы и равны конечной заданной температуре нагрева.

На рис. 2 показано распределение температуры в титановой заготовке в конце нагрева. Так, уменьшение частоты приводит к увеличению погрешности нагрева. Низкая частота и плохая футеровка резко снижают качество нагрева титановых заготовок. Прецизионность нагрева повышается с понижением конечной температуры нагрева и уменьшением диаметра заготовки.

На рис. 3 изображена зависимость ε_{inf} по сечению заготовки от диаметра *D* для различных конечных температур нагрева 1250 °С (*1*), 1000 °С (*2*) и 750 °С (*3*) для сплава ВТ6, полученная по одномерной модели для нагрева с частотой 1000 Гц. С увеличением диаметра и конечной температуры повышается предельно достижимый температурный перепад ε_{inf}. Эти данные были получены при условии, что рассматривалось только распределение температуры по радиусу заготовки. Чтобы представлять полную картину распределения температурного поля при индукционном нагреве, необходимо рассматривать осо-

бенности распределения внешних источников тепла не только по сечению, но и по длине заготовки. Для этого требуется уже двумерная модель.

В этом случае минимальный температурный перепад ε_{inf} может быть значительно выше и, кроме того, в этом случае он зависит от величины заглубления заготовки в индуктор σ (рис. 4).

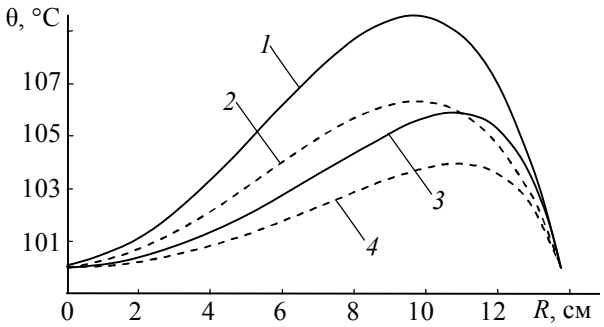


Рис. 2

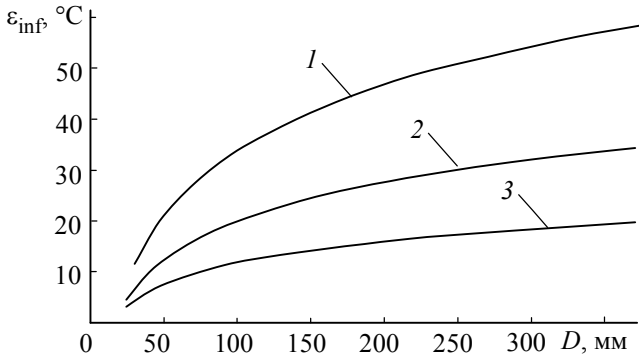


Рис. 3

На рис. 4 представлена зависимость ε_{inf} без учета (1D-модель) и с учетом (2D-модель) распределения температурного поля по длине заготовки от величины заглубления σ заготовки в индуктор периодического действия без (1) и с тепловыми заглушками на торцах индуктора (2). Распределение мощности по длине заготовки сильно зависит от этой величины σ. Существует оптимальное значение σ, при котором температурный перепад ε_{inf} по объему заготовки является минимальным. Это происходит в случае равенства значения температуры в трех точках $\theta_п = \theta_ц = \theta_з$, (рис. 5) где $\theta_п$ – температура в середине заготовки на ее поверхности; $\theta_ц$ – температура в середине заготовки на ее оси; $\theta_з$ – температура на торце заготовки; θ_{max} – максимальная температура внутри заготовки. Конечная температура нагрева составляет 900 °C. Таким образом, очевидно, что если не учитывать тепловые потери с торцов заготовки (тепловые потери с торцов заготовки малы в случае использования тепловых заглушек на торцах индуктора), то значения ε_{inf} при оптимальном заглублении σ для случаев использования 1D- и 2D-моделей схожи [4].

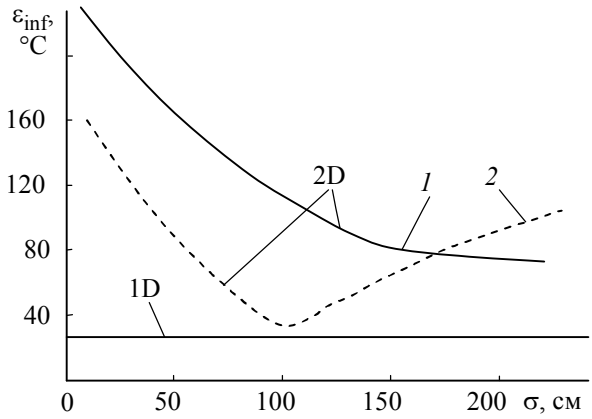


Рис. 4

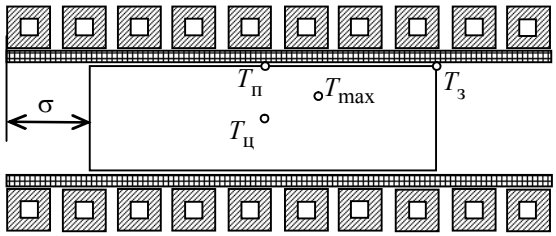


Рис. 5

Максимальная температура θ_{max} располагается на некоторой глубине от поверхности и в зависимости от степени краевого эффекта может менять координаты по длине заготовки. В большинстве реальных индукционных устройств краевые эффекты индуктора и нагрузки накладываются друг на друга, а при малой длине нагреваемого изделия или обмотки происходит также наложение искажений, обусловленных обоими концами элементов системы.

Для достижения максимально допустимого распределения температурного поля по диаметру и длине заготовки во время нагрева используются различные методы оптимального управления. Они включают в себя выбор частоты, необходимой мощности и времени нагрева, активные и пассивные средства пространственного регулирования.

Наиболее известными электрическими средствами регулирования температуры являются использование краевых эффектов индуктора и загрузки, кольца Фарадея, дополнительные катушки на концах индуктора, концентраторы и т. д. Они значительно влияют на распределение мощности по длине заготовки и, собственно, на распределение температурного поля. Чтобы получить более равномерное температурное поле в случае многослойной катушки, можно использовать различные шаги намотки витков на внешних слоях нагревателя. На концах индуктора используется более плотная намотка. При этом в концы заготовки подается бóльшая мощность, что способствует усилению нагрева торцов заготовки. В некоторых случаях, например когда используется один индуктор для нагрева заготовок различной длины и диаметра, более плотная намотка чередуется с менее плотной симметрично по обе стороны индуктора, что обеспечивает относительно равномерный нагрев по длине заготовки.

При нагреве сплошных цилиндрических заготовок в торце индуктора может быть установлен плоский обогреватель. Для управления температурным полем питание обогревателя торца может осуществляться либо переменным напряжением, снимаемым с основного индуктора с помощью узла присоединения, либо от источника постоянного или переменного напряжения любой частоты и формы. Питание торцевого обогревателя может осуществляться и за счет электромагнитной связи индуктора с дополнительной обмоткой, концы которой присоединены к обоим концам резистивного нагревателя. Дополнительная обмотка (индуктор), нагревающая тепловой компенсатор, может иметь и независимый источник питания. Тепловые компенсаторы могут быть выполнены в виде замкнутых широких колей из жаропрочного проводящего материала и устанавливаются внутри индуктора в концевых зонах футеровки. Нагреваясь одновременно с заготовками в поле индуктора, они создают тепловой экран, уменьшая тем самым тепловые потери с торцевых сторон заготовки.

Рассмотрим подробнее процесс индукционного нагрева сплавов из цветных металлов на примере циркония. На рис. 6 представлено распределение температурного поля циркониевой заготовки радиусом 110 мм и длиной 475 мм после этапа индукционного нагрева. Конечная температура нагрева 1000 ºС. Необходимо обеспечить максимально допустимую точность нагрева ±20 ºС. Это достигается за счет использования оптимального режима нагрева, выбора оптимальной конструкции индукционного нагревателя периодического действия и использования различных пространственных средств управления температурным полем.

Индукционный нагреватель представляет собой двухслойную катушку с футеровкой для снижения потерь тепла от поверхности заготовки. Тепловые заглушки, установленные на концах индуктора, приводят к снижению тепловых потерь излучением с торцов заготовки. Второй слой индуктора состоит из нескольких симметрично расположенных относительно центра на каждом конце индуктора витков. Это позволяет усилить электромагнитное поле на концах индуктора для компенсации краевых эффектов.

Нагрев осуществляется в два этапа. Первый этап нагрева заготовки, расположенной на заглублении σ от торца индуктора, осуществляется в ускоренном режиме при максимальной мощности на 60 Гц, а затем выполняется режим термостатирования. Он производится при

минимальной мощности нагрева для выравнивания температурного поля по объему заготовки и компенсации тепловых потерь поверхности заготовки. Таким образом, можно достичь желаемой температуры нагрева 1000 ºС с заданной точностью ± 10 ºС (рис. 6).

Как видно из рисунка, абсолютно однородное распределение температурного поля достигнуто быть не может, но можно обеспечить минимальную неравномерность распределения температуры для данной заготовки в требуемом диапазоне, а также минимальную разницу между температурами $\theta_п$, $\theta_ц$ и $\theta_з$.

Более того, с помощью современных пакетов программного обеспечения UNIVERSAL [5], [6] возможно получать не только распределение температурного поля по длине и сечению заготовки, но также значения сопротивлений витков катушки индуктивности, что способствует повышению точности расчета модели индукционного нагревателя.

Распределение активных сопротивлений *R* по виткам *N* разных слоев индуктора и окончательное распределение температуры в заготовке представлены на рис. 6.

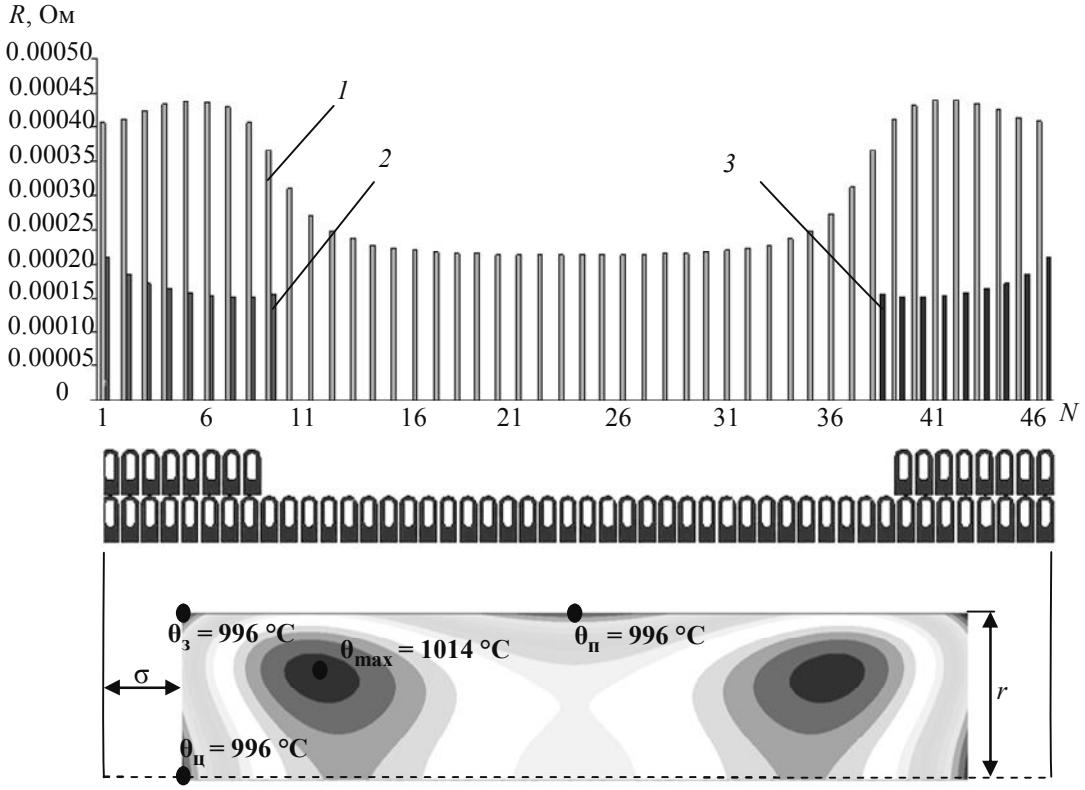


Рис. 6

Сопротивления витков наружного слоя катушки *1* меньше, чем сопротивления витков внутреннего левого *2* и правого *3* слоев, что объясняется кольцевым эффектом и эффектом близости. Сопротивления витков внутреннего слоя катушки, расположенных напротив соответствующих витков наружного слоя, выше по сравнению с витками внутреннего слоя, над которыми нет витков наружного слоя, что также объясняется перераспределением тока по сечениям витков.

Подводя итог, можно сказать, что использование программного пакета UNIVERSAL позволяет проектировать индукционные системы для прецизионного высокотемпературного нагрева сплавов различных металлов с высокой точностью и производительностью. С помощью этих программ пользователь может получить все необходимые характеристики индукцион-

ной системы, включая распределение температурного и электромагнитного поля в загрузке, мощности, электрический КПД, коэффициент мощности, ток индукторов и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Demidovitch V., Nikitin B., Olenin V. Induction installations for heating long cylindrical billets before metal forming // Russian Metallurgy. 2007. № 8. С. 98–102.

2. Немков В. С., Демидович В. Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоатомиздат. 1988. 280 с.

3. Пат. № 2333618, Российская Федерация, МПК H05B 6/02 / В. Б. Демидович, В. А. Оленин, Ф. В. Чмиленко. Способ индукционного нагрева длинномерных заготовок; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25.

4. Demidovitch V., Nikitin B., Olenin V. Utilization of induction heating in the titanium industry // XVI Inter. congress on Electricity applications in modern world. Krakov. 2008. P. 51–52.

5. Electromagnetic processing of titanium alloys before plastic deformation / V. Demidovich, F. Chmilenko, B. Nikitin et al. // Proc. 6th Inter. conf. on Electromagnetic processing of materials EPM2009. Dresden. Germany. P. 181–184.

6. Демидович В. Б., Чмиленко Ф. В. Численные методы в теории индукционного нагрева. СПб.: Технолит. 2008. 220 с.

V. B. Demidovitch, E. A. Grigoriev, P. A. Maslikov, I. I. Rastvorova

PRECISE HEATING OF THE CYLINDRICAL BILLETS IN THE STAGE INDUCTION HEATERS

The problems of precise induction heating of billets from alloys of non-ferrous metals such as titanium, zirconium, niobium, tantalum, and some others are discussed. Describes some features that should be taken into account in developing equipment for induction heating of alloys of non-ferrous metals. Example of optimal heating of Zr billet in the stage induction heater is presented in the paper.

Precision heating, induction heater, heat treatment of alloys of nonferrous metals

УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

О ВЛИЯНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗБУЖДАЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ И АМПЛИТУДУ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА ВЫХОДЕ ПЬЕЗОИЗЛУЧАТЕЛЯ

Рассмотрен излучатель в виде демпфированной пьезопластины, нагруженной на жидкую среду (воду). Возбуждение преобразователя осуществляется электрическим сигналом на частоте антирезонанса пластины ω_0. Расчетным путем исследован импульсный режим работы данного преобразователя при различных длительностях возбуждающего электрического импульса – от одного полупериода синусоиды напряжения на частоте ω_0 до 12 полупериодов. Для различных степеней демпфирования пластины определены зависимости длительностей и амплитуд излучаемых акустических сигналов от длительностей импульсов возбуждающего электрического напряжения. Подробно изучена динамика изменения формы акустического сигнала на выходе преобразователя при увеличении длительности электрического возбуждающего сигнала.

Электрический импульс, акустический импульс, пьезокерамическая пластина, демпфер

В некоторых предшествующих статьях, например [1]–[3], авторами был подробно рассмотрен импульсный режим работы демпфированной пьезопластины, нагруженной на жидкие и твердые среды. При этом подразумевалось, что импульс электрического напряжения, возбуждающего активный элемент, имеет вид половины периода синусоиды на частоте антирезонанса пластины. С помощью аппарата эквивалентных схем пьезокерамических преобразователей и спектрального метода на основе преобразований Фурье были исследованы возможности снижения длительностей излучаемых акустических импульсов при использовании различных степеней демпфирования пьезопластины.

Представляет интерес проведение аналогичных исследований для случая, при котором длительность возбуждающего электрического сигнала отличается от упомянутой. Так, например, научную и методическую значимость может представить рассмотрение импульсного режима работы демпфированной пьезопластины при возбуждении ее электрическим сигналом в виде различного числа полупериодов синусоиды на частоте антирезонанса. Будем решать задачу в постановке, представленной на рис. 1. Пьезопластина (активный материал – ЦТСНВ-1) возбуждается импульсом электрического напряжения $U(t)$. В качестве акустической нагрузки

выберем жидкую среду (воду). Тыльная сторона пластины контактирует с демпфером, представляющим собой полубезграничную среду. В принятых на рисунке обозначениях: $z_в$, $z_к$ и $z_д$ – удельные акустические сопротивления воды, керамики и демпфера соответственно.

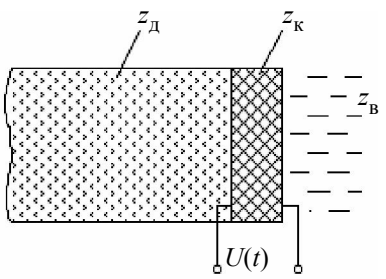


Рис. 1

Используя известную электрическую схему-аналог пьезокерамической пластины, для колебательной скорости на поверхности пластины, граничащей с водой, можно получить формулу

$$v = -\left(\frac{k_U U}{Z_к}\right) F(x),$$

где $F(x) = \dfrac{1 - \cos x - j\dfrac{z_д}{z_к}\sin x}{\left(\dfrac{z_д}{z_к} + \dfrac{z_в}{z_к}\right)\left(\cos x - \dfrac{\beta^2}{x}\sin x\right) + j\left[\left(1 + \dfrac{z_в z_д}{z_к^2}\right)\sin x - \dfrac{2\beta^2}{x}(1 - \cos x)\right]}$.

Здесь $k_U = e_{33}S/l$ – коэффициент электромеханической трансформации (e_{33} – пьезопостоянная, S – площадь поверхности пьезопластины, l – толщина пьезопластины); $x = \dfrac{\omega}{c_3^D} l$ – волновая толщина пьезопластины ($c_3^D = \sqrt{\dfrac{c_{33}^D}{\rho_к}}$ – скорость продольных волн в пьезоматериале); $Z_к = z_к S$ – полный механический импеданс пластины; $\beta^2 = \dfrac{e_{33}^2}{\varepsilon_0 \varepsilon_{33}^u c_{33}^D}$ – квадрат коэффициента электромеханической связи (ε_0 – электрическая постоянная, ε_{33}^u – диэлектрическая постоянная при постоянной деформации пьезоматериала, c_{33}^D – элемент матрицы жесткости пьезоматериала при постоянной электрической индукции).

Частотная характеристика колебательной скорости пьезопластины определяется функцией $F(x)$. Импульс возбуждающего электрического напряжения задается следующей формулой:

$$U(t) = \begin{cases} \sin \omega_0 t, \text{ если } 0 \le t \le \dfrac{nT_0}{2}, \\ 0, \text{ если } t \notin \left[0, \dfrac{nT_0}{2}\right], \end{cases}$$

где T_0 – период собственных колебаний пьезопластины; n – число полупериодов в импульсе.

В дальнейшем понадобятся следующие очевидные соотношения:

$$\omega_0 T_0 / 2 = \pi; \; e^{\pm jn\pi} = (-1)^n.$$

Найдем спектральную функцию возбуждающего электрического импульса. Для этого выполним прямое преобразование Фурье:

$$U(\omega)=\int_0^{\infty}U(t)e^{-j\omega t}dt=\int_0^{nT_0/2}\sin\omega_0 t\cdot e^{-j\omega t}dt=$$

$$=\frac{1}{\omega_0}\frac{1}{1-\gamma^2}e^{-j\gamma n\pi}\left(e^{\frac{j\gamma n\pi}{2}}-(-1)^n e^{-\frac{j\gamma n\pi}{2}}\right),$$

где $\gamma=\omega/\omega_0$ – относительная (безразмерная) частота. Заметим, что при выводе формулы для $U(\omega)$ опущены элементарные алгебраические преобразования.

В полученной формуле для спектральной плотности $U(\gamma)$ возможны 2 случая:

1) n – нечетное число.

Тогда $U(\gamma)=\frac{2}{\omega_0}\frac{1}{1-\gamma^2}\cos\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)e^{-j\gamma n\pi/2}$;

2) n – четное число.

Тогда $U(\gamma)=\frac{2}{\omega_0}\frac{1}{1-\gamma^2}\sin\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)e^{j\frac{\pi}{2}(1-n\gamma)}$.

В обоих случаях при $\gamma = 1$ (т. е. при $\omega=\omega_0$) в выражениях $\frac{\cos\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)}{1-\gamma^2}$ и $\frac{\sin\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)}{1-\gamma^2}$ получаем неопределенность вида $\frac{0}{0}$. Раскрывая неопределенность, находим, что

$$\left|\frac{\cos\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)}{1-\gamma^2}\right|_{\gamma=1}=\left|\frac{\sin\left(\gamma n\frac{\pi}{2}\right)}{1-\gamma^2}\right|_{\gamma=1}=\frac{n\pi}{4}.$$

Остановимся на вопросе о знаке этих выражений. При нечетном n вектор аргумента $\frac{n\pi}{2}$ может соответствовать углу $\frac{\pi}{2}$ либо углу $\frac{3\pi}{2}$. В первом случае получаем знак “+”, а во втором – знак “–”, т. е. при n = 1, 5, 9, 13, … имеем знак “+”, а при n = 3, 7, 11, 15, … имеем знак “–”.

При нечетном n вектор аргумента $\frac{n\pi}{2}$ может соответствовать углу π либо углу 2π. В первом случае получаем знак “+”, а во втором – знак “–”, т. е. при n = 2, 6, 10, 14, … имеем знак “+”, а при n = 4, 8, 12, 16, … имеем знак “–”.

В итоге:

если n = (1 or 2) + 4s, где s = 0, 1, 2, …, то знак “+”;

если n = (3 or 4) + 4s, где s = 0, 1, 2, …, то знак “–”.

Ведем также безразмерное время $T=\frac{t}{(T_0/2)}$ и учтем, что $x=\gamma\pi$. Выполняя обратное преобразование Фурье в новых безразмерных переменных, с точностью до постоянного сомножителя получим для колебательной скорости

$$v(T) = \mathrm{Re}\int_0^{\infty} F(\gamma\pi)U(\gamma)e^{j\gamma\pi T}d\gamma .$$

На основе приведенных формул была рассчитана форма акустических импульсов при различных значениях $z_д$ и различных длительностях $nT_0/2$ возбуждающих импульсов.

Перейдем к рассмотрению результатов расчета. Акустический сигнал, излучаемый рассматриваемой пьезопластиной, может быть охарактеризован двумя основными параметрами – длительностью и амплитудой. Как и в предшествующих работах, будем за длительность импульса принимать время, прошедшее от его начала до момента, когда амплитуда импульса снижается в 10 раз по отношению к максимальной амплитуде (критерий оценки длительности импульса по уровню –20 дБ). Введенное ранее безразмерное время позволяет оценивать длительность излучаемого акустического импульса $\tau_и$ числом полупериодов колебаний пластины на частоте ее антирезонанса.

Амплитуда акустического импульса	Число полупериодов колебаний *n*, содержащихся в импульсе возбуждающего электрического напряжения											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
v_{max}	5,1	9,7	13,7	17,2	20,1	22,6	24,4	25,5	26,2	26,6	26,4	26,0

Максимальную амплитуду сигнала v_{max} будем оценивать в условных (относительных) единицах, пропорциональных колебательной скорости в импульсе. Данное обстоятельство объясняется тем, что задача решалась с точностью до постоянного множителя. Результаты расчета, соответствующие варианту работы излучателя, при котором демпфер отсутствует, представлены в таблице. Они отражают изменение максимальной амплитуды v_{max} излучаемого сигнала в зависимости от параметра *n* (число полупериодов колебаний, содержащихся в импульсе электрического напряжения, которым возбуждается активный элемент излучателя). Можно видеть, что рост амплитуды сигнала наблюдается до значения $n \approx 10$. Далее амплитуда почти не изменяется. Для всех *n* из рассматриваемого диапазона длительность илучаемых акустических сигналов очень велика. Она превышает 20 полупериодов колебаний на частоте антирезонанса пластины ($\tau_и > 20$). Следует также отметить, что с ростом параметра *n* изменяется форма излучаемого акустического сигнала. Так, например, при малых *n* амплитуда излучаемого импульса очень быстро достигает максимального значения (при $n = 1$ это происходит уже на втором полупериоде колебаний; при $n = 2$ – на третьем и т. д.) Затем амплитуда импульса плавно снижается. С увеличением же параметра *n* наблюдается иное изменение формы импульса – сначала амплитуда сигнала плавно нарастает и достигает максимума, а затем так же плавно спадает. В качестве примера, иллюстрирующего данную тенденцию, приведен рис. 2, где изображены излучаемые акустические сигналы при $n = 1$ (рис. 2, *а*) и $n = 11$ (рис. 2, *б*). На рисунках по осям абсцисс отложено безразмерное время *T*, а по осям ординат – величина v_{max}, пропорциональная колебательной скорости в импульсе, излучаемом преобразователем.

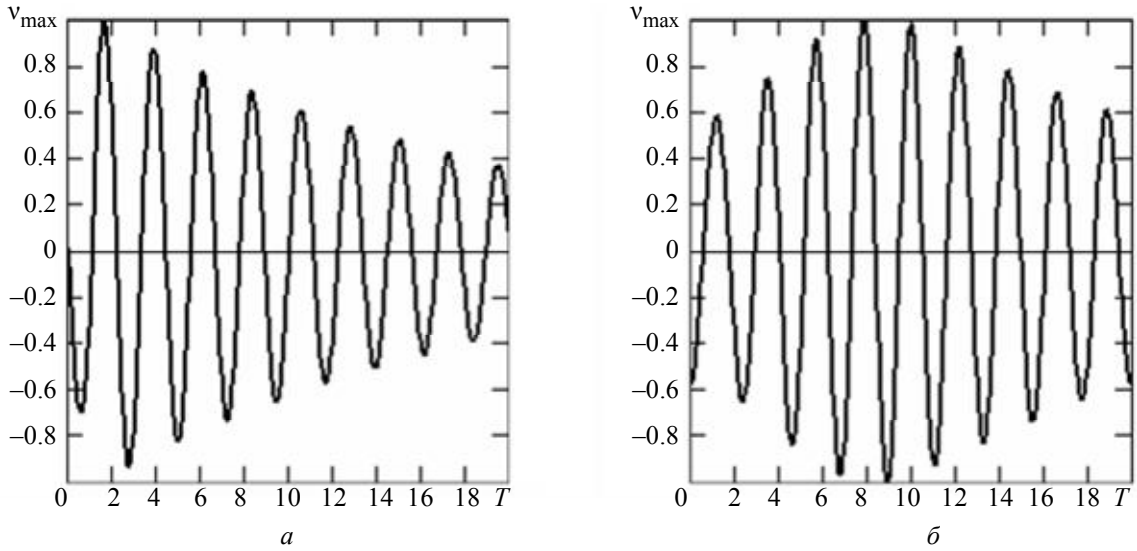


Рис. 2

На рис. 3 представлено семейство кривых, отражающих изменение максимальной амплитуды излучаемого акустического импульса v_{max} от изменения параметра n для различных степеней демпфирования пластины. На рисунке приняты следующие обозначения: кривая *1* соответствует $z_д = 2\cdot10^6$ Па·с/м; *2* – $z_д = 4\cdot10^6$ Па·с/м; *3* – $z_д = 6\cdot10^6$ Па·с/м; *4* – $z_д = 8\cdot10^6$ Па·с/м; *5* – $z_д = 10\cdot10^6$ Па·с/м; *6* – $z_д = 20\cdot10^6$ Па·с/м; *7* – $z_д = z_к \approx 30\cdot10^6$ Па·с/м. Видно, что все зависимости имеют сходный характер – при малых n наблюдается рост v_{max}, который по мере увеличения n замедляется. Начиная с некоторых значений n, рост v_{max} прекращается. Данное обстоятельство позволяет утверждать, что с момента прекращения возрастания кривой $v_{max}(n)$ излучатель начинает работать в режиме, близком к стационарному. Естественно, что значения параметра n, начиная с которых излучатель работает в этом режиме, зависят от степени демпфирования преобразователя. Так, при $z_д = 2\cdot10^6$ Па·с/м это значение составляет примерно $n = 9$; при $z_д = 4\cdot10^6$ Па·с/м оно снижается до $n = 8$; при $z_д = 6\cdot10^6$ Па·с/м значение этого параметра составляет $n = 7$; при $z_д = 8\cdot10^6$ Па·с/м можно считать, что $n = 6$. Степени демпфирования $z_д = 10\cdot10^6$ Па·с/м соответствует $n = 5$. Значения $z_д = (8–10)10^6$ Па·с/м представляют собой значительную степень демпфирования и являются вполне достаточными для успешной работы иммерсионных преобразователей. Дальнейшее увеличение $z_д$ требует применения специальных технологий и является весьма непростой задачей. Однако с целью демонстрации общих тенденций изменения зависимостей v_{max} (n) на рис. 3 представлены кривые *6* и *7*. Можно видеть, что при достижении $z_д = 20\cdot10^6$ Па·с/м (кривая *6*) переход к стационарному режиму возможен уже при $n = 3$, а при $z_д = 30\cdot10^6$ Па·с/м (кривая *7*) – при $n = 2$.

На рис. 4 показано семейство кривых, иллюстрирующих изменение длительности излучаемых акустических импульсов $\tau_и$ при изменении параметра n для различных степеней демпфирования пьезопластины $z_Д$. Нумерация кривых на рис. 4 сохранена той же, что и на рис. 3. Представленные данные свидетельствуют о сходстве общих закономерностей изменения рассматриваемых зависимостей для различных $z_Д$. В исследуемом интервале

значений $z_д$, лежащем в диапазоне от $z_д = 2 \cdot 10^6$ Па·с/м до $z_д = 30 \cdot 10^6$ Па·с/м, все представленные кривые имеют вид, близкий к прямой зависимости $\tau_и$ от параметра n. Можно видеть, что при $z_д = 2 \cdot 10^6$ Па·с/м и $n = 1$ (кривая *1*) длительность излучаемого акустического импульса составляет примерно $\tau_и \approx 19{,}5$ полупериодов колебаний на собственной частоте пластины. Увеличение числа полупериодов колебаний возбуждающего импульса в 2 раза (до $n = 2$) приводит к росту длительности излучаемого сигнала, которая начинает превышать 20 полупериодов ($\tau_0 > 20$). При $z_д = 4 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая *2*) длительность акустических импульсов при $n = 1$ составляет $\tau_и \approx 13$ и изменяется до $\tau_и = 20$ при $n = 8$. Аналогично ведут себя и другие кривые, соответствующие различным $z_д$. Как показал расчет, при равенстве значений удельных акустических сопротивлений демпфера и керамики, т. е. при $z_д = z_к \approx 30 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая *7*), длительность излучаемого акустического сигнала изменяется от $\tau_и \approx 2{,}5$ (при $n = 1$) до $\tau_и \approx 13{,}5$ (при $n = 12$).

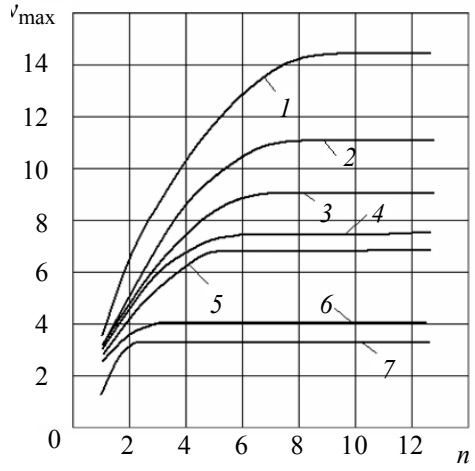


Рис. 3

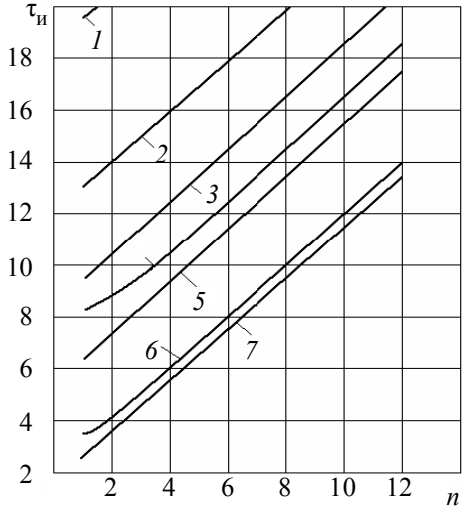


Рис. 4

Некоторый интерес может представить процесс изменения формы излучаемого акустического сигнала при $z_д$, отличных от нуля. С этой целью приведен рис. 5, на котором представлена динамика изменения формы импульса для случая довольно значительной степени демпфирования $z_д = 6 \cdot 10^6$ Па·с/м. Так, на рис. 5, *а* показана форма сигнала для случая $n = 1$. Видно, что сигнал уже на втором полупериоде достигает максимального значения, после чего начинается затухание колебаний. Увеличение n до значения $n = 5$ (рис. 5, *б*) приводит к тому, что импульс достигает максимального значения на пятом полупериоде колебаний и становится значительно более симметричным. Дальнейшее увеличение параметра n до $n = 9$ (рис. 5, *в*) влечет за собой изменение формы сигнала до такой степени, что можно наблюдать 2 одинаковых по максимальной амплитуде полупериода колебаний (шестой и восьмой). Это свидетельствует о достижении условий, при которых преобразователь начинает работу в стационарном режиме. Далее наблюдается спад сигнала. Указанная тенденция изменения импульса еще более ярко проявляется при $n = 12$ (рис. 5, *д*). Здесь можно говорить о симметричном импульсе, который имеет одинаковые по значению максимальные амплитуды на шестом, седьмом, восьмом и девятом полупериодах колебаний.

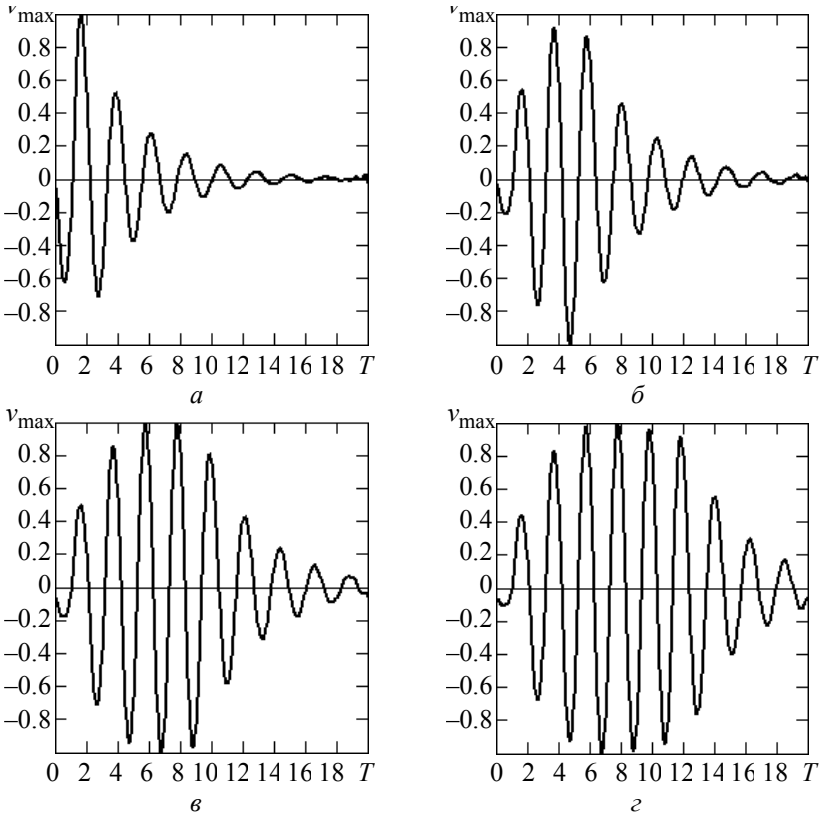


Рис. 5

Таким образом, на основе численно-теоретического исследования изучен импульсный режим работы демпфированной пьезопластины, нагруженной на воду, при возбуждении ее электрическим напряжением в виде импульса, содержащего различное число полупериодов колебаний на собственной частоте пластины. Исследованы основные закономерности изменения длительностей и амплитуд излучаемых акустических сигналов, получены их оценки. Прослежена динамика изменения формы акустических импульсов в зависимости от числа полупериодов, содержащихся в электрическом возбуждающем импульсе, и степени демпфирования преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование возможности излучения и приема коротких импульсов при использовании механического демпфирования или согласующих слоев // Дефектоскопия. 1998. № 8. С. 3–12.

2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние демпфера и контактного слоя на длительность акустического импульса, излучаемого в твердую среду // Дефектоскопия. 2004. № 5. С. 3–8.

3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние демпфера на длительность акустического импульса, излучаемого многослойным преобразователем в твердую среду // Дефектоскопия. 2005. № 7. С. 39–45.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

EFFECT OF EXCITING ELECTRIC PULSE DURATION ON AMPLITUDE AND DURATION OF AN ACOUSTIC PULSE EMITTED BY A RADIATOR

A radiator in the form of a damped piezoceramic plate loaded on a liquid medium (water) is considered. The radiator is excited by electric voltage at the antiresonant frequency ω_0 of the plate. By means of numerical method pulsed mode of operation of the transducer was investigated for various durations of exciting pulses in the range from one half-wave of sinusoidal voltage to twelve half-wave of sinusoidal voltage at the frequency ω_0. For a radiator damped to a variable extent, the dependences of durations and amplitudes of emitted acoustic signals on durations of exciting pulses are obtained. Dynamics of changing the form of an acoustic pulse at the output of the transducer is investigated in detail depending on duration of the exciting electric signal.

Electric pulse, acoustic pulse, piezoceramic plate, damper

УДК 744.4

В. П. Большаков, А. В. Чагина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ПРЕДМЕТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Представлены примеры тестов на соответствие изображений и элементов, подлежащих выбору. Показаны возможности повышения интеллектуальной нагрузки тестов и охвата фрагментов проверяемого материала. Рассмотрен пример тестирования начальных умений по твердотельному моделированию деталей.

Тест, изображение, знания, умения, твердотельное моделирование, инженерная графика

Подавляющее большинство тестов, используемых на разных ступенях обучения, не содержат изображений – объектов для представления информации в процессе визуальной коммуникации. Однако существуют дисциплины (или разделы), в которых изображения являются основным объектом изучения. Очевидно, что при создании тестов знаний, умений и компетенций в рамках этих дисциплин необходимо рационально использовать графику, в том числе для повышения эффективности тестирования.

1. На рис. 1 показана карта для тестирования знания правил изображений предметов на чертежах (ГОСТ 2.305–68) и аксонометрических проекций (ГОСТ 2.317–69).

В начальной редакции карт тестирования предлагалось по каждому вопросу выбрать один правильный ответ. Увеличение множества элементов, подлежащих выбору (за исключением вопроса 4), позволило уменьшить вероятность простого угадывания единственного правильного ответа, а также расширить охват проверяемого материла при использовании одной карты тестирования.

2. На рис. 2 представлен результат тестирования знания правил нанесения размеров (ГОСТ 2.307–68). Исходные данные для тестирования включают изображение плоской детали без размеров и таблицу с незаполненной нижней строкой.

Многолетний опыт использования тестов по рассматриваемой теме выявил необходимость повторного тестирования для значительной части испытуемых. Для более качественного изучения материала перед повторным тестированием студентам предоставлялась возможность нанести размеры, используя информацию о количестве размеров из нижней строки таблицы на рис. 2.

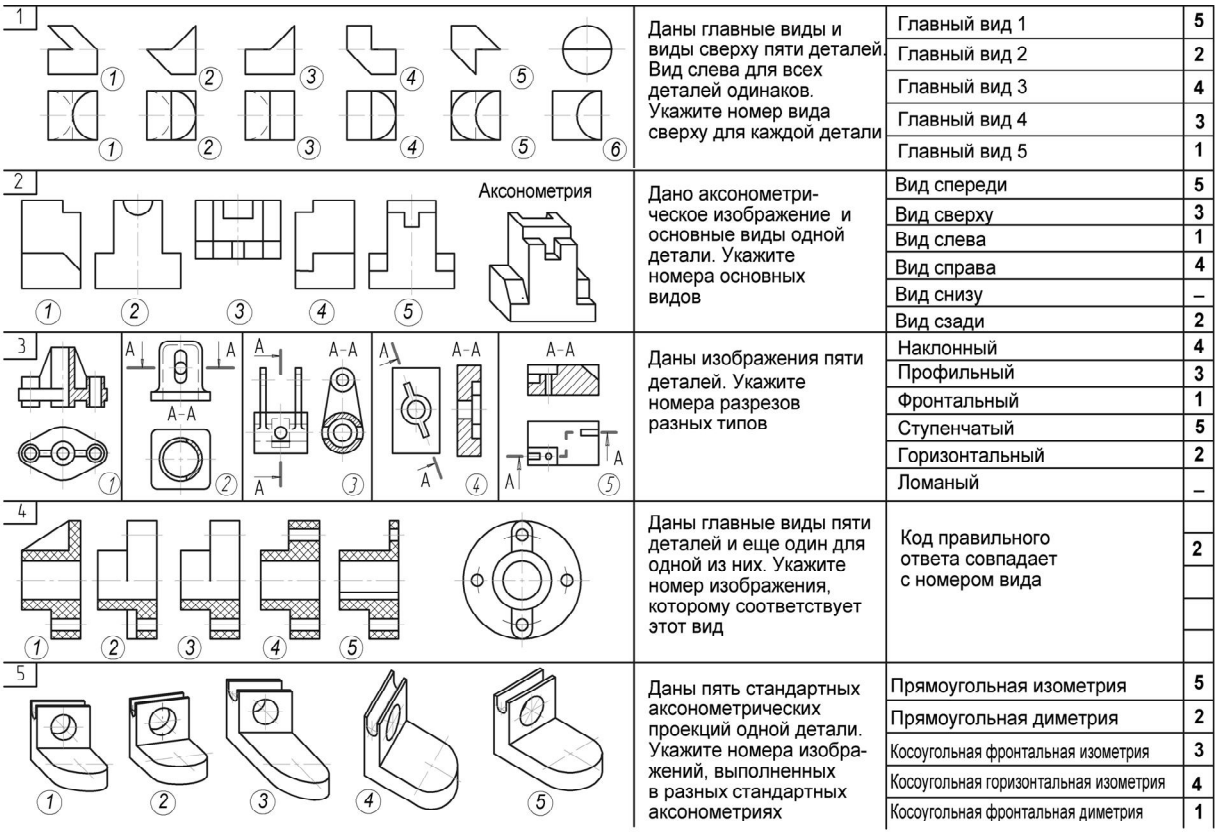
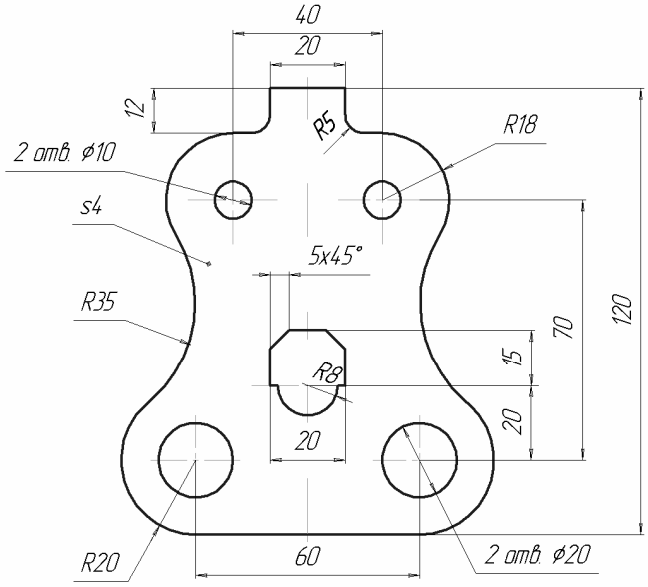


Рис. 1

Нанесение размеров Карта 31



В таблице укажите, какие размеры и в каком количестве необходимо нанести на чертеже плоской детали

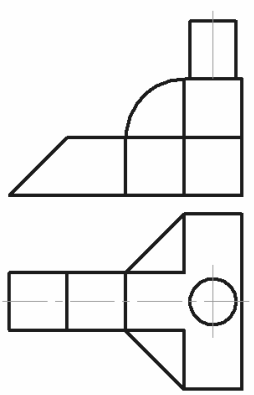
Горизонтальные	Вертикальные	Диаметральные	Радиальные	Фасок	Всего размеров
4	5	2	5	1	18

Рис. 2

3. На рис. 3 показана карта тестирования по теме «Чтение чертежа». В рамках теста необходимо по трем проекциям представить форму плоских и пространственных граней, образующих наружную поверхность изображенного объекта. Данный тест устанавливает уровень формирования интеллектуальных навыков восприятия геометрии и формы пространственных объектов. Для значительной части испытуемых, как и в предыдущем случае, требуется повторное тестирование.

4. В последние годы роль трехмерных систем автоматизированного проектирования в решении задач интенсификации процесса разработки и выпуска новых изделий существенно возросла. В отдельные общеобразовательные и специальные курсы включены вопросы твердотельного моделирования изделий [1], [2]. Успешное решение задач твердотельного моделирования основывается на компетенциях, связанных со способностями к анализу и синтезу, и требует от пользователя высокого уровня интеллектуальных умений по обработке графической информации.

Чтение чертежа — Вариант 31



Задание

Укажите в таблице количество плоских и пространственых элементарных и составных фигур, образующих поверхность изображенного объекта

№ вопроса	Наименование фигуры	Ответ
1	Квадрат	
2	Прямоугольник	
3	Треугольник	
4	Трапеция	
5	Круг	
6	Сектор	
7	Цилиндрическая поверхность	
8	Составная плоская	
9	Составная пространственная	

Рис. 3

Исходные данные для тестирования по теме с условным названием «Расположение видов» представлены в табл. 1 и 2. Испытуемым предлагается, используя представленный набор изображений (табл. 1), расположить для указанных видов спереди в соответствующих местах табл. 2 номера видов сверху и спереди.

5. Отличительной особенностью процедур создания твердотельных моделей является их многовариантность. С другой стороны, многочисленные исследования показывают, что при создании пространственных образов и оперирования ими учащиеся, конструкторы, проектировщики проявляют стойкие индивидуальные различия. Таким образом, трехмерный графический редактор становится универсальным инструментом для реализации различных сценариев построения моделей, и эти сценарии выбираются с учетом индивидуальных восприятий пространственных образов.

Однако многолетний опыт преподавания основ твердотельного моделирования показывает, что сценарии построения моделей у начинающих пользователей очень далеки от оптимальных, о чем легко судить по формируемым деревьям моделей. Дерево модели — это графическое представление набора объектов, составляющих модель изделия [1]. Мож-

но утверждать, что дерево модели – удобное средство контроля рациональности подхода к созданию модели.

Таблица 1

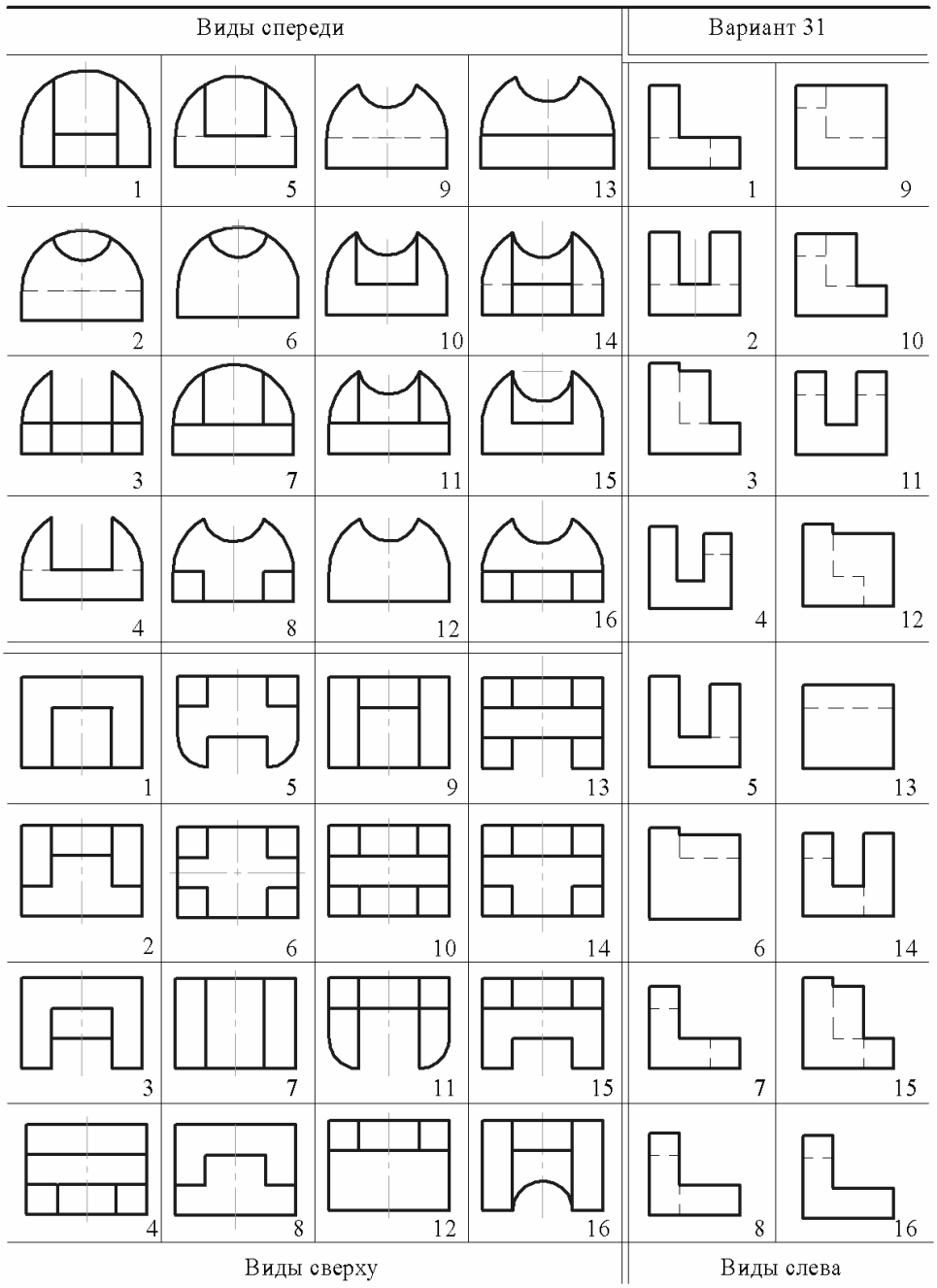


Таблица 2

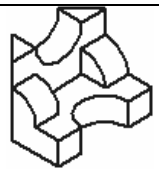
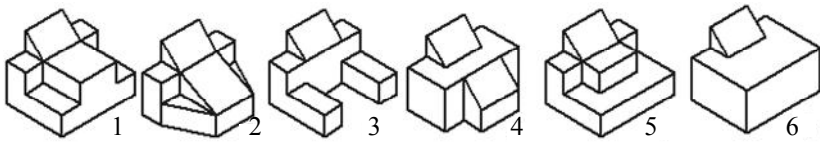
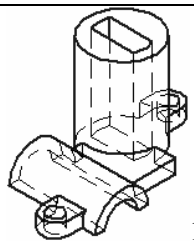
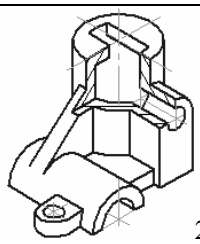
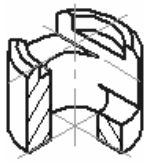
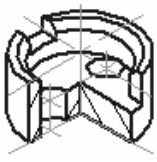
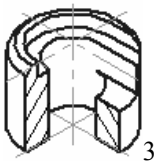
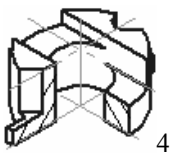
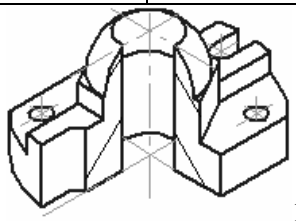
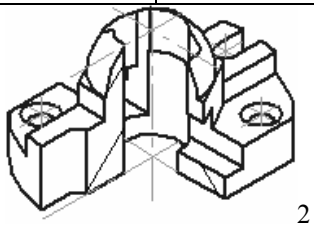
Виды														
спереди	сверху	сверху	спереди	сверху	сверху	спереди	сверху	сверху	спереди	сверху	сверху	спереди	сверху	сверху
1			4			7			10			13		

Один из важных аспектов рациональности построения модели связан с минимизацией объектов модели, то есть с минимизацией количества формообразующих операций, необхо-

димых для создания модели. Указанная минимизация требует от учащихся дополнительных интеллектуальных усилий, поэтому далеко не все самостоятельно стремятся к оптимизации процедур твердотельного моделирования даже при создании простых моделей. Следует заметить, что и не все преподаватели учат студентов создавать модели рационально.

В учебное пособие [1] включены 10 вариантов карт тестирования начальных умений по твердотельному моделированию в системе КОМПАС-3D, а в учебный курс [2] – 5 вариантов, ориентированных на моделирование в пяти наиболее распространенных в сфере высшего технического образования CAD-систем (Computer Aided Design – конструирование, поддержанное компьютером). В табл. 3 показан один из вариантов карты тестирования по теме «Построение твердотельных моделей деталей».

Таблица 3

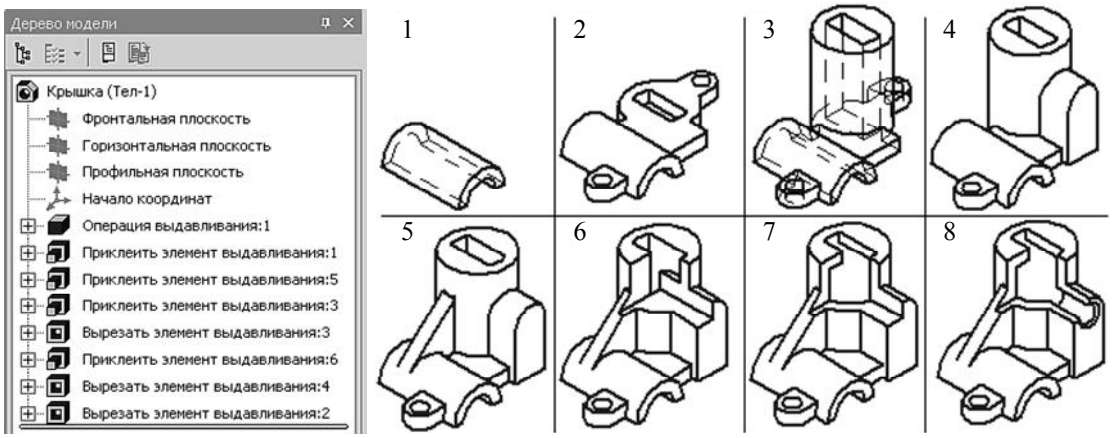
Тест. Построение твердотельных моделей деталей	**Вариант 31**
	31.1. Укажите минимальное количество формообразующих операций, необходимых для создания модели показанной детали
	31.2. Укажите номера деталей, для создания трехмерных моделей которых необходимо и достаточно двух формообразующих операций
 	31.3. Какое минимальное количество формообразующих операций необходимо для преобразования модели 1 в модель 2? Операцию выреза четверти не учитывать
   	31.4. Укажите номера деталей, для создания моделей которых необходимо более двух формообразующих операций. Операцию *Сечение по эскизу* не учитывать
 	31.5. Укажите минимальное количество формообразующих операций, необходимых для создания трехмерной модели детали 1 и детали 2. Операцию *Сечение по эскизу* не учитывать

По вопросу 1 требуется указать минимальное количество формообразующих операций, необходимых для создания показанной детали. В зависимости от варианта, для создания модели достаточно от 4 до 6 формообразующих операций.

Вопросы теста 2 и 4 требуют анализа формы простых моделей, для создания которых достаточно, как правило, не более 3 формообразующих операций.

Вопросы 3 и 5 иллюстрируются изображениями более сложных моделей. Для правильных ответов на поставленные вопросы целесообразно представить дерево модели каждой детали.

На рис. 4, *а* показано дерево модели детали к вопросу 3, *а*, а на рис. 4, *б* раскрыты этапы построения детали крышка.



а *б*

Рис. 4

6. Рассмотренные тесты используются в рамках дисциплины «Инженерная и компьютерная графика». Тестовые материалы были реализованы и в среде системы IBM Workplace Collaborative Learning Authoring Tool. Пробное тестирование не выявило преимуществ использования дорогостоящего программного обеспечения дистанционного обучения в сравнении с тестированием с применением в аудитории напечатанных карт.

В настоящее время наиболее востребованной является методика, когда тестирование для большинства испытуемых проводится в два этапа. На первом этапе после получения отрицательных ответов по большинству вопросов первой карты тестирования обсуждаются ошибки и испытуемому предоставляются попытки сделать осмысленный выбор правильных вопросов. На втором этапе испытуемый получает вторую карту тестирования и по полученным ответам определяется окончательный результат тестирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 496 с.

2. Большаков В. П., Бочков А. Л., Сергеев А. А. 3-D моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: Учебный курс (+DVD). СПб.: Питер, 2011. 336 с.

V. P. Bolshakov, A. V. Chagina

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF TESTS FOR COMPLIANCE WITH IMAGES

The tests for compliance with images and elements are presented as the examples. The occasions of upgrading a test's intellectual load as well as increasing a volume of checking matters are shown. An example of testing the initial skills of solid modeling is described.

Test, image, knowledge, skills, solid modeling, engineering graphics

УДК 338

М. В. Чигирь

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ (УНИВЕРСИТЕТА)

Рассматриваются основные аспекты экономической безопасности вуза, формы проявления угроз и необходимость применения мониторинга экономической безопасности для университета.

Экономическая безопасность образовательного учреждения, мониторинг экономической безопасности, система показателей экономической безопасности вуза, оценка состояния экономической безопасности университета

Университет является одним из видов высших учебных заведений, которое реализует образовательные программы высшего и послевузовского профессионального образования по широкому спектру направлений подготовки (специальностей); осуществляет подготовку, переподготовку и (или) повышение квалификации работников высшей квалификации, научных и научно-педагогических работников; выполняет фундаментальные и прикладные научные исследования по широкому спектру наук; является ведущим научным и методическим центром в областях своей деятельности.

Высшим учебным заведением является образовательное учреждение, учрежденное и действующее на основании законодательства Российской Федерации об образовании, имеющее статус юридического лица и реализующее в соответствии с лицензией образовательные программы высшего профессионального образования [1].

Современные условия функционирования и развития университетов характеризуются степенью нестабильности, существенно превышающей 3,5 балла по шкале И. Ансоффа, что требует сосредоточения внимания высшего руководства на обеспечение экономической безопасности университета [2].

Под экономической безопасностью предприятия (хозяйствующего субъекта) понимается защищенность научно-технического, производственного и кадрового потенциала от прямых (активных) и (или) косвенных (пассивных) экономических угроз (рисков), связанных с неэффективной научно-экономической политикой государства (региона) и (или) неблагоприятной внешней средой, и способность к его воспроизводству.

Оценка экономической безопасности как стабилизирующего фактора антикризисного развития важна как для организаций (предприятий) производственной сферы, так и для образовательных учреждений, относящихся к сфере услуг. Обеспечение экономической безопасности является гарантом их экономического роста и поддержания финансовой независимости также в связи с ростом численности автономных учреждений в сфере образования.

В условиях незначительной нестабильности, обеспечивающей устойчивое функционирование университета, главное внимание руководства образовательного учреждения направлено на обеспечение качества образовательного процесса и его результата. Поддержание нормального ритма образовательного процесса, обеспечение подготовки квалифицированных, востребованных рынком выпускников, на предотвращение материального и (или) финансового ущерба, на недопущение несанкционированного доступа к служебной информации и разрушения компьютерных баз данных, на противодействие недобросовестной конкуренции и криминальным внешним и внутренним проявлениям.

В кризисные периоды развития наибольшую опасность для образовательного учреждения, как впрочем и для предприятия производственной сферы, представляет разрушение его потенциала: образовательного, научного, интеллектуального, материально-технического, кадрового, как главного фактора его функционирования и развития.

Неэффективное использование, а тем более разрушение имеющегося потенциала образовательного учреждения представляют угрозу экономическим, материальным основам жизнедеятельности его коллектива и общества, в интересах которого оно создавалось и функционировало.

Сегодня из-за несовершенства нормативно-правовой базы, перманентного состояния модернизации образования, недостатка высококвалифицированных кадров, высокой степени изношенности материально-технической базы, негибких финансовой и налоговой политик, проводимых государством, демографических спадов и низкой платежеспособности населения, образовательные учреждения прилагают огромные усилия для обеспечения выживания, начинают по новому относиться к защищенности имеющегося у них потенциала, к необходимости проведения постоянного анализа внешних и внутренних угроз.

Экономическая безопасность образовательного учреждения, под которой понимается экономическая защищенность вуза и интересов его работников от внешних и внутренних угроз, влияния деструктивных факторов, позволяющая сохранить и эффективно использовать для исполнения стратегической миссии имеющийся экономический потенциал предполагает [3]:

– высокую финансовую эффективность, независимость и устойчивость его деятельности;

– развитость и конкурентоспособность научно-образовательной базы;

– высокий уровень организации управления образовательным учреждением;

– эффективное управление персоналом, включая соответствующий требованиям кадровый отбор на входе и постоянный мониторинг кадровой компетентности;

– обеспечение соответствия не только образовательным, научным, но и экологическим, стандартам здравоохранения и пр.;

– эффективный механизм правового регулирования всех направлений деятельности образовательного учреждения;

– обеспечение информационной безопасности работы учреждения;

– гарантии безопасности работников учреждения, а также сохранности их имущества, интеллектуальной собственности и профессиональных интересов.

Анализ экономической безопасности осуществляется по четырем уровням среды, представленным на рис. 1:

- микросреда – внутренняя среда вуза;
- мезосреда – среда непосредственного окружения (региональное окружение);
- макросреда – среда косвенного окружения (национальная среда);
- мегасреда – среда большой масштабности (мировая среда).

Рис. 1

Экономическая безопасность вуза зависит от многих факторов, три из которых – материально-техническое обеспечение вуза; кадровый потенциал и экономическая безопасность личности в пределах вуза; организационно-экономический механизм управления вузом и финансовыми потоками – являются приоритетными и могут быть представлены в формализованном виде:

$$ЭБ_{в} = f\,(ФП;\ ЭБ_{Л};\ УР),$$

где $ЭБ_{в}$ – экономическая безопасность вуза; ФП – финансовые потоки, проходящие через вуз; $ЭБ_{Л}$ – экономическая безопасность личности; УР – управленческие решения.

Качество образования как сбалансированное соответствие совокупности свойств и характеристик образовательного процесса, его результатов и всей системы образования установленным потребностям, целям, требованиям и нормам (стандартам), которые определяются отдельными гражданами, предприятиями и организациями, обществом и государством в целом, является функцией трех составляющих:

$КО = f\,(К_{ВС};\ К_{НС};\ К_{ИТ}),$

где КО – качество образования выпускника образовательного учреждения высшего профессионального образования (университета); $К_{ВС}$ – качество внутренней среды вуза (образовательного процесса) – системы образования, которая предлагается обучающемуся, где он пребывает определенное время; $К_{НС}$ – качество внешней по отношению к вузу среды, где пребывает обучающийся, и влияющей на качество его образования; $К_{ИТ}$ – качество интеллектуального труда обучающегося и преподавателя.

Качество внутренней среды можно охарактеризовать при помощи совокупности показателей, отражающих деятельность вуза, частично используемых при аккредитации университета. Качество внешней среды можно представить в виде многоуровневой факторной модели. Качество интеллектуального труда можно оценить с помощью методов рейтинговой оценки студентов и профессорско-преподавательского состава (ППС).

Оценка экономической безопасности образовательного учреждения и комплекс необходимых мероприятий по предупреждению и ликвидации различного рода опасностей, выявленный на основе оценки, требуют:

– разработки точной идентификации угроз, соответствующих их масштабу и характеру для образовательных учреждений в целом и конкретного вуза в частности;

– правильного выбора измерителей их состояния и проявления;

– формирования системы показателей (индикаторов) для мониторинга.

Формы проявления угроз экономической безопасности образовательных учреждений различных регионов, несмотря на общность действия дестабилизирующих факторов в условиях единого экономического пространства, имеют отличия, вызванные множеством факторов [4].

Одной из целей мониторинга экономической безопасности университета является оценка его состояния на основе системы показателей, учитывающих особенности, характерные для данного региона направлений подготовки (специальностей) выпускников, имеющих важное (стратегическое) значение.

Система количественных и качественных показателей экономической безопасности университета, по мнению автора настоящей статьи, включает три группы индикаторов, отражающих эффективность, затратность и социальные аспекты образовательного процесса. В данном случае предлагаем применять следующую декомпозицию каждой из трех групп индикаторов.

1. *Индикаторы эффективности образовательного процесса*:

– динамика (рост, спад, стабильное состояние, темп изменения);

– реальный уровень использования материально-технической базы и кадрового потенциала;

– доля научно-исследовательских работ (НИР) в общем ресурсном объеме университета;

– темп обновления (модернизации) основных образовательных программ (ООП) и их результативность;

– стабильность научно-образовательного процесса (ритмичность, уровень загруженности в течение определенного времени);

– доля выпускников университета по реализуемым ООП в общем количестве выпускников по аналогичным ООП в регионе (характеристика степени монополизации ООП);

– оценка конкурентоспособности выпускников;

– степень износа и обновления материально-технических ресурсов (оборудования), используемого в образовательном и научном процессах.

2. *Финансовые индикаторы*:

– объем «портфеля» заказов на подготовку специалистов по лицензированным ООП вуза;

– фактический и необходимый объем финансовых ресурсов и инвестиций (для поддержания и развития имеющегося потенциала);

– доля обеспеченности собственными источниками финансирования оборотных средств, материалов, энергоносителей для обеспечения деятельности образовательного учреждения;

– уровень инновационной активности (объем инвестиций в нововведения).

3. *Социальные индикаторы*:

– уровень оплаты труда ППС по отношению к среднему показателю в образовательных учреждениях региона или экономики страны;

– уровень задолженности по зарплате;

– эффективность использования рабочего времени ППС университета;

– структура кадрового потенциала (возрастная, квалификационная).

Каждая из приведенных групп индикаторов подлежит детальному анализу для системы образования в целом и для конкретного вуза (университета) в частности. В процессе анализа уточняется их перечень и выявляются отклонения от пороговых значений индикаторов, в качестве которых могут выступать аккредитационные и лицензионные показатели.

При достаточной проработанности системы индикаторов экономической безопасности образовательного учреждения их применение позволит оценивать состояние экономической безопасности университета, которое может быть признано как:

а) *нормальное*, когда индикаторы экономической безопасности находятся в пределах пороговых значений, а степень использования имеющегося потенциала близка к технически обоснованным нормативам загрузки научно-технических и преподавательских ресурсов, оборудования и площадей;

б) *предкризисное*, когда переступается барьерное значение хотя бы одного из индикаторов экономической безопасности, а другие приблизились к некоторой окрестности своих барьерных значений, и при этом не были утрачены базовые технические, технологические, кадровые возможности улучшения условий и результатов деятельности образовательного учреждения путем принятия к угрозам мер предупредительного характера;

в) *кризисное*, когда переступается барьерное значение большинства основных (по мнению экспертов) индикаторов экономической безопасности и появляются признаки необратимости и распада образовательного процесса и частичной утраты потенциала вследствие исчерпания базового ресурса (научно- и материально-технического, кадрового сокращения персонала);

г) *критическое*, когда нарушаются все (или почти все) барьеры, отделяющие нормальное и кризисное состояния развития учреждения, а частичная утрата потенциала становится неизбежной и неотвратимой.

Наиболее высокий уровень экономической безопасности образовательного учреждения обеспечивается максимальной защитой функциональных составляющих его деятельности: финансовой, научно-технической, политико-правовой, информационной, экологической, силовой.

Рис. 2

Основные цели мониторинга экономической безопасности образовательного учреждения (рис. 2):

– оценка состояния и динамики развития образовательного учреждения;

– выявление деструктивных тенденций и процессов развития потенциала образовательного учреждения;

– определение причин, источников, характера, интенсивности воздействия угрожающих факторов на потенциал;

– прогнозирование последствий действия угрожающих факторов как на потенциал образовательного учреждения, так и на различные сферы его деятельности;

– системно-аналитическое изучение сложившейся ситуации и тенденций ее развития, разработка целевых мероприятий по парированию угроз образовательному учреждению.

Мониторинг должен являться результатом взаимодействия всех заинтересованных отделов и служб образовательного учреждения. При осуществлении мониторинга следует руководствоваться принципом непрерывности наблюдения за состоянием объекта мониторинга с учетом фактического состояния и тенденций развития его потенциала, а также общего развития экономики, политической обстановки и действия других общесистемных факторов.

Для проведения мониторинга необходимо разработать соответствующее методическое, организационное, информационное, техническое обеспечение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный Закон «О высшем и послевузовском образовании» № 125-ФЗ от 22 августа 1996 г. www.garant.ru (ГАРАНТ – Информационно-правовой портал).

2. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. СПб.: Питер Ком, 1999.

3. Кельчевская Н. Р. Оценка экономической устойчивости государственного вуза // Университетское управление: практика и анализ. 2002. № 4 (23). С. 5–23.

4. Демидов С. Р. Теоретико-методологические основы и механизм обеспечения экономической безопасности высшего учебного заведения: Автореф. дис. … д-ра экон. наук / ВГНА Минфина России. М., 2007.

M. V. Chigir

CONCEPT OF ECONOMIC SECURITY HIGH SCHOOL (UNIVERSITY)

The article examines the main aspects of the economic security of the institution, forms of threats and the need for monitoring of economic security for the university.

The economic security of the educational institution, monitoring of economic security-particular, a system of indicators of economic security of the institution, assessment of the economic security of the university

УДК 65.0

И. В. Павловская

ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ РАНЖИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены существующие подходы к проблеме анализа ранжирующих измерительных систем. Обоснована необходимость разработки и предложена структура модели, метода анализа и методики управления ранжирующими измерительными системами.

Анализ ранжирующих измерительных систем

Проблема анализа измерительных систем является актуальной в промышленной среде, что вызвано как внутренними, так и внешними факторами. Среди внутренних можно выделить такие, как потребность специалистов в получении качественных данных для анализа; необходимость иметь доверие к результатам измерений, используемым для принятия важных управленческих решений. К внешним факторам относится рост заинтересованности потребителей в пригодности производственных процессов своих поставщиков и, в том числе, в пригодности измерительных систем, используемых в этих процессах. Рост интереса к проблеме вызван также внесением требований по анализу измерительных систем в некоторые отраслевые стандарты на системы менеджмента качества (например, международный стандарт на СМК в автомобилестроительной промышленности ISO/TS 16949 и его российский аналог ГОСТ Р 51814.1–2004).

Традиционно считается, что основную неопределенность в измерения вносят *средства измерений.* Однако существуют и другие факторы, влияющие на результат измерений: контролеры, проводящие измерения, методы измерений, условия окружающей среды и т. д. Влияние всех перечисленных факторов учитывается в понятии *измерительная система* (ИС), поэтому целесообразнее использовать его при анализе неопределенности измерений.

Измерительные системы используются для получения данных, анализ которых применяется для принятия управленческих решений в отношении продукции или процессов. Неопределенность, существующая в любых, сколь угодно точных измерениях, может приводить к принятию ошибочных решений, таких как *ошибка первого рода* («риск производителя») и *ошибка второго рода* («риск потребителя»). Основной целью анализа измерительных систем является выявление и минимизация риска принятия ошибочных решений. Для достижения указанной цели решаются задачи изучения ИС, определения их пригодности, выявления различных типов изменчивости и устранения их причин.

Большой вклад в разработку методов анализа измерительных систем внесла некоммерческая организация AIAG (Automotive Industry Action Group), состоящая из крупнейших представителей мировой автомобильной промышленности. После издания этой организацией ссылочного руководства MSA (Анализ измерительных систем) к стандарту

ISO/TS 16949 область применения разработанных ими методов вышла далеко за рамки автомобильной промышленности.

Методы анализа ИС, разработанные AIAG, являются общепризнанными в мировом сообществе, однако на практике производители часто сталкиваются со специфическими измерительными системами, к анализу которых данные методы подходят лишь частично или не подходят совсем. Среди таких измерительных систем можно выделить деструктивные, динамические или ранжирующие ИС.

Ранжирующие измерительные системы (РИС) – это класс измерительных систем, для которых результат измерения величины попадает в одну из категорий (число категорий конечно). Это отличает их от измерительных систем, которые выдают результаты в виде количественных переменных. Такие ИС могут выдавать только два возможных результата («да – нет», «годен – негоден») или классифицировать результат на пять-семь категорий (очень хороший, хороший, удовлетворительный, плохой, очень плохой) [см. лит., с. 125].

Ранжирующие измерительные системы используются в тех случаях, когда процессы и продукция требуют контроля, не связанного с численными измерениями. Такой контроль применяется при определении характеристик, не поддающихся численному измерению (качественных, альтернативных), или если для таких измерений требуется дорогостоящее оборудование. Использование РИС актуально для множества промышленных отраслей, но в особенности для тех, где важные для потребителя характеристики качества продукции являются альтернативными: парфюмерно-косметическая, пищевая, текстильная и др. Такими характеристиками могут быть внешний вид упаковки, который должен быть «красивым» (не иметь царапин, грязи, отсутствующих элементов, деформаций, «гуляющего» от продукта к продукту цвета или местоположения этикетки, и т. д.), запах, простота использования продукта и т. д.

Наиболее распространенными типами РИС являются:

– контролеры, принимающие решение о продукции или процессе;

– автоматические РИС – датчики, фотоэлементы, калибры, встраиваемые в производственный процесс для контроля продукции или процесса по одному или нескольким параметрам.

При определении стандарта и при измерении (для первого типа) РИС полагаются на субъективные человеческие суждения о том, что такое хорошо и что такое плохо в отношении к продукции и процессам. Субъективность может являться причиной изменчивости в РИС наряду с мотивацией персонала, ясностью инструкций, указаниями руководства, физиологическими возможностями персонала, эргономическими характеристиками рабочего места и т. д. Перечисленные причины вносят неопределенность в результат измерений, что может сказаться на качестве данных и ввести в заблуждение относительно истинного состояния измеряемых характеристик. Проведение анализа РИС носит не меньшую важность, чем для количественных ИС. Однако из-за отсутствия в РИС традиционных измерительных приборов они не всегда расцениваются специалистами как измерительная система. Поэтому они очень редко попадают в существующие на предприятиях планы управления измерительными системами (планы калибровки, поверки, технического обслуживания и т. д.). Среди специалистов также отсутствует единое понимание того, какие типы изменчивости присутствуют в РИС и какие причины могут их вызывать.

В связи с этим возникает необходимость разработки *модели РИС*, которая однозначно определит:

– составляющие компоненты РИС;

– возможные типы изменчивости РИС;

– влияние компонентов РИС на возможные типы изменчивости.

Данная модель позволит специалистам определять, относится ли измерительная система к типу ранжирующих, поможет в изучении РИС, а связка компонентов РИС с типами изменчивости упростит поиск причины обнаруженной изменчивости.

Изучение измерительных систем тесно связано с математическими методами, применяемыми для определения количественной величины пригодности и различных типов изменчивости ИС. В руководстве MSA приведены несколько методов для анализа РИС. Проведенный анализ этих методов показал, что ни один из них не может быть использован самостоятельно, потому что они выявляют только некоторые типы изменчивости, используются не для всех типов РИС и не применимы во многих производственных ситуациях. Однако для анализа количественных ИС также не существует единого метода, который мог бы использоваться во всех ситуациях, вследствие чего предлагается использовать совокупность методов. Поэтому методы из руководства MSA были проанализированы как совокупность на полноту и универсальность применения при анализе РИС. Для проведения анализа были сформулированы требования к совокупности методов.

1. *Требования к области применения.* Совокупность методов должна позволять проводить исследование обоих типов РИС.

2. *Требования к выявляемым характеристикам.* Специфика ранжирующих измерительных систем не позволяет анализировать все те же типы изменчивости, что и для количественных измерительных систем, однако необходимо быть уверенными в том, что основные требования, предъявляемые к измерительным системам, удовлетворены. Исходя из этого можно сделать вывод, что совокупность методов должна позволять оценить:

– чувствительность;

– изменчивость по сравнению с границами допуска (при измерении продукции) или по сравнению с изменчивостью процесса (при измерении процесса);

– возможность ИС (складывающуюся из смещения, сходимости и воспроизводимости);

– стабильность РИС.

3. *Дополнительные требования*, вызванные спецификой РИС и измеряемых ими характеристик:

– совокупность методов должна применяться при неизвестном опорном значении измеряемой части, так как выявление данного опорного значения не всегда представляется возможным для альтернативных характеристик;

– применение при невозможности проведения повторных испытаний, так как автоматические РИС часто бывают представлены измерительными системами, встроенными в производственный поток и проводящими измерения в рабочем режиме, что не позволяет проводить повторные измерения одной и той же части.

Результаты анализа совокупности методов анализа РИС, приведенной в руководстве MSA, на соответствие выдвинутым требованиям представлены в таблице.

Требования к совокупности методов	КПК*	Таблица сопряженности	Теория обнаружения сигнала
Применяется для анализа контролеров	+	+	+
Применяется для анализа автоматических РИС	–	–	–
Позволяет оценить чувствительность	–	–	–
Позволяет оценить изменчивость по сравнению с границами допуска	–	–	–
Позволяет оценить смещение	+	–	–
Позволяет оценить сходимость и воспроизводимость РИС	+	+	+
Позволяет оценить стабильность РИС	–	–	–
Применяется при неизвестном опорном значении части	–	+	–
Применяется при невозможности проведения повторных испытаний	–	–	–

*Кривая пригодности калибра.

Данный анализ показал, что для универсального применения при анализе РИС данная совокупность методов должна быть дополнена методами, применяемыми:

– для автоматических РИС;

– оценки чувствительности РИС;

– оценки изменчивости по сравнению с границами допуска;

– оценки стабильности РИС;

– при неизвестном опорном значении части;

– невозможности проведения повторных испытаний.

Как было отмечено, целью анализа измерительных систем является выявление и минимизация риска принятия ошибочных решений. Однако анализ ИС является лишь частью общего процесса управления ИС. Очевидно, что риск принятия ошибочных решений появляется еще на этапе проектирования измерительной системы и реализуется при ее эксплуатации. Поэтому для управления ИС необходима методика, затрагивающая все этапы эксплуатации ИС. Целесообразной представляется разработка такой методики в соответствии с циклом PDCA. На рисунке представлена структура методики. В ней предлагается превентивный подход к управлению рисками, который предполагает снижение вероятности возникновения риска и минимизацию его последствий на этапе проектирования процесса. Для применения этого подхода к измерительным системам методика управления содержит предварительный анализ рисков возникновения ошибок для проектируемого процесса эксплуатации РИС. Самые серьезные риски должны быть устранены еще до запуска РИС в эксплуатацию (для этого может понадобиться корректировка процесса). Измененный по результатам анализа процесс должен документироваться. Для разработки руководства по проведению предварительного анализа рисков необходимо опираться на модель РИС, которая рассмотрена ранее.

На этапе эксплуатации РИС предлагается контроль над четкостью выполнения требований к процессу эксплуатации, описанных на этапе планирования.

В структуре методики предлагается включать в этап анализа РИС определение пригодности и изменчивости РИС (при помощи совокупности методов РИС, которая обсуждалась ранее), а также поиск причин обнаруженной изменчивости.

Повышение пригодности ИС возможно только при устранении причин, вызывающих изменчивость. Наличие специфических причин изменчивости не позволяет управлять РИС так же, как и количественными ИС. Например, «калибровка» и «поверка» контролеров не могут производиться теми же методами, которые используются для количественного измерительного прибора. Для этого методика подразумевает осуществление управленческого воздействия, направленного на устранение причин изменчивости, которые могут заключаться в недостатке мотивации, дисциплине, навыках, опыте, психологических и

физиологических факторах, понимании контролером целей и задач измерений и т. д. Несмотря на значительное количество возможных причин изменчивости, предлагается разработка общего руководства по их устранению, основанная на модели РИС.

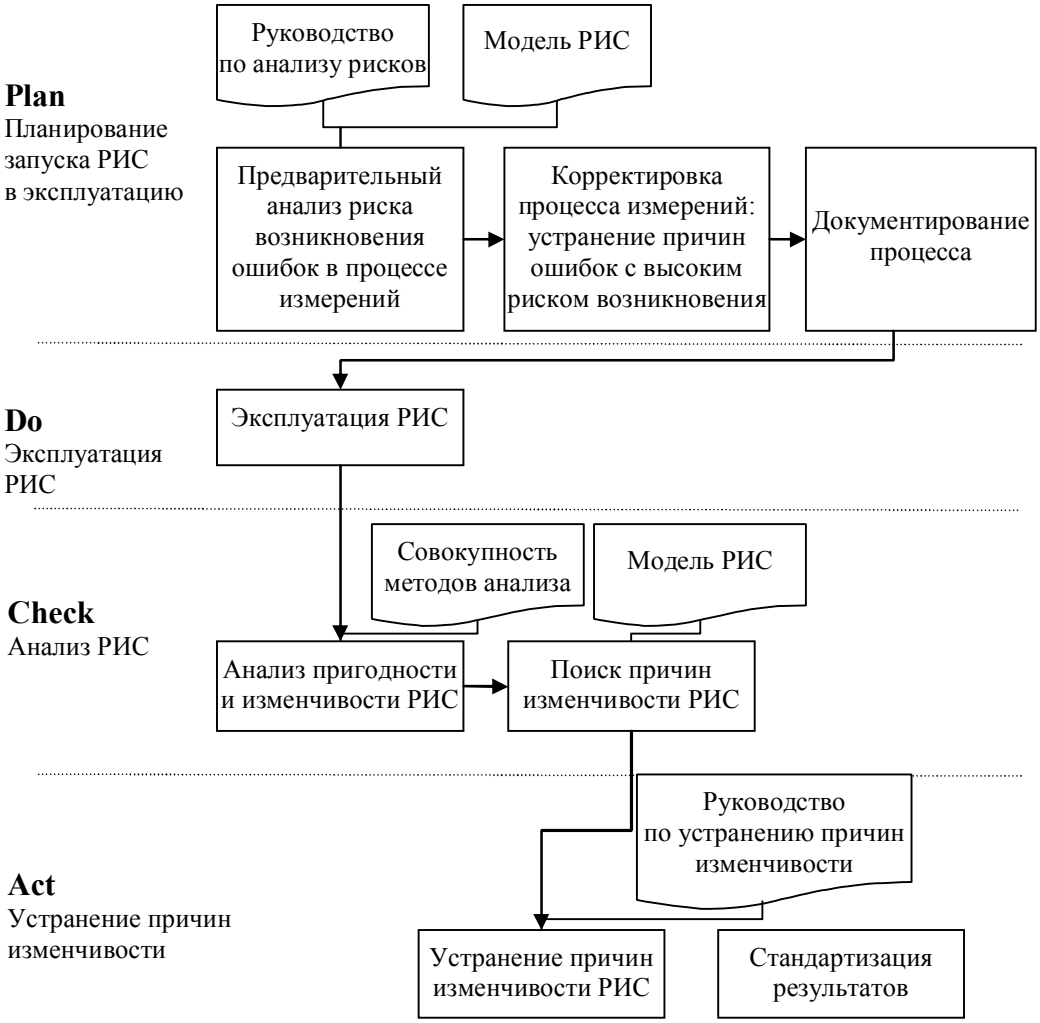


Рис. 1

В заключение можно отметить, что внедрение методики управления РИС, в основе которой будут лежать разработанные модель и метод анализа РИС, позволит значительно снизить риски принятия неправильных решений в отношении продукции и процессов, при измерении которых используются РИС, и, в целом, позволит придерживаться одного из принципов менеджмента качества: принятие решений на основе фактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство / Пер. с англ. 3-е изд., испр. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007.

I. V. Pavlovskaya

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS APPROACHES

In article existing approaches to a attribute measurement systems analysis is considered. Necessity of developing model, analysis method and methodology of attribute measurement systems managing is proved. Structure of a model, method and methodology is suggested.

Attribute measurement systems analysis

УДК 621(099)

Е. В. Красникова

О ВКЛАДЕ А. С. ПОПОВА В РАЗВИТИЕ РЕНТГЕНОТЕХНИКИ В РОССИИ

Кратко изложена история начального этапа исследования и использования рентгеновских лучей за рубежом и в России. Подробно рассматриваются работы А. С. Попова по созданию отечественных рентгеновских установок и их элементов и их практическому использованию. Отмечается пионерская роль ЭТИ, затем ЛЭТИ, в развитии исследований в этой области и подготовке специалистов по рентгенотехнике для промышленности.

Х-лучи, рентгеновские лучи, В. К. Рентген, Э. Дюкрете, И. И. Боргман, А. Л. Гершун, В. В. Скобольцын, Н. Г. Егоров, А. С. Попов, С. С. Колотов, В. Крукс, П. И. Ижевский, М. М. Глаголев, А. А. Шапошников, В. И. Исаев, ЭТИ, ЛЭТИ, Ф. Н. Хараджа, А. А. Потсар, Ю. А. Быстров

Немецкий ученый В. К. Рентген, изучая физические процессы генерации электромагнитных волн, в конце 1895 г. обнаружил электромагнитное излучение с весьма малыми длинами волн. Поскольку сам ученый не смог сразу дать объяснение физической природе этих лучей, то они были названы им Х-лучами. Для их изучения был создан специальный прибор, с помощью которого В. К. Рентген выяснил, что Х-лучи обладают большой проникающей способностью. При этом плотный картон и бумага, ткани тела человека не являются для них препятствием, но в то же самое время металлы, например свинец, для них непрозрачны. Результаты этих исследований В. К. Рентген описал в своей статье «О новом роде лучей», опубликованной в научных журналах [1].

Публикация статьи дала толчок к изучению Х-лучей учеными других стран. Французский ученый А. А. Беккерель, изучая Х-лучи, впоследствии названные рентгеновскими, обнаружил новые лучи с длиной волны меньше самых коротких лучей Рентгена. Эти лучи были названы в честь А. А. Беккереля. Данный тип лучей не имеет ничего общего с рентгеновскими лучами и обладает особыми свойствами. Этим видом излучений заинтересовались французские ученые П. Кюри и М. Склодовская-Кюри. Исследование ими беккерелевских лучей привело к открытию радиоактивности, что произвело переворот в науке и способствовало дальнейшему развитию и применению радиоактивности в различных областях техники. Первооткрыватель Х-лучей В. К. Рентген в 1901 г. стал первым лауреатом Нобелевской премии по физике, но больше к их изучению не возвращался.

В ведущих европейских странах, таких как Франция, Германия, Великобритания и Россия, не только рассуждали о способах получения лучей Рентгена, их свойствах и об их отличии

от катодных лучей, открытых еще в конце 1870-х гг., но и искали пути их использования, предлагали различные приборы, необходимые для проведения экспериментов с Х-лучами [2].

Профессор Б. Вудвор (Англия); проф. А. Сальвиони (Италия); французский ученый О. Сегюи; конструктор физических приборов К. Радиге; французский предприниматель, основатель фирмы электроизмерительных приборов Э. Дюкрете; инженер Н. А. Пашковский (Россия) и другие изобретатели создавали аппаратуру с целью демонстрации и получения рентгеновских лучей. Помимо ученых-физиков данными проблемами заинтересовались и представители других профессий [2]. Врачи, учителя, таможенники и специалисты в других областях науки и техники предлагали свои идеи по использованию рентгеновских лучей в различных сферах деятельности человека. О проницаемости рентгеновских лучей сквозь различные материалы, фотографировании с их помощью различных предметов, о круксовой трубке и флюоресцирующем экране для Х-лучей постоянно писали в иностранной и отечественной прессе [2], [3].

Активно занимались этим и на родине В. К. Рентгена в Германии. В начале января 1896 г. в Берлине и других немецких городах проводятся заседания различных научных обществ, на которых подробно рассказывалось об открытии В. К. Рентгена и демонстрировались рентгеновские снимки руки человека, сделанные с помощью Х-лучей [2].

Но если в Германии в основном занимались просвещением научной и иной общественности, то в Англии, Австро-Венгрии и России практически сразу начались попытки применения рентгеновских лучей для различных целей – для подробного изучения анатомии человека, для отыскания инородных тел, для изучения поражения костей, для постановки диагноза больным (например, доктор Ф. Вильямс в Англии). В первую очередь опыты с Х-лучами были направлены на получение снимков внутренних органов и костных тканей человека для выявления различных заболеваний. Одними из первых в 1896 г. эксперименты с лучами Рентгена повторили венские доктора Э. Хошек и О. Т. Линдентален. Подобные опыты проводили доктор Р. Петерсен в клинике проф. В. Куинка (в Гейдельбергском университете), английский врач Г. Лайон , доктор Г. Хоппе-Сейлер (Германия), В. Бехтерев (Россия) и другие деятели медицины из английских, немецких и российских клиник. Для этой цели они предлагали применять аппаратуру, с помощью которой можно было бы делать снимки не только человека, но и животных. Исследования возможности использования рентгеновских лучей проходили не только в гражданских, но и в военных клиниках. К концу 1896 г. британское военное министерство задумывалось уже над тем, чтобы все полевые лазареты, отправляемые в Африку, были снабжены приборами, необходимыми для получения рентгеновских снимков.

Наряду с практическим применением Х-лучей продолжались и работы по выяснению их физической природы. В Англии этой темой занимался проф. Дж. Симпсон (Эдинбург), который еще задолго до их открытия В. К. Рентгеном предсказывал существование неизвестных науке лучей, но и после открытия продолжал работать над этой темой. В США опыты с рентгеновским излучением на самом себе и подопытных проводил Н. Тесла, предлагалось использовать Х-лучи для отыскания полезных ископаемых, и в первую очередь золотых самородков. Французские исследователи проводили эксперименты, выясняя как физическую природу Х-лучей, так и возможность их проникновения через непрозрачные материалы. Результаты своих опытов они часто демонстрировали перед большой аудиторией (в частности, профессор П. Ришар выступал не только в государственных научных учреждениях, но и в частных клиниках) [2].

Французские ученые продолжали научную и практическую деятельность с Х-лучами. Их исследовательская мысль в 1897 г. выходит уже на иной уровень – они активно начали проводить опыты по выяснению влияния лучей Рентгена на организм человека, в частности на его легкие. Применение Х-лучей проникает и в такую специфическую область науки, как микробиология, исследуется влияние Х-лучей на бактерии и микробы. Были попытки применения Х-лучей в судебной медицине. Так как в то время многие предлагали использовать Х-лучи чуть ли не повсеместно, а специалистов в этой области практически не было, французский ученый-физик Ж. Руланд предостерегал от возможных ошибок при получении и оценке рентгеновских снимков.

В ходе исследовательских работ по данной теме конструктор приборов К. Радиге открыл новые свойства Х-лучей. С помощью созданной им новой круксовой трубки многие вещи, прежде всего стеклянные, прекрасно просвечивались. К. Радиге вместе с французским ученым Г. Гильомом предположил, что рентгеновские лучи при встрече со стеклом преобразуются в ультрафиолетовые и световые лучи. Эту же гипотезу выдвинул и доктор Э. Шундер-Бозе, исследуя Х-лучи, причем он выяснил, что при передаче лучей на расстояние в 1,5 км эта схожесть усиливается. Об этом он доложил на заседании Физического общества в Париже. Эта тема была подробно изложена и в книгах об Х-лучах, вышедших в течение 1896–1897 гг. во Франции. Рентгеновские лучи рассматривались как с физической, так и с практической точек зрения. Приводились чертежи различных приборов, использовавшихся учеными для своих экспериментов. Некоторые аппараты, как например флуороскоп-эксплоаратор Э. Дюкрете и флюоресцирующий экран, разработанный французским физиком А. Огденом, предлагали в дальнейшем применять при диагностике заболеваний. При усовершенствовании данных приборов выдвигалась идея использовать их и для других целей. Начальник всех французских таможен, например, предлагал использовать их для просвечивания чемоданов и других грузов, проходящих через таможню [2].

Таким образом, с самых первых дней открытия лучей В. К. Рентгеном, начались как теоретические исследования, так и первые практические попытки использования рентгеновских лучей в разных областях науки и промышленности в Европе, США и России. В столице Российского государства Петербурге сразу же после рождественских каникул в январе 1896 г. в журнале «Электричество» была опубликована редакционная статья об открытии проф. В. К. Рентгена [4]. В ней приводились примеры проницающей способности Х-лучей и рассматривалось их отличие от катодных лучей. В результате сравнительного анализа разных видов лучей делался вывод о том, что чем толще слой проницаемой среды и чем она плотнее, тем больше ослабевает действие Х-лучей. На этом основании утверждалось, что рентгеновские лучи имеют особые свойства, позволяющие использовать их в медицине и при исследовании степени однородности различных изделий. Русские ученые занимались и просветительской деятельностью, включавшей демонстрацию опытов с рентгеновскими лучами перед учеными, студентами и всеми желающими. С середины января 1896 г. в течение недели в Санкт-Петербургском университете был прочитан цикл лекций по изучению рентгеновских лучей с демонстрацией опытов. Профессор И. И. Боргман, лаборанты А. Л. Гершун и В. В. Скобельцын показали снимки руки и прочих суставов. 22 января 1896 г. в заключительной лекции проф. И. И. Боргман изложил сущность открытия В. К. Рентгена, продемонстрировав свои опыты с лучами, после чего предложил желающим сделать рентгеновские снимки их кистей рук. Желающие нашлись, и кроме снимков рук

был сделан рентгеновский снимок портмоне с деньгами. Лекция имела большой успех. После ее окончания все присутствовавшие на ней единогласно решили послать телеграмму В. К. Рентгену с благодарностью за открытие им Х-лучей [2], [5].

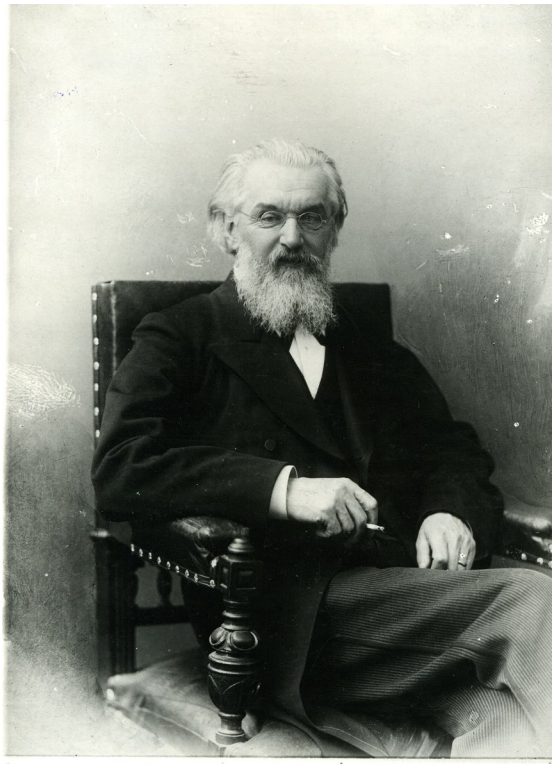


Рис. 1

В конце января 1896 г. на объединенном собрании V и VI отделов Императорского Русского технического общества в Соляном городке проф. Н. Г. Егоров (рис. 1) сделал доклад об открытии В. К. Рентгена. В своем докладе он указал на работы предшественников В. К. Рентгена, особенно выделив результаты опытов Дж. Ленарда, указав, что последний вплотную подошел к открытию Х-лучей, но не успел выделить их свойства в чистом виде. В конце доклада проф. Н. Г. Егоров продемонстрировал очень удачные снимки, сделанные им и его лаборантами. В здании Императорской медико-хирургической академии, в которой проф. Н. Г. Егоров заведовал кафедрой физики, в начале 1896 г. был открыт первый в России рентгеновский кабинет. Об этом событии свидетельствует установленная около помещения кабинета мемориальная доска, гласящая: «В этом здании 16 января 1896 года был открыт первый рентгеновский кабинет в Императорской медико-хирургической академии» [4].

Последний раз проф. Н. Г. Егоров продемонстрировал опыты с Х-лучами на заседании VI отдела Императорского Русского технического общества 14 марта 1896 г. В дальнейшем и И. И. Боргман, и Н. Г. Егоров продолжали заниматься рентгеновскими лучами, особенно их интересовал вопрос о воздействии рентгеновских лучей на организм человека [2].

Открытием В. К. Рентгена заинтересовался и русский ученый-физик, изобретатель беспроволочного телеграфа, преподаватель Минного офицерского класса (МОК) в Кронштадте А. С. Попов. Со статьей В. К. Рентгена, появившейся в печати в конце ноября 1895 г., А. С. Попов ознакомился в декабре 1895 г. и уже в январе 1896 г. начал проводить опыты с Х-лучами. С этой целью он создал аппаратуру для фотографирования невидимых предметов по способу Рентгена. Впервые ученый продемонстрировал свои приборы в начале февраля 1896 г. на заседании в Собрании минных и других офицеров в Кронштадте. Источником лучей служила трубка Крукса, изготовленная А. С. Поповым и преподавателем химии МОК С. С. Колотовым (оба выступали и в качестве стеклодувов) [6]. До начала 1990-х гг. она хранилась в Московском рентгенорадиологическом институте [6]. Фотографическая пластинка в описываемом приборе была заключена в двойной конверт из толстой, плотной бумаги черного цвета. Снимаемые предметы, такие как ключи, медали, проводники, изолированные бумагой и гуттаперчей, были помещены в бумажную коробку. Несмотря на слабость румкорфовой спирали, пропускающей ток через трубку, снимки получились прекрасные, очень отчетливые. «Для большей уверенности в ясности изображения лучи действовали в течение 40 минут, но их действие может быть и меньше», – сказал А. С. Попов.

В дальнейшем ученый выступал с демонстрацией своих опытов в Морском собрании Кронштадта. В течение нескольких дней он убедительно показывал воздействие Х-лучей на различные предметы. В конце одного из своих выступлений А. С. Попов выразил надежду на вероятную возможность применения Х-лучей в военно-морском деле.

С середины февраля 1896 г. ученый начал читать цикл лекций о фотографировании невидимых предметов. А. С. Попов читал доклады перед морскими офицерами в Морском собрании Кронштадта. При этом основное внимание он уделял следующим вопросам: световые явления, происходящие в разреженных газах при прохождении через них электрического разряда, круксовы трубки, катодные лучи и их свойства, опыты Дж. Ленарда, открытие В. К. Рентгена, свойства рентгеновских лучей и приложение их к фотографированию невидимых предметов. Лекции сопровождались опытами и демонстрацией фотографий [7].

В Петербургском электротехническом институте в 1896 г. преподаватель физики В. В. Скобельцын также демонстрировал студентам фотографирование невидимых предметов при помощи Х-лучей.

13 февраля 1896 г. А. С. Попов на заседании Русского физико-химического общества сделал сообщение о физической природе Х-лучей. Он продемонстрировал сконструированную им флюоресцирующую трубку, доказав, что с ее помощью образуется невидимое электромагнитное излучение, которое обладает способностью проникать через непрозрачные тела. Это свойство Х-лучей натолкнуло А. С. Попова, как и других исследователей, на мысль о возможности использования их в медицине для просвечивания органов как взрослых людей, так и детей. Для этих целей ученый рекомендовал применять новую рентгеновскую трубку и флюоресцирующий экран, созданные им в конце февраля 1896 г. [2], [7].

Рис. 2

А. С. Попов продолжал постоянно совершенствовать свою аппаратуру и в марте 1897 г. на общем собрании Императорского Русского технического общества в Кронштадте продемонстрировал окончательный вариант рентгеновской аппаратуры. Она состояла из флюоресцирующего экрана и новой трубки. Трубки для своей аппаратуры ученый выдувал сам, штативы для рентгеновской аппаратуры были предложены военно-морским врачом И. В. Страховичем, с которым А. С. Попова познакомил главный врач Кронштадтского военно-морского госпиталя В. И. Исаев. Посмотрев в действии эти приборы, В. И. Исаев высказал желание иметь такую аппаратуру в госпитале для обнаружения переломов, раздробления костей и инородных тел в организме человека [3], [6].

Спустя некоторое время при непосредственном участии А. С. Попова в Кронштадтском военно-морском госпитале был установлен рентгеновский аппарат [8]. Через не-

сколько лет, в 1901 г., приборы, созданные ученым, стали устанавливать и на транспортных кораблях, в частности на госпитальном судне «Монголия» (рис. 2), а в 1904 г. они были впервые применены в боевых условиях русско-японской войны. Будучи уже профессором Электротехнического института, А. С. Попов лично руководил оборудованием кораблей Второй Тихоокеанской эскадры, уходившей на Дальний Восток для участия в военных действиях. Установленная на судах рентгеновская аппаратура помогала обнаруживать осколки от снарядов у раненых моряков. Военный врач крейсера «Аврора» В. Кравченко вспоминал, что таким образом жизни многих матросов и офицеров были спасены, так как им была вовремя сделана операция [9], [10].

Аппаратура с использованием высокочастотного излучения использовалась не только для рентгеноскопии, вскоре ее стали применять и для электротерапевтических целей. Этими проблемами занимался весьма успешно проф. П. И. Ижевский, друг и родственник А. С. Попова (муж его младшей сестры Анны). Выпуском генераторов такого излучения успешно занималась французская фирма Э. Дюкрете, с которой у А. С. Попова, начиная с 1898 г., были установлены тесные контакты по изготовлению аппаратуры беспроволочной телеграфии для Российского флота.

В письме от 6 декабря 1903 г. А. С. Попов пишет Э. Дюкрете:

«Дорогой месье!

… Два моих друга – доктора медицины, хотели бы иметь две катушки Румкорфа с целью их установки в электротерапевтическом кабинете. Катушки должны способствовать получению импульсного тока высокого напряжениями. Я рекомендовал им катушки серии В № 11 с длиной искры 40 см, и тогда можно будет получить переменный ток (50 периодов в секунду). Моим друзьям нужны катушки без конденсаторов и мощностью в 100 ватт. Я думаю, что стоимость их будет не более 925 франков. При этом вести переговоры о данных приборах нужно с главным врачом госпиталя, так как врачи этого госпиталя уже имеют дело с катушкой немецкого производства (фирма A. E. G.). Она была установлена у них в 1899 году. Данный аппарат имеет длину искры в 30 см, но он допускает возможность установки второго – более мощного – генератора. Я полагаю, что Вы выполните этот заказ по возможности как можно быстрее.

Вы в состоянии сделать этот заказ в своей мастерской, оплата будет обеспечена вовремя. Но, если вы хотите, мы отдадим заказ посредникам.

Я надеюсь, что Вы выполните заказ как можно скорее. Кроме этого, мне хотелось бы получить еще один заказ катушек и для лаборатории Электротехнического института и несколько новых деталей к ним…» [11].

К сожалению, в январе 1906 г. А. С. Попов скоропостижно скончался. Но именно он был одним из пионеров освоения Х-лучей и рентгенотехники в России. С начала исследования Х-лучей в 1896 г. до 1906 г. в России было написано более 2000 статей и книг по данной тематике. Впоследствии было организовано серийное производство рентгеновских приборов, начали читать курс лекций по рентгенологии, а впоследствии и по рентгенотехнике [12], [10], [13].

К началу 1904 г. рентгеновская аппаратура стала широко применяться во многих как гражданских, так и военных медицинских учреждениях. Над вопросами рентгенологии работали в России профессора В. М. Бехтерев и Д. К. Хрущев, доктор В. Н. Тонков и др. Открывались рентгеновские кабинеты в медицинских учреждениях. К 1905 г. их стали открывать повсеместно.

В 1916 г. на заседании Совета Электротехнического института ближайший ученик А. С. Попова проф. Н. А Скрицкий предложил открыть в ЭТИ рентгеновскую лаборато-

рию. Однако в условиях Первой мировой войны, а затем и из-за революционных событий его предложение не было реализовано. В 1921 г. на созданном в 1920 г. электрофизическом факультете по инициативе заведующего кафедрой физики проф. М. М. Глаголева при полной поддержке заведующего кафедрой радиотехники проф. И. Г. Фреймана была создана первая в России учебно-научная рентгеновская лаборатория, в которой было положено начало работам в ЭТИ в направлении вакуумной электроники [14]. Первые учебные работы, поставленные в этой лаборатории, были связаны с физикой рентгеновских лучей, с исследованием термоэлектронной эмиссии и другими вопросами электронной техники. Для небольшой группы студентов М. М. Глаголевым был прочитан курс лекций по рентгенологии и электронным приборам. В 1925 г. произошло перераспределение тематики работ, проводившихся в лаборатории: лаборатория электровакуумной техники была присоединена к кафедре радиотехники, а оборудование, связанное с рентгеновской тематикой было передано на кафедру физики проф. М. М. Глаголеву.

В 1930 г. в ЛЭТИ началась систематическая подготовка специалистов по электровакуумной специальности. С 1931 г. вся тематика научно-исследовательских работ и подготовка инженеров-электронщиков были переданы А. А. Шапошникову. Самостоятельная кафедра рентгенотехники была открыта в 1938 г. в ЛЭТИ (заведующего кафедрой проф. Ф. Н. Хараджа). В 1961 г. кафедра, входящая в состав кафедр основанного в 1946 г. факультета электронной техники (ФЭТ), получила наименование кафедры рентгеновских и электронно-лучевых приборов, с 1992 г. кафедра получила название кафедры электронных приборов и устройств. С 1958 по 1980 гг. кафедру возглавлял доцент А. А. Потсар, а с 1980 по 2010 гг. – проф. Ю. А. Быстров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О новом виде лучей: пер. с нем. / Под ред. и с прим. акад. А. Ф. Иоффе. М.–Л., 1933.
2. Электротехник. 1896. № 26. С. 12–11; № 27. С. 147–151; № 28. С. 192–201, 216, 222–223; № 29. С. 248–252; № 30. С. 403–408, 448; № 31. С. 471, 472–473, 492, 494, 498; № 32 С. 508–513, 538–539, 554–561; № 33. С. 589–590; № 36. С. 772; 1897. № 2 (38). С. 93–94, 95; № 4 (40) С. 188–189.
3. Врач. 1896. № 1–26. С. 42, 117, 178, 207–208, 220–221, 238, 259–260, 296, 356, 385, 406–407, 432, 437–438, 508, 566, 649, 725.
4. Электричество. 1896. № 1. С. 4–6; № 2. С. 32; № 4. С. 57–60.
5. Военно-медицинский журнал. 1896. № 3. С. 607–617; № 5. С. 276–278; № 11. С. 766–793.
6. Котлин. 1896. 1 февраля. С. 3; 2 февраля. С. 1, 4; 6 февраля. С. 2; 25 февраля. С. 1; 21 февраля. С. 4; 1897. 22 марта. С. 2.
7. Отчет о деятельности Кронштадтского отделения И.Р.Т.0. // Изобретение радио. А. С. Попов. Документы и материалы / Сост. В. А. Попова-Кьяндская и др.; под ред. А. И. Берга. М.: Наука, 1866. С. 78.
8. Электротехнический вестник. 1897. № 5 (41). С. 245, 246, 249; № 7 (43). С. 285–286, 301, 316–318; № 8 (44). С. 353, 360; № 9 (45). С. 405; № 12 (48). С. 544, 546, 549–551; 1898. № 3. С. 1.
9. Гуртов М. М. Краткий исторический очерк Кронштадтского военно-морского госпиталя // Тр. Кронштадтского военно-морского госпиталя. Л.,1941. С. 3–27.
10. Военно-морской врач. 1942. № 4. С. 3–6.
11. ММП. Ф. 2.1.2. № 586, 589. № 6. № 11–12.
12. Вестник рентгенологии и радиологии. 1990. №2. С.10–11.
13. Военно-медицинский журнал. 1967. № 6. С. 22–25.
14. ЦГАОР, ф. 3295, оп. 1, д. 191, л. 59.

E. W. Krasnikova

ON THE A. S. POPOV CONTRIBUTION IN THE DEVELOPMENT OF ROENTGEN TECHNOLOGYS IN RUSSIA

Short presentation of initial period of investigation and using of roentgen rays abroad and in Russia. Detailed examined A. S.Popov`s works on the development of native roentgen devices and elements and their practical applications. Recognized the pioneering role of ETI, and then LETI in development of scientific research in that field and in training specialists in roentgen technology for the industry.

X-rays, roentgen rays, W. K. Roentgen, E. Ducretet, I. I. Borgman, A. L. Gershun, W. W. Skobelzin, N. G. Egorov, A. S. Popov, S. S. Kolotov, W. Crucs, P. I. Izhewsky, M. M. Glagolev, A. A. Shaposhnikov, V. I. Isaev, ETI, LETI, F. N. Charaja, A. A. Potsar, Y. A. Bystrov

УДК 811.111

А. А. Мурзаков

РОЛЬ СЛИЯНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ АФФИКСОИДОВ В СОВРЕМЕННОМ АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Статья посвящена анализу относительно нового явления в английском языке – образованию аффиксоидов. Аффиксоид – это словообразовательный элемент, являющийся переходной единицей между словом, обладающим лексическим значением, и аффиксом с абстрактным морфологическим значением.

Автор акцентирует внимание на том, что во многом благодаря образованию и широкому использованию слияний в английском языке появляются новые аффиксоиды.

Аффиксоид, слияние, словообразовательная модель, продуктивность, СМИ, морфология

Абстрактное значение у аффиксов возникло не сразу. Как известно, грамматика достигает высокой абстракции постепенно, в процессе многовекового развития [1].

История многих аффиксов, как и других грамматических формантов в различных языках, подтверждает это положение. Имеющие сейчас абстрактное грамматическое значение аффиксы в большинстве восходят в своем историческом движении к конкретным лексическим значениям. Например, суффикс – ment\mente, используемый во многих европейских языках, возник от латинского слова mentis – ум, разум, образ мыслей, намерение.

Можно сказать, что аффикс, прежде чем стать собственно аффиксом, является значимым словом, потом следует переходная ступень – аффиксоид, и только затем он превращается в приставку или суффикс.

Аффиксоид – это компонент сложного или сложносокращенного слова, повторяющийся с одним и тем же значением в ряде слов и приближающийся по своей словообразовательной функции к суффиксу или приставке [2].

В зависимости от того, какую роль – суффикса или приставки – выполняют аффиксоиды, их можно разделить на суффиксоиды и префиксоиды.

Суффиксоидами являются такие корневые морфемы, которые аналогичны суффиксам; префиксоидами – приставкам. В русском языке к суффиксоидам относятся: -вод, -воз, -вед и др., например, в словах водовоз, лесовоз, паровоз, литературовед, пушкиновед, кавказовед и т. п. К префиксоидам: авиа-, теле-, полу- и др.: авиаконструктор, авиатехник, авиастроитель и т. п. [3].

Слияния в современном английском языке являются поставщиками новых аффиксоидов в силу своей морфологической структуры. Слияние представляет собой словообразовательную модель на стыке сокращения и словосложения. Этот способ заключается в соединении двух слов (полных или усеченных основ) в одно, в результате чего образуется новая лексическая единица, включающая в себя значения составляющих компонентов. Новое слово (само слияние) состоит из первой (начальной) части одного слова и второй (конечной) части другого. Обычно основой для создания слияния является фонологическое подобие последней части слова с первой частью следующего слова. Это может быть несколько фонем (cocacolonization < coca-cola + colonization) или одна фонема (carmageddon < car + Armageddon).

Часто новые слияния образуются по типу уже существующих. Например, подобно слиянию cocacolonization образовано еще несколько новых слов: Disneyization < Disney + + colonization, McDonaldization < McDonalds + colonization, westernization < western + colonization, Americanization < America + colonization. Таким образом, -ization как часть слова colonization функционирует в роли аффиксоида и используется для образования новых понятий.

Сейчас широко употребляется слово sugarholic, образованное от слов sugar и alcoholic. Впервые оно появилось в 1965 г.[1], и с тех пор по аналогии было образовано большое количество неологизмов: chocoholic, clothesaholic, creamaholic, jadeaholic, milkaholic, bookaholic, cashaholic, newsaholic, shopaholic, writaholic, gameaholic, danceaholic, sexaholic, cleanaholic, spendaholic, rageholic, wikiholic, colaholic, crediholic, foodaholic, golfaholic. Впервые слово alcoholic в английском языке стало использоваться в значении «человек с болезненным пристрастием к употреблению спиртных напитков» в 1891 г.[2] Таким образом, менее чем через 70 лет элемент -aholic/-oholic стал употребляться для образования существительных от глаголов или новых существительных от уже имеющихся в языке и продолжает оставаться продуктивным в настоящее время (см. computerholic, blogoholic). Новообразованные слова являются слияниями, так как формируются от усеченной основы слова «alcoholic» и слов, обозначающих какой-либо предмет или деятельность, к которым можно иметь сильное пристрастие. Существительные, образованные таким способом, обозначают человека, который нуждается в чем-то или любит нечто определенное так сильно, что это становится его пристрастием. Например, chocoholic – это человек, который испытывает непреодолимое пристрастие к шоколаду, а workaholic – это человек, полностью поглощенный своей работой и ничем другим не интересующийся.

Рассмотрим примеры других аффиксоидов, появившихся в результате образования слияний.

Аффиксоид -athon/-ethon образован от слова «marathon» – состязание в беге, которое впервые было устроено на олимпийских играх 1896 г. Аффиксоид -athon/-ethon обозначает какую-либо продолжительную деятельность, требующую большой выносливости. Вот примеры некоторых слов: bikeathon – длительная езда на велосипеде; jigathon, danceathon – долгий танец; workathon – напряженный труд; talkathon – долгая утомительная беседа;

[1] Online Etymology Dictionary. http://www.etymonline.com/index.php?term=-aholic.

[2] Online Etymology Dictionary. http://www.etymonline.com/index.php?term=alcoholic.

cleanathon – долгая уборка; telethon – сбор денег на благотворительные нужды по телевидению; radiothon – сбор денег на благотворительные нужды по радио; walkathon – долгая ходьба как состязание, часто в благотворительных целях. В последнее время суффиксоид -athon/-ethon помимо значения продолжительной деятельности может обозначать сбор денег на благотворительность, т. е. с течением времени произошла дифференциация лексического значения аффиксоида.

Суффиксоид -glish/-lish образовался от слова «English». Новообразованные слияния обозначают различные иностранные модификации английского языка (слова в скобках обозначают язык, от которого произошла данная модификация): Russlish (Russian), варианты – Runglish, Ruglish (сравните в русском «рунглийский язык»); Chinglish (Chinese); Czenglish (Czech); Germlish или Denglish (German); Greeklish (Greek); Hebrish (Hebrew); Hinglish (Hindi); Hunglish (Hungarian); Japlish (Japanese). Похожие слова: Janglish – обозначает использование английского с японским произношением (иногда его называют Katakana English) и Engrish; Konglish (Korean); Malglish (Malaysian); Poglish (Polish); Singlish (Singaporean); Spanglish (Spanish); Swahinglish (Swahili); Swenglish (Swedish); Taglish (Tagalog); Wenglish (Welsh); Tanglish (Tamil); Tinglish (Thai); Yinglish (Yiddish).

Суффиксоид -nomics образовался от слова «economics» и обозначает экономическую теорию или политику. Этот суффиксоид стал использоваться после появления неологизма Nixonomics, характеризующего экономическую политику администрации американского президента Р. Никсона. Суффиксоид приобрел еще большее распространение, когда политику Р. Рейгана стали называть Reagonomics (сравните в русском «гайдарономика» [4]). Примеры образования новых слов с помощью имен президентов США и суффиксоида -nomics: Clintonomics (Clinton); Bushonimics (Bush); Obamanomics (Obama). Новые слова с именами премьер-министров Великобритании: Thatchernomics (Thatcher); Blairnomics (Blair); Brownomics (Brown). Также: Rogernomics (Roger Duglas) (политика новозеландского лейбористского правительства в 1984 г.); Rubinomics (Rubin); Freakonomics (freak); bimbonomics (bimbo); Dukakonomics (Michael Dukakis) (экономическая политика М. Дукакиса, кандидата на пост президента США в 1988 г.); Lawsonomics (Nigel Lawson) (экономическая политика Н. Лосона, британского министра финансов). Мы видим, что суффиксоид очень продуктивен и в основном используется для описания экономической политики какой-либо видной политической фигуры.

Суффиксоид -gate образован от выражения Watergate scandal (Уотергейтский скандал), который случился в начале 70-х гг. прошлого века и закончился отставкой американского президента Р. Никсона. Слово «Watergate» взято из названия Watergate Complex, где начался скандал. 17 июня 1972 г. агенты Белого Дома и кампании по переизбранию Р. Никсона были арестованы при попытке ворваться в офис Национального Демократического Комитета, который в то время располагался в комплексе Watergate (группа квартир и офисов в Вашингтоне, федеральный округ Колумбия). В течение двух лет скандал, казавшийся сначала несущественным событием, оказался самым большим политическим разногласием в истории Америки. Со времени Уотергейтского скандала СМИ стали обозначать социальные или политические скандалы, прибавляя суффиксоид -gate к ключевым словам, в результате чего получаются следующие слияния: Cheriegate – скандал по поводу связи Ч. Блэр (Cherie Blair) с К. Кэплин (Carole Caplin) и через нее с осужденным за мошен-

ничество П. Фостером (Peter Foster). Заголовок статьи из газеты «The Scotsman», 2005-06-18: «Curse of “Cheriegate” strikes again»; Billygate – скандал разразился, когда газета «The Washington Post» в 1998 г. обвинила Б. Картер (Billy Carter), брата бывшего президента Америки Дж. Картер (Jimmy Carter), в том, что он ливийский террорист: «Billygate – 1980»; Irangate или Contragate – скандал разразился, когда правительство американского президента Р. Рейгана продавало оружие Ирану, а прибыль направляло повстанцам в Никарагуа. Вот заголовок статьи из газеты «St. Louis Post-Dispatch», 1989-07-05: «1989: Irangate colonel avoids prison».

Количество неологизмов, образованных с помощью суффиксоида -gate весьма значительно, но подавляющая часть таких слов исчезает почти сразу после своего появления[3]. Следует учитывать, что большое количество слияний с -gate обусловлено стремлением журналистов к преувеличению фактов для привлечения внимания читателей.

Суффиксоид -cise образовался от слова «exercise». Обозначает упражнение, тренировку в каком-либо виде деятельности (в скобках указаны слова, от которых образованы неологизмы): Jazzercise (jazz); dancercise (dance); boxercise (boxing); sexercise (sex); TAKS-ercise (Texas Assessment of Knowledge and Skills (TAKS)), Xbox-ercise (Xbox); child-ercise (child). Тот факт, что суффиксоид отделяется дефисом от корневой части, свидетельствует о его переходном характере, т. е. он является продуктивным, но носители языка не воспринимают его как чистый суффикс.

Редкий пример префиксоида, образованного с помощью слияния: exer- (так же от слова «exercise»): exercycle < exercise + cycle (велотренажер), exer-clog (тип обуви), Exer-Fit (название компании), exer-station (тренажер).

Таким образом, мы видим, что вследствие образования слияний пополняется класс квазиморфем – аффиксоидов, которые сохраняют коннотации сокращенных слов и пополняют словарный фонд английского языка. Аффиксоиды, образованные от слияний, относятся к существительным, поскольку подавляющее большинство слияний являются именно существительными и носят частно-ситуативный характер.

Следует отметить, что термин «аффиксоид» принят только в российской (советской) лингвистике. В словарях новых слов («Словарь новых слов английского языка» Дж. Эйто [5] и «Словарь новых слов» Дж. Грина [6]) суффиксоиды -aholic, -oholic, -athon, -ethon, -nomics называются «suffixes». В справочнике по словообразованию английского языка аффиксоиды -aholic, -oholic названы просто «словообразовательными элементами» [7]. По нашему мнению, термин «аффиксоид» наиболее подходит для описания данного явления, так как выражает переходный характер этих «словообразовательных элементов», которые еще не зарегистрированы как аффиксы, но ввиду своего частого употребления уже не рассматриваются как единичные примеры слияний.

В структуре слова и системе словообразовательных средств аффиксоиды выступают как морфемы переходного типа. С одной стороны, это морфемы с очень абстрактной семантикой, близкой к словообразовательному значению аффиксов, выполняющие в слове функции суффиксов или приставок. С другой стороны, аффиксоиды, употребляясь как аффиксы, все же продолжают оставаться и осознаваться носителями языка корневыми морфемами или основами, сохраняющими свои семантические и генетические связи с со-

[3] List of scandals with "-gate" suffix. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_scandals_with_"-gate"_suffix.

ответствующими корнями. Иногда это выражается употреблением дефиса как в случае с суффиксоидом -cise и префиксоидом exer-.

Все аффиксоиды являются регулярными, так как именно регулярность воспроизведения корневой морфемы в однотипных словах и превратила их в переходную морфему [8].

Употребление аффиксоидов дает возможность образовывать различные существительные, однако такие слова по большей части относятся к неформальной лексике (blogoholic, sexoholic) или являются эргонимами (Exer-Fit).

Исходя из того, что в современном английском языке наблюдается настоящий бум образования неологизмов, можно предположить, что с течением времени количество аффиксоидов, образованных от слияний, будет увеличиваться, семантическое значение таких единиц будет иметь более абстрактный характер, и из морфем переходного типа аффиксоиды превратятся в полноправные словообразовательные аффиксы, т. е. абстрактные языковые единицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будагов Р. А. Сходства и несходства между родственными языками. М.: Добросвет-2000, 2004. С. 203.
2. Лопатин В. В. Аффиксоид // Русский язык. Энциклопедия / Под ред. Ю. Н. Караулова. М., 2003. С. 43.
3. Брусенская Л. А., Гаврилова Г. Ф., Малычева Н. В. Учебный словарь лингвистических терминов. Ростов н/Д.: Феникс, 2005. С. 251.
4. Николина Н. А., Фролова Е. А., Литвинова М. М. Словообразование современного русского языка: Учеб. пособие. М.: Академия, 2005. С. 129.
5. Эйто Дж. Словарь новых слов английского языка. М.: Русский язык, 1990. С. 7, 271.
6. Грин Дж. Словарь новых слов. М.: Вече/Персей, 1996. С. 6, 15.
7. Словообразование. Справочник по английскому языку / А. Кейпл, Л. Хислип, М. Майер, Д. Ульямсон. М.: АСТ/Астрель, 2003. С. 18.
8. Шанский Н. М. Очерки по русскому словообразованию. М.: URSS, 2005. С. 297.

A. A. Murzakov

THE ROLE OF BLENDINGS IN FORMATION OF AFFIXOIDS IN THE MODERN ENGLISH LANGUAGE

The article is devoted to analysis of relatively new phenomenon in the English language – formation of affixoids. Affixoid is a word-forming element, which is a transitional unit between a word with lexical meaning and an affix with abstract morphological meaning.

The author emphasizes the fact that new affixoids appear largely due to forming and wide use of blendings in the English language.

Affixoid, blending, word-forming model, productivity, mass media, morphology

Сведения об авторах

Бабушкина Ольга Александровна

Ассистент кафедры радиоэлектронных средств СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 345-20-36. E-mail: Babushkina_Olga@mail.ru.

Большаков Владимир Павлович

Доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 321-62-52. E-mail: V_P_B_@mail.ru.

Бузников Анатолий Алексеевич

Заслуженный деятель науки, профессор кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: +7(911) 224-97-77. E-mail: aabuznikov@mail.ru.

Вендик Орест Генрихович

Профессор кафедры ФЭТ СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: +7(921) 757-19-32. E-mail: OGVendik@mail.eltech.ru.

Григорьев Евгений Александрович

Аспирант межотраслевой лаборатории «Современные электротехнологии» СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 566-77-42. E-mail: eagrigoriew@bk.ru.

Горячев Александр Вадимович

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 939-40-16. E-mail: avgoryachev@gmail.com.

Демидович Виктор Болеславович

Профессор кафедры электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ, д-р. техн. наук.

Тел.: (812) 380-33-90. E-mail: vbdemidovich@mail.ru.

Жарковский Аркадий Викторович

Зам. проректора по научной работе СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-02-23. E-mail: avjarkov@online.ru.

Жевлаков Александр Павлович

Ведущий научный сотрудник ФГУП «НПК “ГОИ им. С. И. Вавилова”», канд. физ.-мат. наук.

Тел.: +7(911) 219-36-01. E-mail: a_zhevlakov@ilph.ru.

Кащеев Сергей Васильевич

Научный сотрудник ФГУП «НПК “ГОИ им. С. И. Вавилова”», аспирант кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 931-62-34. E-mail: skascheev@ilph.ru.

Кершис Сергей Александрович

Студент-дипломник группы 5141 СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 386-03-57. E-mail: serega-Aqvarius@yandex.ru.

Коновалов Сергей Ильич
Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovalov@mail.eltech.ru.

Красникова Елена Викторовна
Специалист экспозиционного отдела мемориального музея А. С. Попова.
Тел.: (812) 234-59-00.

Кузьменко Андрей Григорьевич
Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovalov@mail.eltech.ru.

Лямкин Александр Анатольевич
Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7(911) 296-11-65. E-mail: alex-ljamkin@mail.ru.

Масликов Павел Александрович
Аспирант межотраслевой лаборатории «Современные электротехнологии» СПбГЭТУ.
Тел.: +7(950) 038-51-34. E-mail: mr.karlson@mail.ru.

Микуленко Николай Павлович
Старший научный сотрудник кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7(911) 295-69-16. E-mail: nmikulenko@yandex.ru.

Молдовян Николай Андреевич
Профессор кафедры автоматизированых систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук.
Тел.: (812) 234-28-27. E-mail: nmold@mail.ru.

Мошников Вячеслав Алексеевич
Профессор кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.
Тел.: (812) 234-30-16. E-mail: vamoshnikov@mail.ru.

Мурзаков Александр Александрович
Аспирант кафедры иностранных языков СПбГЭТУ.
Тел.: +7(950) 844-57-67. E-mail: mur_vahta@mail.ru.

Новакова Наталия Евгеньевна
Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7(921) 314-26-05. E-mail: nnovakova@mail.ru.

Павловская Ирина Владимировна
Ассистент кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ, аспирант.
Тел.: +7(904) 632-04-11. E-mail: efess.ss@gmail.com.

Попов Алексей Леонидович
Аспирант кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ.
Тел.: +7(911) 953-10-07. E-mail: alex0131@yandex.ru.

Растворова Ирина Ивановна

Доцент, зав. кафедрой промышленной электроники Северо-Западного государственного технического университета, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 759-38-66. E-mail: rastvorova@mail.ru.

Смирнова Вера Андреевна

Доцент кафедры высшей математики № 2 СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: +7(911) 637-30-99. E-mail: vera-sm@yandex.ru.

Соколова Екатерина Николаевна

Аспирант кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 388-69-65. E-mail: SokolovaEkNik@yandex.ru.

Спивак Юлия Михайловна

Ассистент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-30-16. E-mail: ymkanageeva@yandex.ru.

Тревгода Татьяна Федоровна

Ст. научный сотрудник кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 757-90-92. E-mail: trevgoda@users.mns.ru.

Хо Нгок Зуй

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7(952) 369-67-89. E-mail: aimezthngocduy207@yahoo.

Чагина Анна Владимировна

Ассистент кафедры инженерной компьютерной графики СПбГУ ИТМО.

Тел.: +7(921) 327-16-62. E-mail: annazoja@mail.ru.

Чигирь Марина Васильевна

Канд. экон. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной экономики СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 318-81-03. E-mail: mvchigir@yandex.ru.

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:

● текстовой 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