



# Содержание

## Редакционный совет:

- В. М. Кутузов*  
(председатель)  
*М. Ю. Шестопалов*  
(заместитель председателя)  
*В. А. Мейев*  
(ответственный секретарь)  
*В. Н. Мальшев*  
(«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»)

## РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

- Бекентаева А. А.* Точность измерения времени по сигналам ГНСС спектрально-эффективных модуляционных форматов ..... 3  
*Гайворонский Д. В., Тихонова О. С.* Оценка ослабления сверхширокополосных сигналов внутри зданий ..... 9

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

- Лучинин В. В., Гасциков А. О.* Анализ возможных методов поиска и идентификации блока радиоканала на кристалле интегральной микросхемы ..... 14  
*Пинская Д. Б., Саенко И. В.* Влияние легирования оксидами иттрия и циркония на свойства варисторов на основе ZnO ..... 20  
*Черниговский В. В., Маруцынюков С. А.* Измерение толщины металлических покрытий оптическим способом ..... 25

## ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Копыльцов А. А., Копыльцов А. В.* Алгоритм обработки слабоформализованной информации, поступающей от технических систем ..... 30  
*Нечитайленко Р. А.* Методы сокращения размерности данных при решении задач фильтрации информации в территориально распределенной информационной системе ..... 36  
*Советов Б. Я., Воробьев А. И.* Применение методов оптимизации в задачах структуризации корпоративного центра обработки данных ..... 41  
*Штанько С. В., Жукова Н. А.* Схемы аутентификации данных и пользователей в распределенных информационных системах ..... 46  
*Красов А. В., Верещагин А. С., Абатуров В. С., Резник М. В.* Методы скрытого вложения информации в исполняемые файлы ..... 51

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д.* Решение проблем управления судовыми электроэнергетическими объектами с использованием методов оптимизации и нечеткой логики ..... 56  
*Иванов А. В., Ваганов В. В., Котов А. К.* Элементы программно-алгоритмического обеспечения выбора состава технологического оборудования на основе поиска наименее затратного пути реализации заказа в АСУ ТП полиграфического предприятия ..... 64

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Филиппов И. Ф., Шамарина Е. А.* Альтернативная система водяного охлаждения активной стали статора турбогенератора ..... 70

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Коновалов С. И., Кузьменко А. Г.* К вопросу об определении КПД широкополосного пьезопреобразователя с учетом механических и диэлектрических потерь ..... 77  
*Лукьянов Д. П., Шевченко С. Ю., Филиппова Е. П., Кукаев А. С., Сафронов Д. В.* Моделирование тонкопленочных структур при построении микроакселерометра на поверхностных акустических волнах ..... 84

\*\*\*

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

*Степанов Б. Г., Зайцева Н. А.* Нагрузочные электрические характеристики стержневых преобразователей с фазированным возбуждением секций..... 92

*Грубо Е. О., Королев П. Г., Романцова Н. В., Утушкина А. В.* Обеспечение метрологической исправности средств измерений..... 100

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

*Якушенко Е. С.* Исследование метода обнаружения периодов ночного сна при холтеровском кардиомониторировании..... 107

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

*Герасимов И. В.* Трансдисциплинарность образовательно-профессиональных программ подготовки инженерных кадров в техническом университете..... 113

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

*Давыденко Е. В.* Модернизация российской экономики в контексте общемировых тенденций..... 120

*Павловская И. В., Степанов С. А.* Метод оценки ранжирующих измерительных систем..... 125

*Вишнякова Е. А.* О формировании системы управления процессом приема в учреждение высшего профессионального образования..... 131

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

*Полухина П. А.* Основные модели образования неологизмов в современном английском языке..... 136

*Сведения об авторах*..... 142

*Правила представления рукописей авторами*..... 146

**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:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ)  
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, А. И. Рыбца,  
М. В. Егоровой*

Подписано в печать 12.10.12.  
Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печ. л. 18,5.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–120 экз.)  
Заказ 95.

**Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**

197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-45-23  
Тел. / факс: (812) 346-28-58



УДК 621.396.969.11

*А. А. Бекентаева*

## **ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПО СИГНАЛАМ ГНСС СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЯЦИОННЫХ ФОРМАТОВ**

*Приводятся результаты моделирования, позволяющие сопоставить с потенциальной реальной (учитывающую аномальные погрешности) точность оценки запаздывания спектрально-эффективных сигналов, представляющих интерес как возможная опция при модернизации радиоинтерфейса ГНСС ГЛОНАСС.*

**Глобальные навигационные спутниковые системы, GPS, ГЛОНАСС, потенциальная точность оценки запаздывания сигнала, спектрально-эффективные сигналы, минимальная частотная модуляция**

Спутниковая навигация относится к числу развитых и перспективных сфер деятельности человека. Создание таких глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), как ГЛОНАСС и GPS, стало одним из наиболее заметных и практически важных научно-технических достижений XX в. Полученный в процессе испытаний и многолетней эксплуатации систем опыт подтвердил их высокую эффективность в качестве средства координатно-временного обеспечения потребителей при почти полной независимости позиционирования от погодных условий и времени суток. Области применения ГНСС обширны: аэронавигация, сухопутная и морская навигация, навигация в космосе и т. д. Выпуск сравнительно недорогих малогабаритных приборов для индивидуальных пользователей, обусловил проникновение систем спутникового позиционирования и в повседневную жизнь. При этом необходимо понимать, что различные категории потребителей предъявляют различные требования по точности навигационного обеспечения. В то же время, общая тенденция в XXI в. такова: военным и гражданским пользователям нужна принципиально новая точность во все более сложной помеховой обстановке. Как следствие, GPS и ГЛОНАСС находятся в стадии модернизации, в задачи которой, в частности входит обеспечение их взаимодополняемости и совместимости как между собой, так и с другими радиосредствами. Следует особо отметить, что помимо ужесточения требований к передатчику навигационного космического аппарата и приемной аппаратуре потребителя, достижение улучшенных характеристик ГНСС требует использования новых классов сигналов, существенно превосходящих применяемые ныне в плане эффективности использования

спектра. Об актуальности исследований по поиску перспективных для применения в ГНСС сигналов с новыми видами модуляции свидетельствуют многочисленные публикации в российских и зарубежных изданиях. Этому же направлению отвечает и предлагаемая статья, посвященная анализу точностных характеристик сигналов с составными чипами на базе минимальной частотной модуляции (МЧМ). Схема подачи материала в статье такова: сначала кратко описывается структура сигнала на основе упомянутого типа модуляции и приводятся выражения для потенциальной точности оценки его запаздывания, после чего излагается методика компьютерного эксперимента и дается интерпретация его результатов в сравнении с теоретическими.

**Спектрально-эффективные сигналы ГНСС.** Классическая МЧМ (MSK – *minimal shift keying*) есть разновидность квадратурной фазовой манипуляции (ФМ) со сдвигом, в которой вместо прямоугольной посылки используется косинусоидальная той же длительности. При этом МЧМ-сигнал примерно на порядок превосходит ФМ-сигнал в части компактности спектра [1], [2]. Для сигнала открытого доступа (ОД) радиointерфейса ГЛОНАСС было предложено использовать составные (названные знакопостоянными) чипы, сформированные повторением нескольких МЧМ-микрочипов длительности  $\delta$  [3]. Для сигнала санкционированного доступа (СД) был выбран вариант составных чипов (названных знакопеременными), позволяющий разнести спектры сигналов ОД и СД. Для этого целесообразно использовать конструкцию, подобную модуляции ВОС (*binary offset carrier*), но с заменой меандра отрезком гармонического колебания той же частоты, составленного из прежних МЧМ-микрочипов длительности  $\delta$  [3]. Согласно принятой символике [3] в записи подобного формата модуляции MSK-ВОС( $n_m, n_c$ ), первый символ ( $n_m$ ) показывает частоту гармонического колебания в полученном составном чипе, отнесенную к базовой частоте чипов С/А-кода GPS  $f_c = 1.023$  МГц, а второй – число составных чипов, укладываемых на длительности чипа  $\Delta_c = 1/f_c$  С/А-кода GPS. Если обозначить число периодов гармонического колебания в знакопеременном чипе как  $n_p = n_m/n_c$ , то число образующих его микрочипов составит  $2n_p$ . Отметим, что формат модуляции с использованием знакопостоянных МЧМ-чипов обозначается далее как MSK( $2n_m$ ), фиксируя тот факт, что число микрочипов  $n_{mc} = 2n_m$  на полной длительности знакопостоянного чипа  $\Delta_c$  строго определено выбором частоты гармонического колебания знакопеременного чипа [3].

На рис. 1, а, б показаны форма чипа MSK(4) и его автокорреляционная функция (АКФ) соответственно. Подобным же образом на рис. 2, а, б представлены чип MSK-ВОС(2,2) и его АКФ.

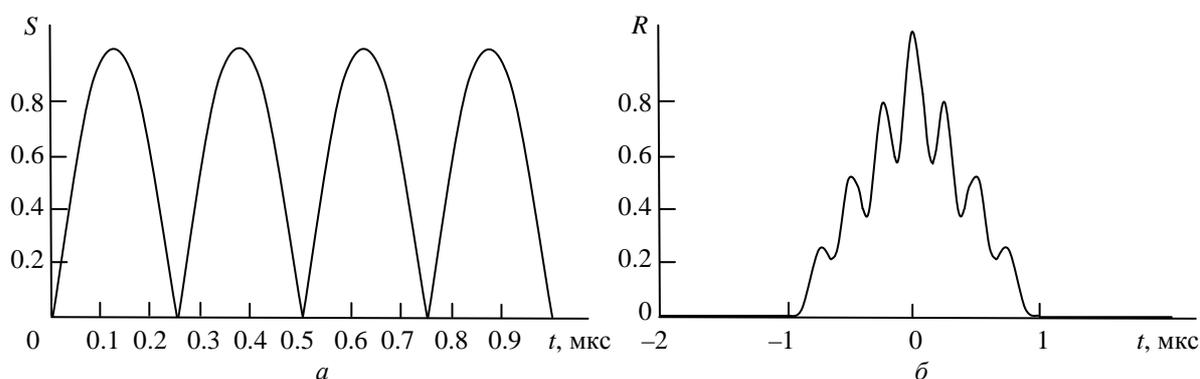


Рис. 1

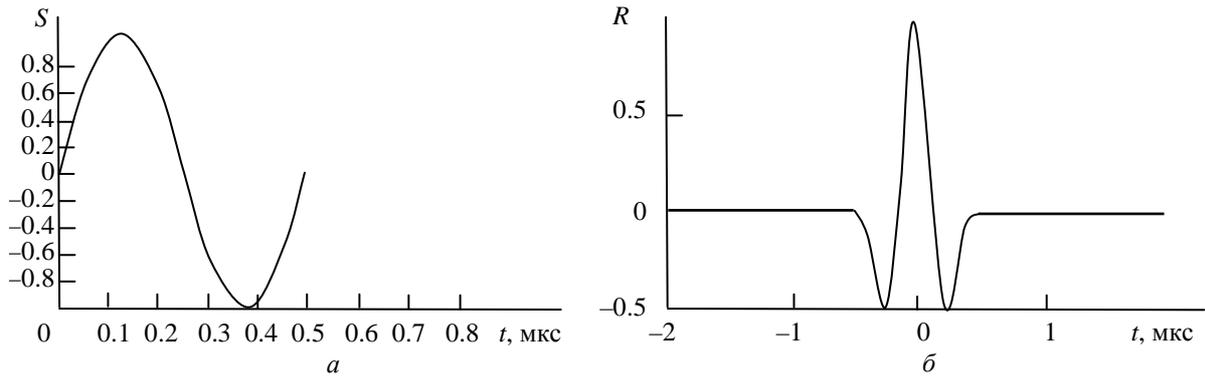


Рис. 2

**Потенциальная точность оценки запаздывания сигнала.** Как показано в [3], потенциальная дисперсия  $\text{var}_1\{\hat{\tau}\}$  оценки  $\hat{\tau}$  запаздывания  $\tau$  по сигналу ОД, прошедшему полосовой тракт приемника, дается соотношением, конкретизирующим классическую границу Крамера–Рао [4], применительно к рассматриваемому типу сигнала

$$\text{var}_1\{\hat{\tau}\} \approx \frac{\Delta_c^2}{q_0^2 F_1\left(n_m, \frac{W\Delta_c}{n_m}\right)}, \quad q_0 \gg 1, \quad (1)$$

где  $q_0^2$  – отношение «сигнал–шум» после согласованной фильтрации без учета ограничения спектра полосовым трактом;  $W$  – полоса пропускания приемника,

$$F_1(n_m, y) = 16n_m \int_0^y \frac{x^2 \sin^2(n_m \pi x)}{(1-x^2)^2 \text{tg}^2\left(\frac{\pi x}{2}\right)} dx.$$

Для расчета дисперсии  $\text{var}_2\{\hat{\tau}\}$  оценки запаздывания по профильтрованному сигналу СД следует использовать формулу [3]

$$\text{var}_2\{\hat{\tau}\} = \frac{\delta^2}{q_0^2 F_2(2W\delta)}, \quad q_0 \gg 1, \quad (2)$$

где

$$F_2(y) = 4 \int_0^y x^2 \left( \frac{\sin \pi x}{1-x^2} \right)^2 dx.$$

**Результаты моделирования.** Граница Крамера–Рао учитывает наличие только нормальных ошибок [4], поэтому важно выяснить, начиная с каких значений энергопотенциала аномальные ошибки перестают влиять на реальную точность измерения времени. Исследования производились методом имитационного моделирования с помощью пакета MATLAB. Для этого синтезировались знакопостоянный и знакопеременный чипы даль-

номерных сигналов ОД и СД, далее смешиваемые с гауссовским шумом, дисперсия  $\sigma_0^2$  отсчетов которого устанавливалась по заданному отношению «сигнал–шум»  $q_0^2$  после согласованной обработки. Для учёта влияния полосы пропускания приемника на точность измерения запаздывания как сформированный чип, так и его смесь с шумом пропускались через идеальный фильтр нижних частот с полосой пропускания  $W$ . В качестве оценки запаздывания  $\hat{\tau}_i$  для каждой реализации шума фиксировалось положение максимума взаимной корреляции профильтрованных чипа и его смеси с шумом. После повторения заданного числа  $n$  опытов (в экспериментах было выбрано  $n = 10^5$ ) фиксировалось выборочное среднее  $\bar{\hat{\tau}}$  и среднее квадратическое отклонение (СКО)  $\sigma_{\hat{\tau}}$  оценки запаздывания

$$\sigma_{\hat{\tau}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\tau}_i - \bar{\hat{\tau}})^2},$$

где  $\bar{\hat{\tau}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\tau}_i$  – выборочное среднее оценки запаздывания.

Значения  $\sigma_{\hat{\tau}}$  сравнивались с СКО, полученными с помощью формул (1) и (2) для сигналов ОД и СД соответственно. Зависимости экспериментальных и теоретических СКО ( $\sigma$ ) оценки запаздывания MSK(4) и стандартной ФМ (BPSK) от энергопотенциала (EP) [в дБГц] для двух значений полосы фильтра  $W = k / \delta, k = 1; 2.5$  представлены на рис. 3, а и б соответственно. Аналогичные зависимости для MSK(6) и BPSK показаны на рис. 4.

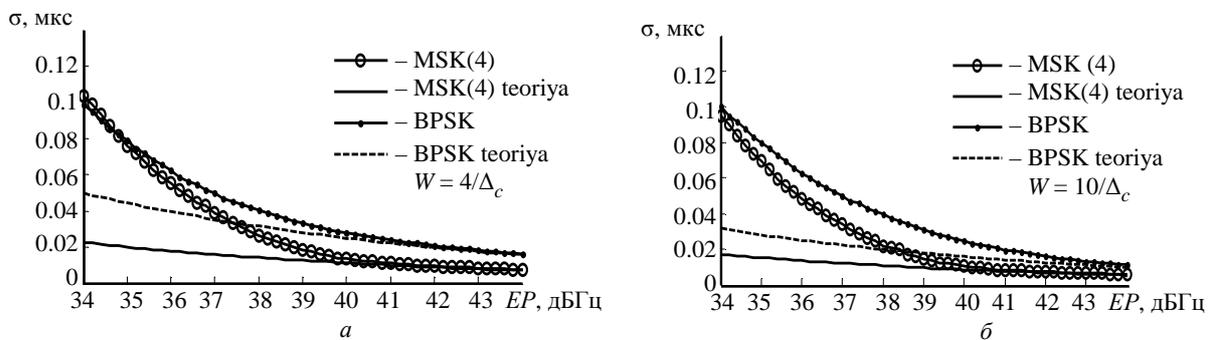


Рис. 3

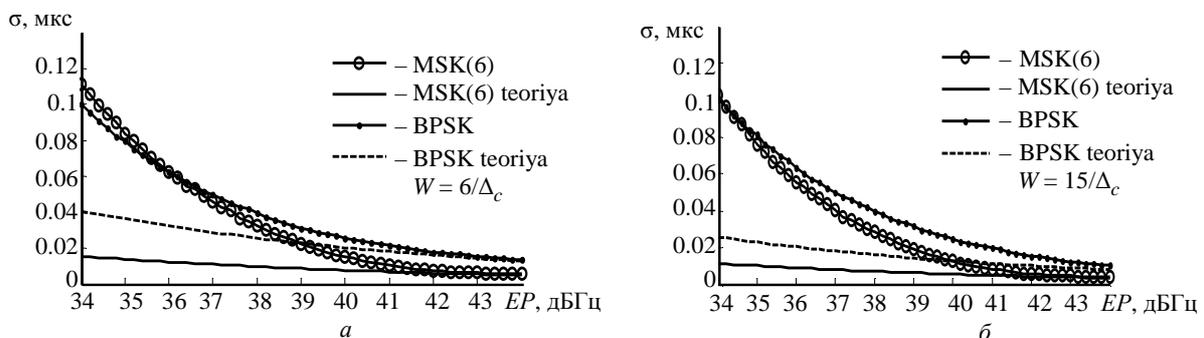


Рис. 4

Зависимости экспериментальных и потенциальных СКО ( $\sigma$ ) оценки запаздывания MSK-BOC(2,2) от  $EP$  для двух значений полосы фильтра  $W = k/\delta, k = 1, 2.5$  представлены на рис. 5, *a* и *б* соответственно. Аналогичные зависимости для MSK-BOC(3,3) показаны на рис. 6.

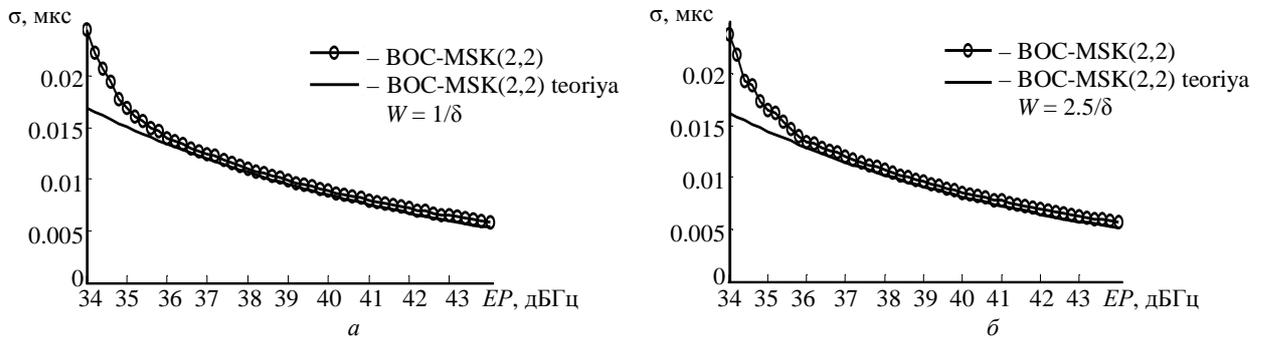


Рис. 5

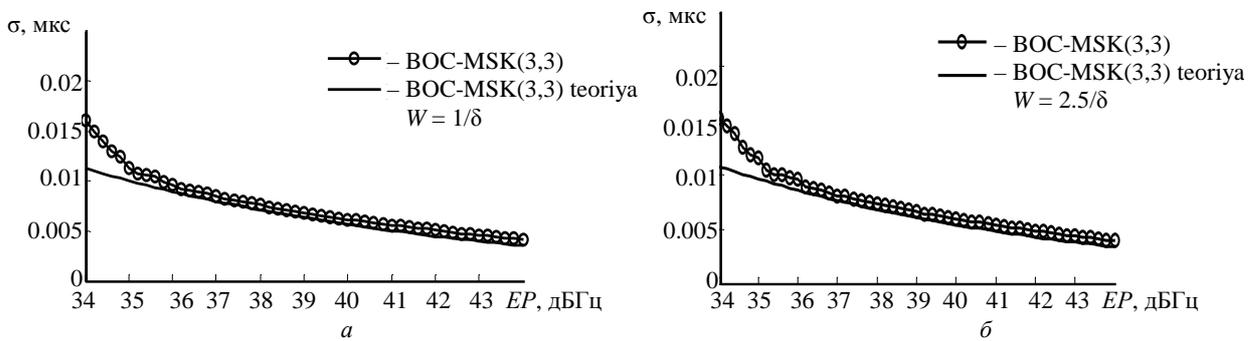


Рис. 6

Сопоставить показатели точности измерения запаздывания BOC и MSK-BOC сигналов можно с помощью графиков, представленных на рис. 7, 8.

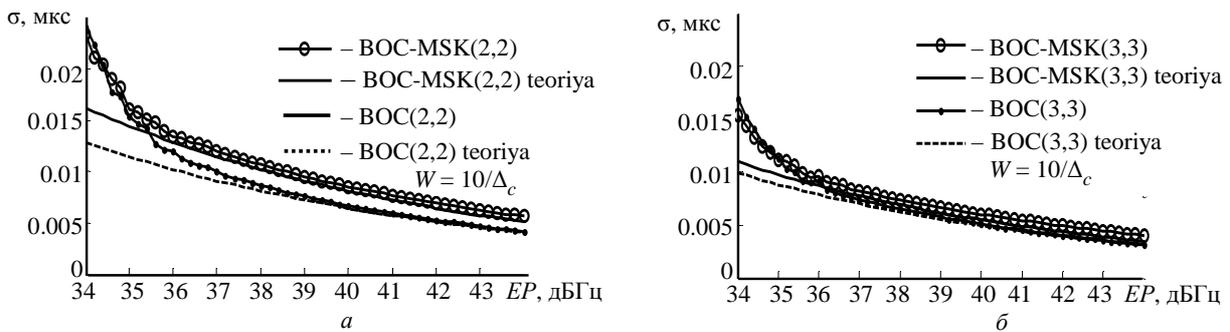


Рис. 7

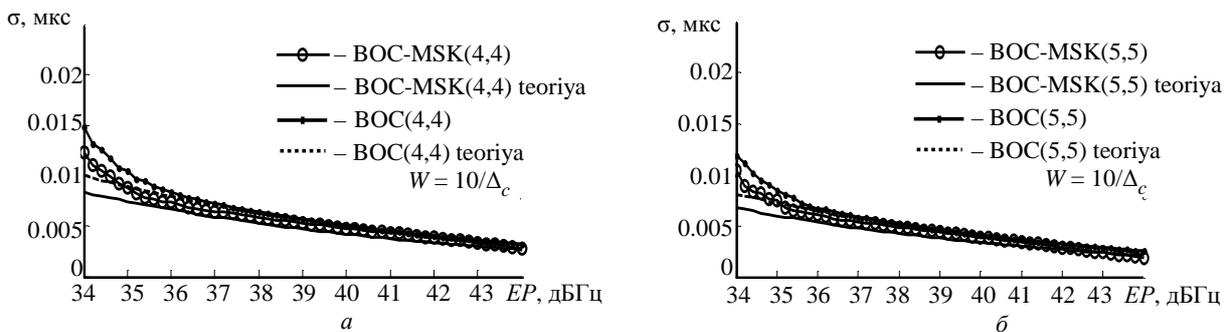


Рис. 8

**Обсуждение результатов.** По итогам проведенного исследования точности измерения запаздывания  $MSK(2n_m)$  и  $MSK-BOC(n_m, n_c)$  сигналов с учетом влияния ограничения их спектра можно сформулировать следующие выводы.

При малых значениях энергопотенциала реальная погрешность измерения времени оказывается существенно выше потенциальной, что объясняется влиянием аномальных ошибок, т. е. отклонений измеренного значения  $\hat{\tau}$  запаздывания от истинного  $\tau$ , превышающих ширину главного пика АКФ. Граница Крамера–Рао не учитывает подобных аномалий, завышая показатели точности. В то же время с приближением значения энергопотенциала к 35...40 дБГц совпадение реальной точности с теоретически предсказанной практически идеально.

Для сигнала ОД разница между потенциальными и экспериментальными погрешностями оценки времени запаздывания заметней, чем для сигнала СД. Причиной этого служит многопиковый характер АКФ знакопостоянного чипа, увеличивающий риск аномальных ошибок измерения  $\tau$ .

Проведенные исследования показали, что при полосе фильтра  $W$ , достаточной для прохождения на выход второго лепестка спектра знакопостоянного чипа, предлагаемый сигнал ОД превосходит С/А-код GPS в точности измерения запаздывания сигнала (см. рис. 3, 4). Это объясняется преимуществом чипа  $MSK(2n_m)$  в компактности спектра по сравнению с прямоугольным чипом С/А-кода, следствием которого является и выигрыш в среднеквадратической ширине спектра при одинаковом ограничении полосы сопоставляемых сигналов.

Как можно видеть из графиков рис. 7, 8, сигналы СД предложенного в [3] формата практически не уступают по точности измерения времени сигналам на основе модуляции BOC, реализованным в новом радиointерфейсе GPS [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокис Дж. Цифровая связь / пер с англ. М.: Радио и связь, 2000.
2. Системы мобильной связи/В. П. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов; под ред. В. П. Ипатова. М.: Горячая линия-Телеком, 2003.
3. Ipatov V. P., Shebshaeovich B. V. Spectrum-Compact Signals. A Suitable Option for Future GNSS // Inside GNSS. Jan.–Febr. 2011. Vol. 6, № 1. P. 47–53.
4. Радиотехнические системы: учебник для вузов/Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. М.: Высш. шк., 1990.
5. Groves P. Principles of GNSS, Inertial and Multisensor Integrated Navigation Systems. Artech House, 2008.

A. A. Bekentaeva

### *THE ACCURACY OF TIME-OF-ARRIVAL ESTIMATE OF SPECTRAL-EFFICIENT GNSS SIGNALS*

*Simulation results are presented allowing to compare the real, i.e. taking into consideration abnormal estimate errors, time-of-arrival estimate accuracy to the theoretically predicted one when the spectral-efficient signals are used being a reasonable option in the GLONASS air interface modernization.*

**Global navigation satellite system (GNSS), GPS, GLONASS, TOA estimate potential accuracy, spectral-efficient signals, minimal shift keying**

## ОЦЕНКА ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ВНУТРИ ЗДАНИЙ

*Невозможность работы спутниковых радионавигационных систем в сложной помеховой обстановке требует их дополнения локальными системами определения местоположения. Для повышения точности местоопределения перспективно использование сверхширокополосных сигналов. На этапе развертывания системы оцениваются энергетические характеристики сигналов в приближении к реальной обстановке. Приведены существующие модели ослабления, а также результаты эксперимента затухания сверхширокополосных сигналов в строительных конструкциях.*

### Сверхширокополосные сигналы, ослабление сигналов, локальная система радионавигации

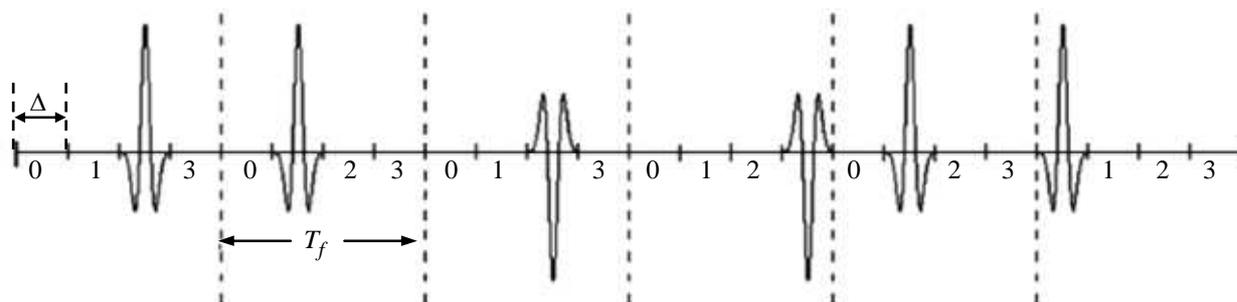
Широкий спектр задач навигационного обеспечения не может быть решен исключительно средствами спутниковых радионавигационных систем, поскольку уровень сигнала недостаточен для проведения сеанса измерений при наличии препятствий на пути распространения (сложный рельеф местности, городская застройка и пр.). Поэтому для обеспечения навигационного поля в таких сложных условиях вводят функциональные дополнения, где в качестве излучателей выступают, например, базовые станции сотовой связи, системы беспроводной связи и целый ряд специализированных средств и комплексов – функциональных дополнений. Одним из направлений модернизации подобных систем является использование сверхширокополосных (Ultra Wide Band, UWB) технологий, призванных, ко всему прочему, повысить иммунитет к промышленным помехам, а также реализовать высокоточное определение местоположения.

На начальном этапе проектирования перспективной системы необходимо оценить необходимый уровень мощности передатчика для обеспечения надежного функционирования системы в предполагаемой зоне при наличии препятствий (стен и перекрытий зданий). Оценка этого параметра и является задачей статьи, в которой сначала рассматриваются принципы функционирования систем UWB, подчеркиваются их преимущества по сравнению с существующими, а также возможные сферы применения. Затем дается обзор некоторых простейших моделей оценки уровня сигнала в точке приема при наличии преград на пути распространения. Аналитически оценивается необходимый уровень излучаемой мощности передатчика при разном радиусе зоны покрытия и количестве препятствий. После приводятся результаты натурального эксперимента, в котором оценивалось ослабление сигнала в строительных конструкциях и даются рекомендации по выбору требуемой излучаемой мощности.

**Технология UWB-сигналов.** В литературных источниках, посвященных UWB-технологиям, под UWB-сигналом понимают такой сигнал, абсолютная полоса пропускания которого не менее 500 МГц или относительная полоса пропускания, т. е. отношение между шириной спектра и центральной частотой, превышает 0.2 [1].

Системы UWB обеспечивают беспроводные коммуникации с помощью импульсов, несущих информацию, которая передается положением или полярностью, как показано на рис. 1. Каждый импульс находится в фиксированном временном интервале, называемом

кадром длительностью  $T_f$ , и положения импульса в кадрах кодируют соответственно интервалам времени  $\Delta$ , предоставленным передатчику для исключения наложения с импульсом от других систем UWB. Аналитическое выражение формы импульса UWB обычно включает производные гауссовского импульса либо основано на измененных полиномах Эрмита [2], [3].



Благодаря низкому уровню спектральной плотности мощности сигнала, соизмеримому с шумом, связь UWB наиболее безопасная из существующих на сегодняшний день беспроводных систем связи, поскольку сигналы UWB практически невозможно принять нецелевой системой.

Технология UWB может быть привлекательна для различных систем связи и радионавигации, например, служб спасения и пострадавших при чрезвычайных ситуациях, в здравоохранении, персональных цифровых помощниках и т. д. «Умные» дома и шоссе, использующие информацию о местоположении, также являются примерами того, как технология UWB может войти в нашу повседневную жизнь [4]. По мере внедрения технологии UWB станет возможным ее использование для навигации в городах и зданиях, где спутниковая навигация практически бессильна.

На начальном этапе разработки новой системы помимо типа сигнала необходимо произвести оценку необходимой мощности передатчика для надежного покрытия навигационным полем желаемой зоны, а также диапазона, в котором система не будет мешать работе уже развернутых систем связи и навигации.

**Модели затухания сигналов.** В настоящее время известен целый ряд моделей оценки затухания в среде при наличии препятствий на трассе распространения сигнала. Один из простейших методов основан исключительно на информации об удалении приемной антенны от передающей и интегральных свойствах среды. В его основе лежит тот факт, что отношение мощностей на приемной и передающей сторонах ( $P_{RC}$  и  $P_{TR}$  соответственно) в зависимости от удаления  $R$  выражается как

$$\frac{P_{RC}}{P_{TR}} = R^{-\alpha}, \quad (1)$$

где для свободного пространства  $\alpha = 2$  и варьируется в пределах  $\alpha = 3...4$  для городской застройки [5].

При переходе к более сложным моделям необходим учет целой гаммы факторов ослабления, характеризующих реальную трассу распространения, например эффекты рассеяния в препятствиях и отражения от границы раздела сред. В условиях городской за-

стройки главенствующим фактором является ослабление в строительных конструкциях, таких как стены зданий и сооружений, межэтажных перекрытий и целый ряд других. Модель, учитывающая эти особенности, несколько сложнее (1) и описывается соотношением [дБ]

$$\frac{P_{RC}}{P_{TR}} = -10\alpha \lg R - kF - lD, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – как и прежде, величина, характеризующая среду распространения;  $R$  – расстояние между передатчиком и приемником;  $k$  – число этажей на трассе передачи;  $F$  – затухание в перекрытии;  $l$  – число стен на пути сигнала;  $D$  – затухание в одной стене.

На основе многочисленных натуральных экспериментов было показано, что наиболее типичные значения ослабления радиосигнала для диапазона Wi-Fi (2,4 ГГц) в строительных материалах, таких как кирпич и бетон, будут лежать в диапазоне  $D = 10 \dots 15$  дБ [5].

Для оценки уровня сигнала на приемной стороне проведем расчет мощности передатчика в предположении, что в канале присутствует только шумовая помеха, обусловленная тепловыми эффектами, хотя в реальной обстановке существует целый ряд других, мешающих факторов. Спектральная плотность мощности шума на входе приемника определяется выражением

$$N_0 = kT, \quad (3)$$

где  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  – постоянная Больцмана;  $T = 1000$  К – типичное значение шумовой температуры приемника гражданского потребителя.

Оценка энергии принятого сигнала возможна только при наличии априорной информации об отношении сигнал/шум  $q$  на выходе коррелятора, который является неотъемлемой частью приемного тракта. Данное отношение определяется как

$$q = \sqrt{\frac{2E}{N_0}}, \quad (4)$$

где  $E$  – энергия сигнала. Для дальнейших расчетов зафиксируем  $q$  на уровне 10 дБ, что достаточно для уверенного распознавания сигнала на фоне помех, преобразование (4) дает выражение для энергии

$$E = \frac{q^2 N_0}{2}. \quad (5)$$

Выражение для мощности сигнала на приемной стороне имеет вид

$$P_{RC} = \frac{E}{\Delta}, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – длительность импульса.

Подстановка (3) и (5) в (6) дает окончательное выражение для мощности принятого сигнала

$$P_{RC} = \frac{q^2 kT}{2\Delta}. \quad (7)$$

При ориентации на сигналы стандарта 802.15.4a длительность одиночного импульса составит  $\Delta = 2$  нс [6]. После подстановки всех значений в (7) получим мощность импульса  $P_{RC} = 3.45 \cdot 10^{-10}$  Вт.

Переход к расчету мощности передатчика возможен при наличии информации о необходимом радиусе покрытия  $R$ , а также количестве и типе препятствий на трассе распространения. В предположении  $R = 100$  м, параметра среды распространения  $\alpha = 2$ , препятствия – две стены ( $l = 2$ ) с ослаблением в каждой  $D = 13$  дБ согласно (2) получим  $P_{TR} = 3.45$  мВт, при увеличении числа препятствий до трех ( $l = 3$ ) это значение возрастет до  $P_{TR} = 0.11$  Вт. При увеличении на порядок радиуса покрытия одним маяком ( $R=1000$  м) аналогичные расчеты для  $l = 2$  дают  $P_{TR} = 0.345$  Вт, а при  $l = 3$  –  $P_{TR} = 10.91$  Вт.

Полученные при расчетах значения мощности передатчика допустимы только в условиях чрезвычайных ситуаций, когда возможно пренебречь потребностями части гражданских пользователей.

Однако в перспективе с широким внедрением систем UWB станет возможным значительно сократить радиус покрытия одного маяка, а соответственно, и излучаемую мощность до значений, предписанных стандартом.

**Экспериментальная оценка ослабления в строительных конструкциях.** Для подтверждения результатов, полученных теоретически, был проведен эксперимент по прохождению UWB-сигналов сквозь строительные конструкции из различных материалов: кирпичные и железобетонные стены.

Поскольку практически невозможно охватить все разнообразие составов материала и условий возведения конструкций, приводимые далее оценки можно считать лишь ориентировочными. Точная же оценка ослабления должна проводиться на стенах того здания, где предполагается в перспективе развертывание системы.

Экспериментальная установка представляет собой пару рупорных антенн, одна из которых подключена к генератору радиоимпульсов длительностью  $\Delta = 5$  нс и несущей частотой ( $f_0$ ) 1.1; 2.2; 3.5 ГГц. Вторая антенна подсоединена к анализатору спектра и осциллографу, по показаниям которых оценивалось ослабление и дополнительная задержка, вносимые препятствием. Для упрощения поиска сигнала и решения вопроса синхронизации передатчик и приемник соединены кабелем, по которому следуют импульсы, являющиеся началом шкалы времени измерения. Чтобы исключить возможное влияние переотражений от сторонних предметов, передающая и приемная антенны располагались на удалении не более метра от исследуемого препятствия.

Таблица 1

$f_0$ , ГГц	Тип препятствия и его толщина			
	Стена (кирпич $d = 0.48$ м)	Колонна 1 (бетон $d = 0.3$ м)	Колонна 2 (бетон $d = 0.48$ м)	Бомбоубежище (бетон $d = 0.52$ м)
1.1	3.73	4.37	2.73	17.47
2.2	8.84	10.68	9.1	30.28
3.5	12.04	–	10.34	45.27

В ходе проведения испытания оценивалось ослабление сигналов, передаваемых на несущих частотах ( $f_0$ ) 1.1; 2.2; 3.5 ГГц, в таких конструкциях как кирпичная стена здания, железобетонная колонна, а также стена подвала-бомбоубежища. Результаты проведенного испытания по ослаблению сигнала для стен из различных материалов толщины  $d$  и несущей частоты  $f_0$ , а также дополнительная задержка  $\Delta\tau$ , вносимая препятствием, сведены в табл. 1 и 2.

Препятствие	$\Delta\tau$ , нс	Препятствие	$\Delta\tau$ , нс
Стена (кирпич $d = 0.48$ м)	0	Колонна 2 (бетон $d = 0.48$ м)	0.67
Колонна 1 (бетон $d = 0.3$ м)	0	Бомбоубежище (бетон $d = 0.52$ м)	2.33

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Проведенное испытание подтвердило, что с увеличением номинала несущей частоты радиоимпульса ( $f_0$ ) растет и затухание в препятствии, поэтому для развертываемой системы предпочтительным является выбор в пользу наименьшего возможного значения  $f_0$ . Испытание также подтвердило, что положенное в основу теоретического расчета значение ослабления  $D = 13$  дБ весьма точно моделирует большинство реальных сценариев работы. Задержка, вносимая препятствием, незначительно ухудшает точность измерения запаздывания сигналов от маяков. Однако даже при наличии нескольких стен на трассе распространения ошибка измерения не превысит единиц метров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (Государственный контракт № 16.740.11.0715 от 08 июня 2011).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Federal Communications Commission, First Report and Order 02-48. Feb. 2002. 118 p.
2. Ramirez-Mireles F., Scholtz R. A. Multiple-access performance limits with time hopping and pulse-position modulation // In Proc. IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM). Boston, MA, Oct. 1998. P. 529–533.
3. Ultra-wideband impulse radio systems with multiple pulse types / S. Gezici, Z. Sahinoglu, H. Kobayashi and H. V. Poor // IEEE Select. Areas Commun. 2006. Vol. 24: 4. P. 892–898.
4. Siwiak K., Gabig J. IEEE 802.15.4Ga informal call for application response, contribution# 11, Doc.: IEEE 802.15-04/266r0, July 2003, [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.
5. Katz Randy H. CS 294-7: Radio Propagation. CS Division / University of California, Berkeley. CA 94720–1776. 1996. P. 28.
6. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 1: Add Alternate PHYs. IEEE Std 802.15.4a™–2007. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue. New York, NY 10016-5997. USA. 187 p.

*D. V. Gayvoronsky, O. S. Tikhonova*

### *ESTIMATION OF UWB SIGNAL ATTENUATION FOR INDOOR COMMUNICATION*

*Global satellite radionavigational systems can't work in high losses conditions therefore local systems are necessary. Ultrawideband signals are one possible decision for these situations and good accuracy. System developers have to know level of energetic losses in real channels. Authors describe some theoretical loss measuring techniques and results of natural signal attenuation experiment in building constructions.*

**Ultrawideband signals, signal losses, local radionavigational system**



УДК 621.382

*В. В. Лучинин, А. О. Гасников*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ БЛОКА РАДИОКАНАЛА НА КРИСТАЛЛЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ**

*Рассмотрены три подхода к топологосхемотехнической идентификации блока радиоканала на кристалле интегральной микросхемы: метод сравнения топологических образов, метод идентификации по признакам, метод обратного проектирования.*

**СВЧ, радиоканал, аналоговая схема, цифровая схема, топология**

В последнее время для обеспечения связи различных устройств между собой, включая компьютерные системы и датчики, все чаще используется радиоканал. Технология создания микросхем достигла уровня, который позволяет получать многофункциональные комплексные системы на одном кристалле, что ведет к миниатюризации аппаратуры и сокращению энергопотребления. В рамках современных технических решений наблюдается общая тенденция включения блока радиоканала непосредственно в кристалл интегральных микросхем (ИМС) различного функционального назначения, например в процессорные системы. Особенно остро встала данная проблема в связи с обеспечением информационной безопасности функционирования аппаратуры из-за возможного несанкционированного съема и записи информации.

Целью данной статьи является анализ возможных подходов к решению задачи разработки методов эффективного поиска и идентификации модулей радиоканала на кристалле ИМС. Возможны несколько методов выявления радиоканала в составе микросхемы: разрушающий метод, который подразумевает микроскопическое исследование кристалла микросхемы в процессе ее препарирования, и неразрушающие, к которым относятся рентгенотопографический и электрический методы (рис. 1).

Сущность микроскопического и рентгенотопографического методов заключается в топологосхемотехническом распознавании образа блока радиоканала на кристалле ИМС при различных пространственных разрешениях.

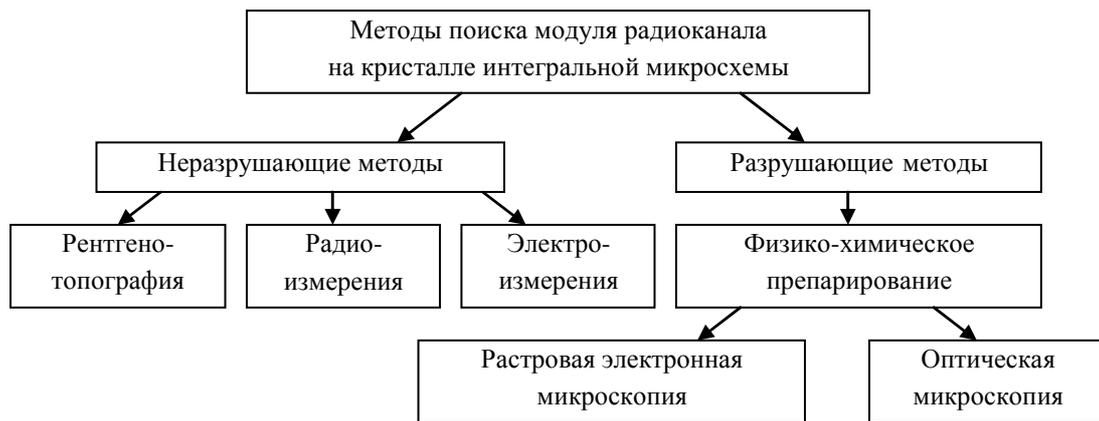


Рис. 1

Методы электрического и радиотехнического контроля основаны на исследовании «отклика» микросхемы на тестовые сигналы, которые могут подаваться и сниматься через радиоканал или электрическую гальваническую связь. Топологосхемотехническую идентификацию радиоканала можно реализовать тремя методами (рис. 2). Рассмотрим эти методы более подробно.



Рис. 2

**Метод сравнения топологических образов** основан на сравнении топологических изображений фрагментов образов анализируемого кристалла микросхемы с базой данных, в которой для каждого вида объектов представлены всевозможные модификации отображения. Данный метод позволяет с достаточной вероятностью идентифицировать блок радиоканала, при совпадении исследуемого образца с образцом из базы данных. При этом необходимо учитывать некоторые особенности:

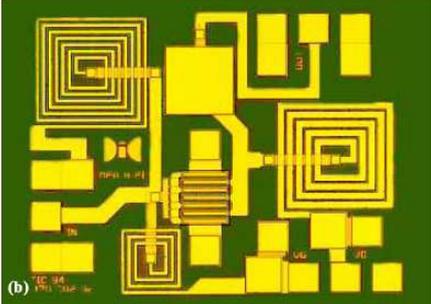
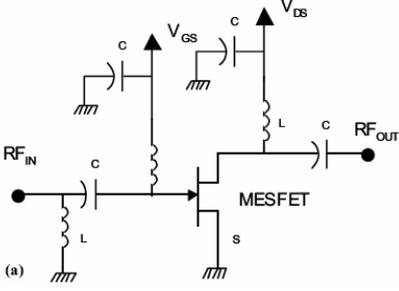
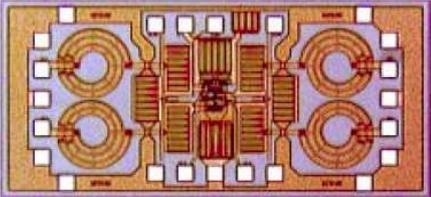
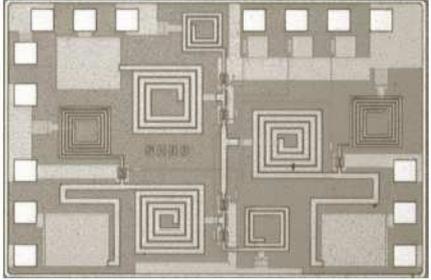
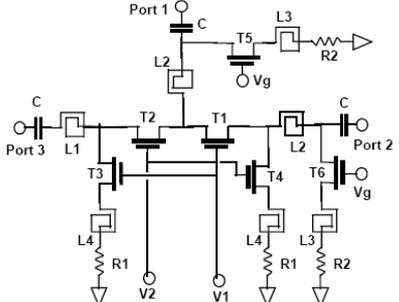
- практически невозможно включить в базу данных все варианты реализации блока радиоканала из-за слишком большого разнообразия возможных схем (даже одна и та же фирма при создании идентичных по функциональному назначению интегральных схем со сходными параметрами и характеристиками может использовать разные схемотехнические и конструкционные решения);

- различные специализированные фирмы, разрабатывающие и изготавливающие интегральные микросхемы, используют, как правило, свои собственные базы данных со свойственной только им архитектурой (один и тот же элемент, созданный разными производителями, может отличаться);

- непрерывное совершенствование технологий создания интегральных микросхем, использование новых материалов, появление новых стандартов беспроводной связи требуют постоянного обновления создаваемой базы данных.

Тем не менее, данный метод позволяет успешно решать поставленную задачу. В Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете создана и постоянно обновляется база данных топологии типовых узлов радиоканала.

В табл. 1 приведены образы топологии типовых узлов радиоканала из созданной базы данных.

Фрагмент топологии блока радиоканала	Схемотехническое решение блока радиоканала	Описание
		<p>Усилитель S-диапазона (1.55...5 МГц) частот. Технология: GaAs, MESFET</p>
		<p>Двойной балансовый смеситель. Технология: SOI (кремний на изоляторе)</p>
		<p>Однополюсный ключ на два направления. Технология: CMOS</p>

**Метод идентификации по признакам** основан на отнесении исходных данных к определенному классу с помощью выделения существенных признаков или свойств, характеризующих эти данные. Структурная схема блока радиоканала обычно состоит из узлов, которые работают с аналоговыми сигналами (фильтры, усилители, модуляторы и т. д.). Был выявлен ряд характерных признаков, опираясь на которые можно идентифицировать аналоговые и высокочастотные цепи на кристалле.

Все признаки можно условно разделить на три группы (рис. 3) [1].

К *конструкционным признакам* относятся особенности, которые учитываются разработчиками при создании совмещенных аналого-цифровых и приемопередающих устройств и схем, например: обязательное разделение аналоговой и цифровой частей схемы, разделение шин «земли» и питания на цифровые и аналоговые (в приемопередающих схемах часто шины питания идут отдельно к каждому блоку), наличие антенны на кристалле или выводов с кристалла для соединения с ней и т. д.

*Схемотехнические признаки* включают в себя особенности, которые характерны для приемопередающих цепей (присутствие в них цепей с индуктивными свойствами, наличие мощных усилительных каскадов и т. д.).

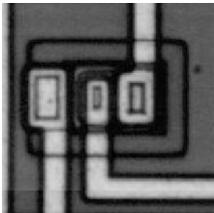
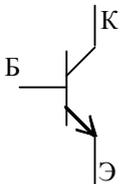
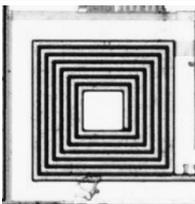
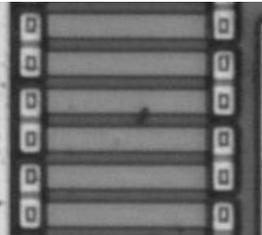
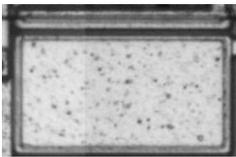
*Топологические признаки* учитывают особенности топологии кристаллов высокочастотных интегральных микросхем (конструкционно-топологические особенности мощных сверхвысокочастотных транзисторов).

**Метод обратного проектирования.** В рамках данного метода производится векторизация изображения топологии кристалла. Эта методика позволяет получить принципиальную электрическую схему и при необходимости смоделировать ее работу. В рамках представления анализируемой схемы в векторном виде рассматриваемая принципиальная электрическая схема представляется как набор «примитивов» (объектов) и связей между ними. «Примитивом» в данном конкретном случае может быть одиночная транзисторная структура, резистор, конденсатор или катушка индуктивности, связями между примитивами являются линии электрической коммутации.

Для распознавания примитивного образа используется рассмотренный метод сравнения топологических образов. Как и в случае с целыми блоками радиоканала, составляется база данных топологии базовых (примитивных) элементов электрической цепи (транзисторов, резисторов, конденсаторов и т. д.) (табл. 2).

Важно отметить следующее обстоятельство. Поскольку число вариантов реализации этих базовых элементов ограничено, то база данных топологии примитивных элементов будет существенно меньше, чем базы данных топологии типовых узлов радиоканала.

Таблица 2

Фрагмент топологии элементов	Элемент. Условное изображение
	Биполярный транзистор ( $n-p-n$ ) 
	Катушка индуктивности 
	Резистор 
	Конденсатор 

В методе обратного проектирования на первом этапе устанавливается связь между абстрактными элементами «примитивами» и тем самым выполняется разводка принципиальной электрической схемы. Полученная схема экспортируется в систему автоматического проектирования для визуализации и дальнейшего анализа.

На рис. 4 представлена фотография части топологии кристалла (слой поликремния), на которой отчетливо виден ряд транзисторных структур, условно обозначенных прямоугольниками с тремя выводами.

Взаимосвязь между этими абстрактными «примитивами» устанавливается с помощью снимков кристалла, на которых видны слои коммутации (рис. 5).

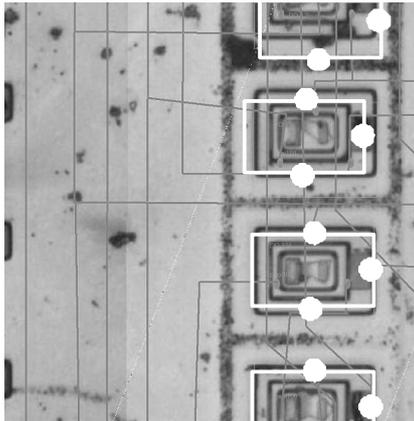


Рис. 4

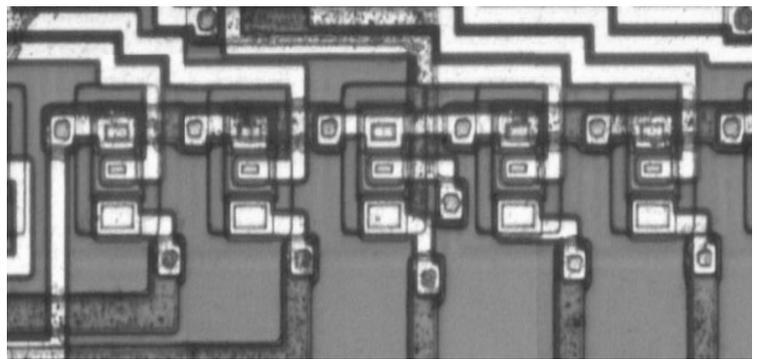


Рис. 5

Результатом выполнения данных операций является получение векторного представления схемы на транзисторном уровне, которое далее вводится в систему автоматического проектирования (рис. 6) [2].

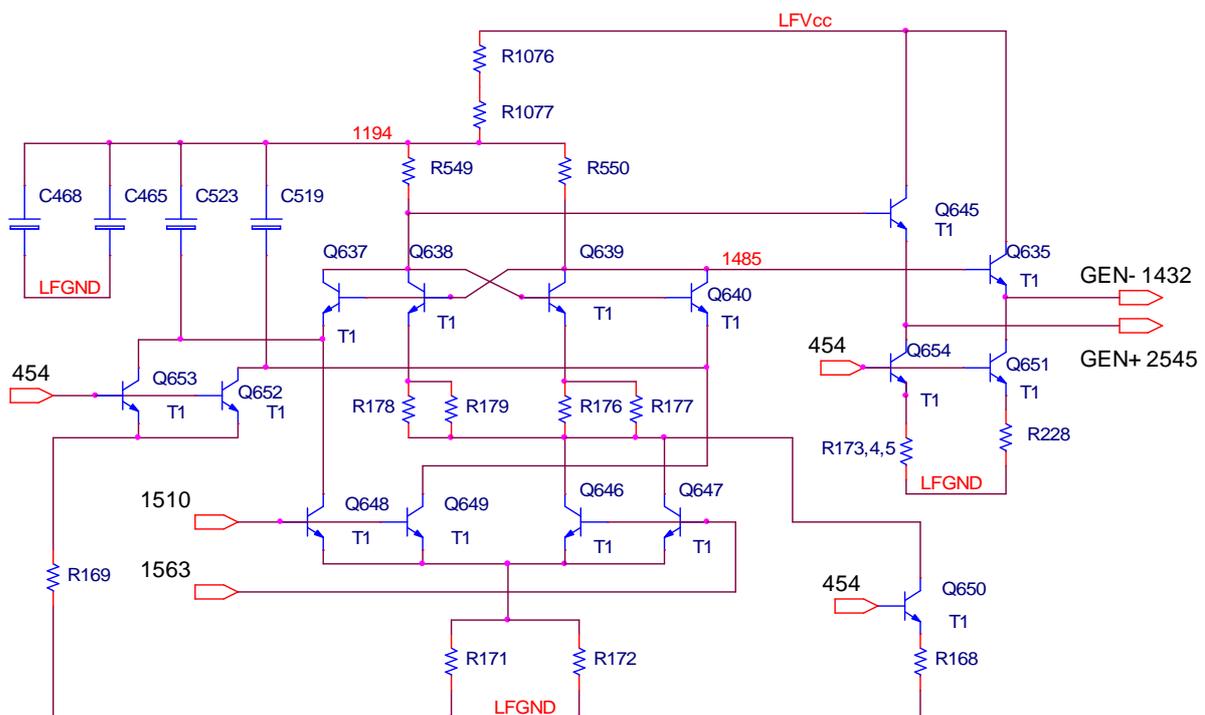


Рис. 6

В итоге из послойного набора фрагментов оптических изображений исследуемого кристалла была получена принципиальная электрическая схема.

Последующий анализ через моделирование работы схемы позволяет идентифицировать отдельные узлы как те или иные функциональные элементы.

Одним из недостатков метода обратного проектирования является его большая трудоемкость, а также высокие требования к качеству снимков топологии исследуемого кристалла. В отличие от метода сравнения топологических образов и метода идентификации по признакам, в которых, как правило, исследуются целые логически и функционально законченные блоки (усилитель мощности, смеситель и т. д.), в методе обратного проектирования работа ведется с примитивными базовыми элементами (транзистор, диод, резистор и т. д.), размеры которых существенно меньше блоков, в которые они входят. Исходя из этого качество снимков для метода обратного проектирования должно быть значительно выше, чем для остальных методов.

При решении задачи распознавания образа блока радиоканала на кристалле ИМС могут быть использованы все три рассмотренных подхода. При необходимости распознавания образа для обеспечения высокой эффективности следует использовать метод обратного проектирования. Но такая эффективность достигается за счет достаточно больших временных затрат. Если же задачу надо решать в короткие сроки, то следует использовать метод сравнения топологических образов. Но, как отмечалось ранее, существенным минусом этого метода является невозможность включения в базу данных всех вариантов реализации блока радиоканала из-за слишком большого разнообразия возможных схем.

Альтернативой является метод идентификации по признакам, который позволяет с достаточно большой вероятностью выявить на кристалле аналоговые и высокочастотные цепи. Кроме того, следует добавить, что эта концепция распознавания во многих отношениях превосходит распознавание методом сравнения топологических образов. Для запоминания признаков класса требуется значительно меньше памяти, чем для хранения всех объектов, входящих в класс. Поскольку признаки, характеризующие класс в целом, обладают инвариантностью, принцип сопоставления признаков допускает вариацию характеристик отдельных образов. Процедура сопоставления с эталоном, с другой стороны, не допускает существенных вариаций характеристик отдельных образов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасников А. О., Лучинин В. В. Анализ топологии интегральных микросхем, содержащих радиоканал // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. ФТТиЭ. 2006. Вып. 1. С. 47.
2. Лучинин В. В., Красник Е. В., Трушлякова В. В. Автоматизированная методика получения изображения топологии кристалла интегральной микросхемы по оптическим фрагментам // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. ФТТиЭ. 2006. Вып. 1. С. 41.

*V. V. Luchinin, A. O. Gasnikov*

### *ANALYSIS OF THE POSSIBLE METHODS FOR SEARCH AND IDENTIFICATION OF THE THE UNIT CRYSTAL RADIO CHANNEL ON THE INTEGRATED CIRCUITS*

*We consider three approaches to the topological-circuit identification of the radio-channel on-chip integrated circuits: a method of comparing the topological images, the method of identification of the sign, method of the reverse engineering.*

**Microwave, radio channel, the analog circuit, the digital circuit, topology**

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ОКСИДАМИ ИТТРИЯ И ЦИРКОНИЯ НА СВОЙСТВА ВАРИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ZnO

*Исследовано влияние легирования оксидами иттрия и циркония в различных соотношениях на свойства оксидно-цинковых варисторов. Выявлены закономерности изменения эксплуатационных характеристик при добавлении в исходный состав легирующих оксидов. Установлен состав и режим термообработки, позволяющие увеличить нелинейность варисторов в области коммутационных токов при одновременном улучшении стабильности на постоянном токе: удалось в значительной мере снизить защитный коэффициент и токи утечки по сравнению с варисторами стандартного состава.*

**Варистор, оксид цинка, оксид иттрия, диоксид циркония, нелинейность вольт-амперной характеристики, защита от перенапряжений**

Керамические оксидно-цинковые варисторы являются наиболее перспективным быстроедействующим средством защиты электрических цепей от импульсных перенапряжений. Они обладают высокой нелинейностью электрических характеристик и, благодаря своей массивности, способны рассеивать большие количества энергии, что позволяет использовать их для защиты устройств мощностью десятки и даже сотни гигаватт. Вследствие возникшей в последнее время необходимости защиты полупроводниковых управляющих схем силового оборудования, предельное напряжение которых лишь незначительно превышает рабочее, актуально повысить нелинейность варисторов в области коммутационных токов, ограничив перенапряжения до безопасного уровня.

Основные процессы, отвечающие за механизм проводимости варисторов, происходят в тонком слое, порядка 50 нм, по границам зерен оксида цинка, поэтому представляется перспективным воздействовать именно на эту область керамического материала для улучшения характеристик получаемых образцов.

Одним из главных методов управления свойствами варисторов является легирование. Добавки присутствуют в каждой фазе и оказывают различное влияние на морфологию и характеристики получаемых структур. Так, оксиды иттрия и циркония создают в межзеренной прослойке дополнительные фазы по границам зерен, ингибируя их рост в процессе обжига, а также изменяют свойства потенциальных барьеров на границах зерен, увеличивая нелинейность варисторов [1], [2].

Варисторы получали по классической керамической технологии. Для смешения компонентов керамики использовалась прогрессивная технология ротационно-пульсационного смешения наноразмерных порошков в жидкой среде. В партии опытных образцов добавили оксиды иттрия и циркония в соотношении, указанном в табл. 1.

Полученные порошки высушивались, гранулировались со связкой и прессовались в диски диаметром 46 мм и толщиной 5 мм при давлении 0.5 т/см<sup>2</sup>. После чего образцы подвергались обжигу в камерной печи при температуре 1140 °С. Далее проводилась термообработка при температурах размягчения стеклофазы, необходимая для достижения

большей нелинейности и уменьшающая деградацию варисторов [3]. После охлаждения методом шоопирования алюминием на торцевые поверхности наносились электроды.

Для анализа вольт-амперных характеристик (ВАХ) варисторов в классификационной области используется метод вольтметра-амперметра: измерение напряжений при фиксированных значениях тока и расчет коэффициента нелинейности варистора по формуле

$$\alpha = \frac{\lg(I_2/I_1)}{\lg(U_2/U_1)},$$

где  $\alpha$  – коэффициент нелинейности; принятые значения токов:  $I_1 = 0.1$  мА и  $I_2 = 1$  мА; напряжение при токе 1 мА называется классификационным ( $U_{\text{кл}}$ ) [4]. Значения коэффициента нелинейности находились в пределах 35–40 для всех партий варисторов. Также важным параметром является градиент классификационного напряжения варистора, т. е. отношение классификационного напряжения варистора к его толщине, позволяющее оценить размер зерен ZnO:

$$G_{\text{кл}} = \frac{U_{\text{кл}}}{h}. \quad (1)$$

Емкостные свойства измерялись при помощи «4275A Multi-frequency LCR meter» фирмы «Hewlett-Packard». Оценка толщины области пространственного заряда (ОПЗ) проводилась исходя из модели, представленной на рис. 1, где обозначены:  $h$  – толщина варистора между электродами;  $n$  – число слоев зерен.

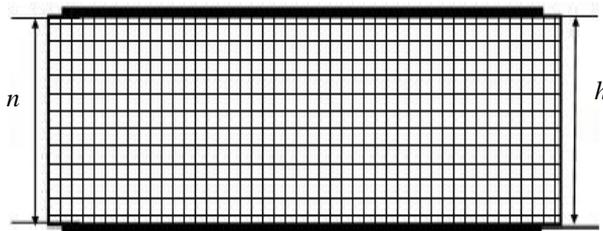


Рис. 1

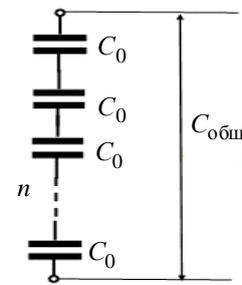


Рис. 2

На рис. 2 представлена эквивалентная схема варистора. Упрощенно считаем зерна одинаковыми кубиками. На границе каждого слоя зерен присутствует емкость ( $C_0$ ), выражаемая по формуле

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_0} \dots \frac{1}{C_0} = n \frac{1}{C_0},$$

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_0}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число слоев зерен.

Таблица 1

№ партии	Количество $Y_2O_3$ , мол. %	Количество $ZrO_2$ , мол. %
1	–	–
2	0.07	–
3	–	0.07
4	0.7	–
5	–	0.7
6	0.07	0.07
7	0.7	0.07

С другой стороны, считая варистор однородным диэлектриком, можно ввести понятие эффективной диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon = AC_{\text{общ}}, \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности.

Тогда, выразив классификационное напряжение через высоту потенциального барьера на границе двух зерен ( $\Phi \approx 3.3$  эВ), подставляем его в формулу (1):

$$n = \frac{\Phi G}{h}. \quad (4)$$

Объединив формулы (2)–(4), получим:

$$\varepsilon = \frac{AC_0\Phi}{Gh}.$$

Если допустить, что  $C_0$  и  $\Phi$  для определенного состава керамики не зависят от размера зерна и температуры обжига, можно свести их в константу  $K$  и построить ряд удобных для анализа кривых  $\varepsilon = \frac{K}{G}$ .

Поскольку для сравниваемых типов варисторов отношение толщин областей пространственного заряда на переходах, в принятом приближении, обратно пропорционально отношению эффективных диэлектрических проницаемостей, можно по графикам сделать вывод о влиянии состава керамики на толщину ОПЗ и, как следствие, на проводимость варисторов.

Данные расчета относительной ширины ОПЗ ( $t_{\text{отн}}$ ) представлены в табл. 2.

Данные позволили рассчитать и построить теоретические зависимости изменения диэлектрической проницаемости для варисторов любых градиентов (рис. 3). На встроеном фрагменте показан участок этой зависимости в большем масштабе.

Таблица 2

Образцы		$K_{\text{среднее}}$	$t_{\text{отн}}$
№ партии	Описание состава		
1	Стандартный	1.888	1.000
2	0.07 мол. % $Y_2O_3$	2.020	0.934
3	0.07 мол. % $ZrO_2$	2.159	0.874
4	0.7 мол. % $Y_2O_3$	2.050	0.921
5	0.7 мол. % $ZrO_2$	2.369	0.797
6	0.07 мол. % $Y_2O_3$ и 0.07 мол. % $ZrO_2$	1.915	0.986
7	0.7 мол. % $Y_2O_3$ и 0.07 мол. % $ZrO_2$	1.922	0.982

Можно заметить, что легирование цирконием в большей степени утоньшает ОПЗ, чем легирование иттрием, пропорционально количеству добавленного оксида. В то же время при добавлении обоих оксидов одновременно они практически нейтрализуют влияние друг друга, предположительно из-за взаимной компенсации разноименно заряженных уровней глубоких ловушек, создаваемых этими примесями.

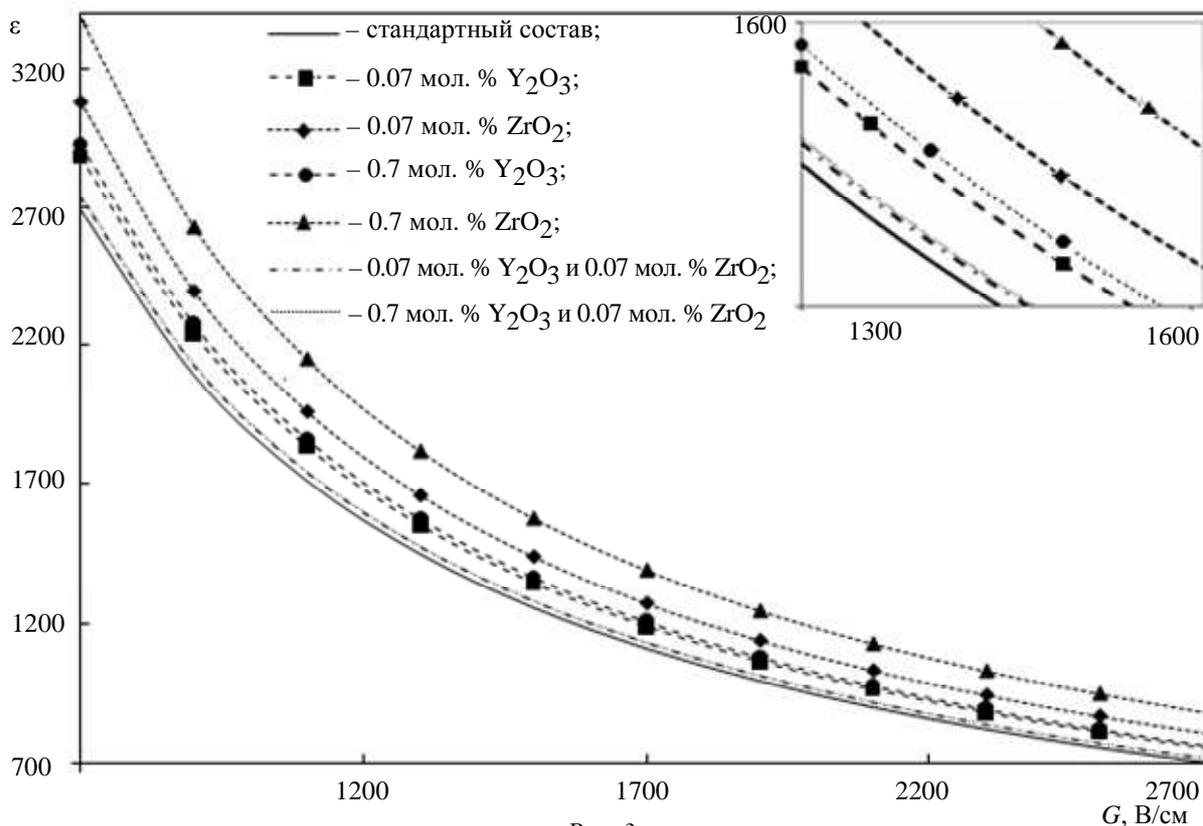


Рис. 3

Импульсные испытания коммутационным током (3 прямоугольных импульса длительностью 2 мс с амплитудой 500 А) проводились на универсальном стенде «МАГНУС», после чего рассчитывался защитный коэффициент, характеризующий степень нелинейности варистора до коммутационных токов:

$$K_3 = \frac{U_{огр}}{U_{кл}},$$

где  $U_{огр}$  – амплитуда напряжения ограничения на варисторе при пропускании через него импульса тока заданной формы и амплитуды.

Обзорный график изменения защитного коэффициента от состава варисторной керамики представлен на рис. 4.

На графике наблюдается значительное уменьшение защитного коэффициента при добавлении легирующих оксидов иттрия и циркония. При этом десятикратное увеличение количества оксида иттрия заметно улучшает этот показатель, тогда как аналогичное увеличение диоксида циркония оказывает неблагоприятное воздействие на результат.

Для исследования влияния термообработки партии варисторов были поделены на группы,

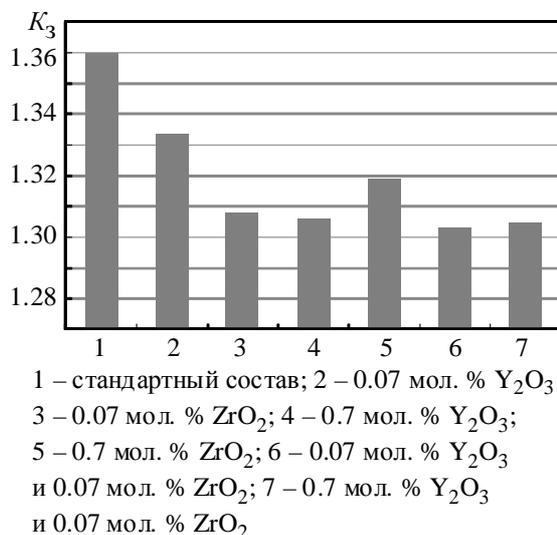


Рис. 4

которые подвергались термообработке при температурах в диапазоне 560...580 °С. Измерения токов утечки проводились при рабочем напряжении с коэффициентом запаса  $k = 0.88$ . Рабочее напряжение определялось как

$$U_{\text{раб}} = U_{\text{кл}} k.$$

Токи измерялись при комнатной температуре и при температуре рабочих испытаний варисторов ( $110 \pm 5$  °С).

На рис. 5 можно видеть сильную зависимость токов утечки ( $I_{\text{ут}}$ ) при вариации состава и температуры термообработки (номера составов с 1-го по 7-й соответствуют указанным в табл. 2).

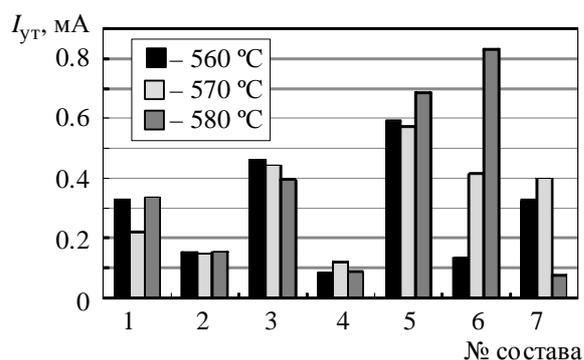


Рис. 5

Здесь также заметно улучшение результатов при увеличении количества добавляемого оксида иттрия и ухудшение при аналогичном увеличении диоксида циркония. Наименьшее значение токов утечки демонстрируют варисторы 7-го состава (с большим содержанием  $Y_2O_3$  и малым  $ZrO_2$ ).

Анализ полученных результатов позволил выявить закономерности изменения свойств варисторной керамики на основе

ZnO при введении легирующих оксидов иттрия и циркония. Увеличение удельной электрической емкости или эффективной диэлектрической проницаемости свидетельствует о создании дополнительных поверхностных состояний на границах зерен. В результате уменьшения толщины области пространственного заряда на границах зерен и, как следствие, увеличения напряженности электрического поля в этой области должно происходить усиление генерации неосновных носителей заряда. Это приводит к увеличению нелинейности ВАХ в области средних токов [5] и, в конечном итоге, к желаемому уменьшению защитного коэффициента в области коммутационных токов. Введение оксидов иттрия и циркония, судя по всему, создает также дополнительные уровни глубоких ловушек в приграничной области, что существенно изменяет проводимость варистора в области рабочих токов или токов утечки. Распределение ловушек, взаимодействие с другими дефектами имеет весьма сложный характер, что подтверждается весьма неожиданным эффектом сильного влияния температуры термообработки в достаточно узком диапазоне 560...580 °С. Причем при определенных условиях, по-видимому, влияние Y и Zr может компенсировать друг друга. При этом наблюдается более сильное влияние на свойства варисторов легирования оксидом циркония по сравнению с оксидом иттрия при одинаковых концентрациях добавок. Этот эффект пропорционально усиливается при увеличении концентрации.

Таким образом, было обнаружено, что наилучшим сочетанием значений защитного коэффициента и тока утечки при повышенной температуре термообработки (580 °С) обладают варисторы, легированные 0.7 мол. %  $Y_2O_3$  и 0.07 мол. %  $ZrO_2$ . Они имеют более низкие значения защитного коэффициента, в среднем на 4 % по сравнению со стандартными, и существенно меньшие (в 3–4 раза) токи утечки при данной температуре термообработки.

Из полученных результатов следует целесообразность проведения спектроскопии импеданса по методике [6], сорбометрии как исходных компонентов, так и спеченных образцов на приборе «СОРБИ» (ЗАО «МЕТА», Новосибирск) [7], а также анализ микроскопии токорастекания при помощи нанолaborатории «Ntegra Терма» (NT-MDT, Зеленоград), возможности которой описаны в работе [8], для развития модельных представлений об особенностях легирования варисторных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Slavko Bernik, Sreco Macek, Bui Ai. Microstructural and electrical characteristics of  $Y_2O_3$ -doped ZnO– $Bi_2O_3$ -based varistor ceramics // J. of the European Ceramic Society. 2001. Vol. 21. P. 1875–1878.
2. Chul-Hong Kim, Jin-Ho Kim. Microstructure and electrical properties of ZnO– $ZrO_2$ – $Bi_2O_3$ – $M_3O_4$  ( $M = Co, Mn$ ) varistors // J. of the European Ceramic Society. 2004. Vol. 24. P. 2537–2546.
3. David R., Clarke J. Varistor Ceramics // Am. Ceram. Soc. 1999. Vol. 82. P. 485–502.
4. Gupta T. K. Application of Zinc Oxide Varistors // Am. Ceram. Soc. 1990. Vol. 73. P. 1817–1840.
5. Pike G. E. Electronic properties of ZnO varistors: A new model // Materials Research Society Symposium Proceedings / North-Holland, Amsterdam, The Netherland. 1982. Vol. 5. P. 369–380.
6. Исследование газочувствительности в наноструктурированных пленках на основе диоксида олова методом импедансной спектроскопии / В. В. Томаев, Л. Н. Гарькин, В. П. Мирошкин, В. А. Мошников // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31, № 2. С. 331–339.
7. Леньшин А. С., Мараева Е. В. Исследование удельной поверхности перспективных пористых материалов и наноструктур методом тепловой десорбции азота // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 6. С. 9–16.
8. Спивак Ю. М., Мошников В. А. Особенности строения фоточувствительных поликристаллических слоев на основе PbCdSe сетчатого типа // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2010. № 1. С. 97–102.

*D. B. Pinskaya, I. V. Saenko*

#### *THE EFFECT OF DOPING WITH THE YTTRIUM AND ZIRCONIUM OXIDES ON THE PROPERTIES OF ZNO-BASED VARISTORS*

*The influence of doping with yttrium and zirconium oxides in various ratios on the properties of zinc oxide varistors has been investigated. Found the regularities of changes in performance with addition of the alloying oxides to started composition. Revealed the composition and heat treatment, allowing to increase the nonlinearity of the varistors in the field of switching currents, while improving the stability of the DC: succeeded to significantly reduce the protection factor and leakage current compared to the standard varistors.*

**Varistor, zinc oxide, yttrium oxide, zirconium oxide, nonlinearity of current-voltage characteristic, surge protection**

УДК 621.793

*В. В. Черниговский, С. А. Марцынюков*

### **ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

*Рассмотрена зависимость коэффициента отражения металлов от длины волны падающего излучения. Предложен оптический метод измерения толщины металлических покрытий и проведены предварительные эксперименты.*

**Коэффициент отражения, металлические покрытия, оптический метод, измерения толщины покрытий**

Современные методы измерения толщины пленок зачастую не всегда отвечают запросам практики, некоторые из них являются либо разрушающими, либо сложными или имеют высокую погрешность измерения. Особенно сложно обстоит дело с измерением толщины металлических покрытий. Поэтому весьма актуальными являются исследования

в области разработки методов, позволяющих проводить измерения толщины металлических покрытий, особенно в процессе их напыления. В частности, может быть рассмотрен оптический способ, а именно определение толщины металлического покрытия по интенсивности отраженного излучения. При этом в исследуемой области спектра определяют коэффициенты отражения образцов, по которым, в свою очередь, можно судить и о толщине покрытий, и о свойствах самого покрытия. Метод позволяет проводить измерения, не разрушая исследуемый материал.

Электромагнитная волна, падая на вещество, вызывает колебания электронов, атомов и молекул вещества. Инфракрасные лучи вызывают колебания атомов в молекулах, а также частиц, находящихся в узлах кристаллических решеток твердых тел. Ультрафиолетовое и видимое излучения могут возбуждать колебания электронов металла. Наиболее сильно действие электромагнитной волны проявляется, когда ее частота совпадает с одной из собственных частот колебания электронов в атомах или близка к ней.

При падении электромагнитной волны на границу раздела сред, одной из которых выступает металлическое покрытие, волна частично отражается от металла, а частично проходит в глубь него. Коэффициент отражения зависит от длины волны и от электропроводности материала.

В металлах источниками вторичных волн являются в основном электроны проводимости, которые возникают вследствие того, что валентные электроны атомов металла являются обобществленными, т. е. не принадлежащими определенному атому. Так как концентрация свободных электронов в металле относительно велика, то соответствующий коэффициент отражения в видимом и инфракрасном диапазонах для чистых металлических поверхностей имеет значения, близкие к единице.

Поглощение электромагнитной волны металлами обусловлено потерями энергии на джоулево тепло. В ультрафиолетовом диапазоне при достаточно высоких частотах падающей электромагнитной волны существенную роль играют вынужденные колебания связанных электронов в ионах кристаллической решетки. Это приводит к сильному уменьшению коэффициента отражения излучения металлами (до 0.04 у серебра при  $\lambda = 0.316$  мкм) и появлению значительной прозрачности тонких металлических пленок.

Строго задача об отражении и поглощении света металлами разрешима лишь в рамках квантовой теории твердых тел. Приближенно эта задача в классической физике описывается уравнениями Максвелла с граничными условиями, соответствующими проводящей границы раздела. Однако приближенный подход сводится к определению коэффициентов отражения ( $\rho$ ) и поглощения через дополнительные величины (толщина скин-слоя, проводимость металла в области оптических частот и т. д.), значения которых весьма неточны. Таким образом, наиболее рациональным на сегодняшний момент является экспериментальное определение зависимостей коэффициента отражения от длины волны падающего излучения. Рассмотрим в качестве примера экспериментально полученные зависимости  $\rho = f(\lambda)$  для различных металлов, приведенные в [1]. Результаты даны для гладкой поверхности металлов (рис. 1). В общем случае значения коэффициента отражения зависят от различных условий, в том числе от степени обработки поверхности и наличия на ней оксидных пленок. Поэтому данные рис. 1 не могут рассматриваться как абсолютно точные для выбранного конкретного металла. В то же время эти зависимости отражают ряд общих закономерностей.

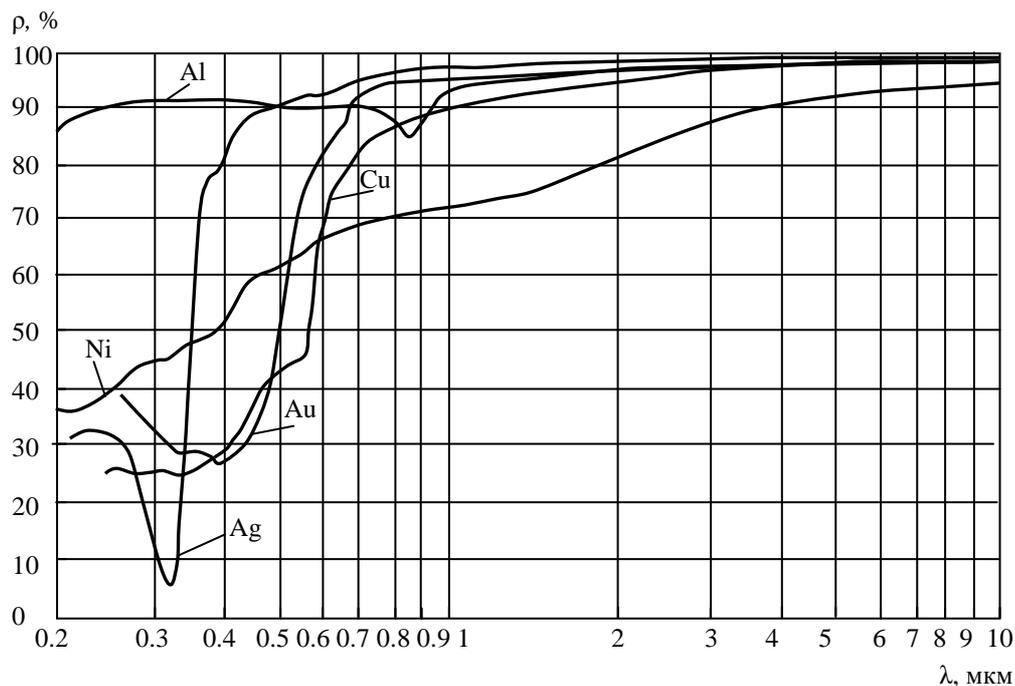


Рис. 1

Как видно из рис. 1, металлы обладают коэффициентом отражения, близким к единице, только для области спектра с длинами волн более 5 мкм. С уменьшением длины волны коэффициент отражения падает. В видимой и ультрафиолетовой областях спектра проявляется внутренний фотоэффект, и ход кривых усложняется. Металлы типа золота имеют невысокий коэффициент отражения в голубой части спектра, который увеличивается по мере смещения к красному краю видимой области спектра. Это определяет цвет металлов типа золота. У металлов типа серебра или алюминия коэффициент отражения достаточно однороден во всей видимой области спектра, чем собственно и определяется их видимая «белизна». Металлы типа железа обычно имеют более низкий коэффициент отражения во всей области спектра и поэтому выглядят более тускло по сравнению с серебром.

Исследования металлов и их оптических свойств показывают, что коэффициенты отражения для массивных металлических образцов и тонких пленок различны.

Работа проводилась на установке, схематичное изображение которой приведено на рис. 2. На установленный в гониометре образец 3 падает сфокусированный в точку с помощью линзы 2 пучок излучения светодиода 1. Гониометр позволяет изменять положение образца относительно падающего пучка излучения на различные фиксируемые углы  $\alpha$ . Отраженное излучение фиксируется фотодиодом 4 и измерительным прибором 5. Фотодиод расположен на подвижке, которая обеспечивает его перемещение относительно образца на угол  $\varphi$  в некотором диапазоне. На результат измерений серьезное влияние оказывает качество оптической настройки и соосность системы.

На кафедре ЭПУ был разработан макет подобной измерительной установки [2], в которой перемещение гониометра производилось вручную. Однако это существенно увеличивало время измерений и снижало достоверность полученных результатов. В модернизированной установке гониометр перемещается с помощью шагового двигателя, что позволяет полностью автоматизировать процесс измерений.

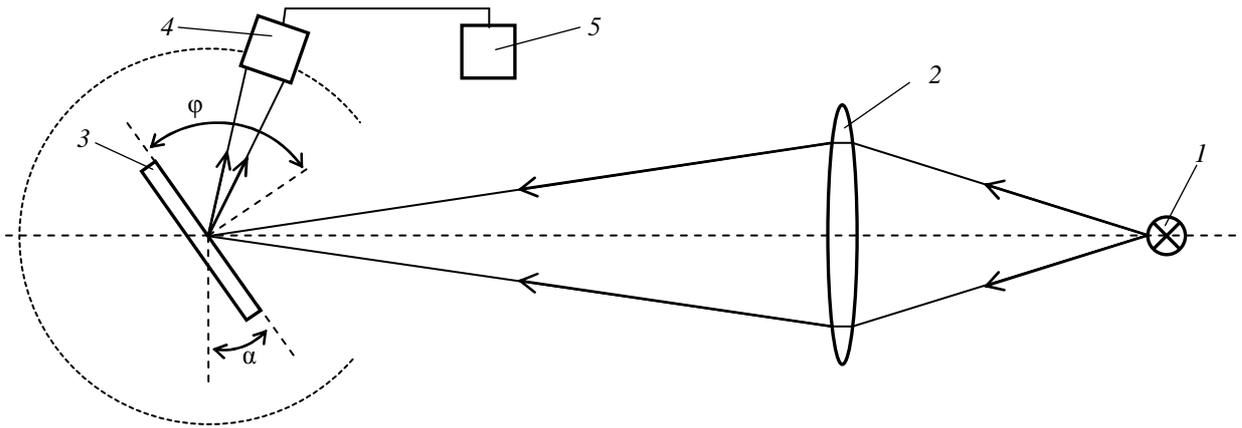


Рис. 2

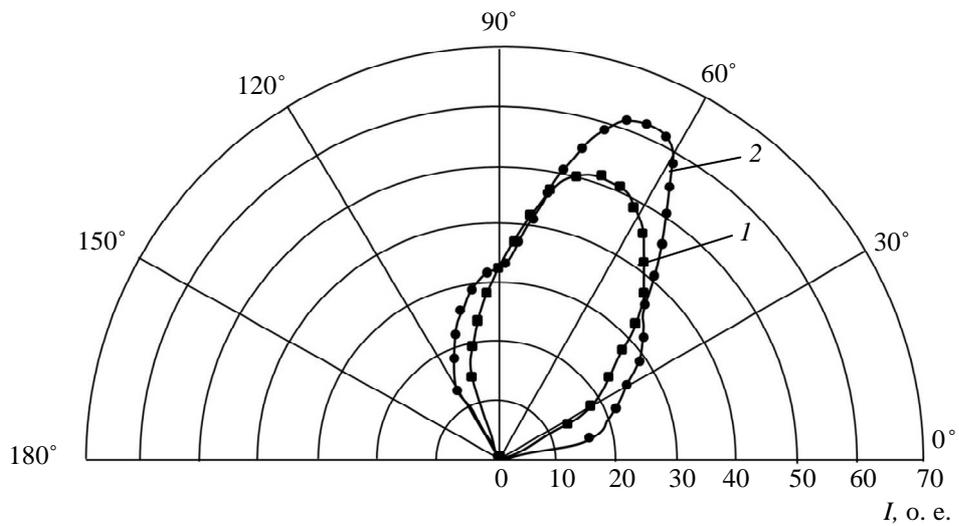


Рис. 3

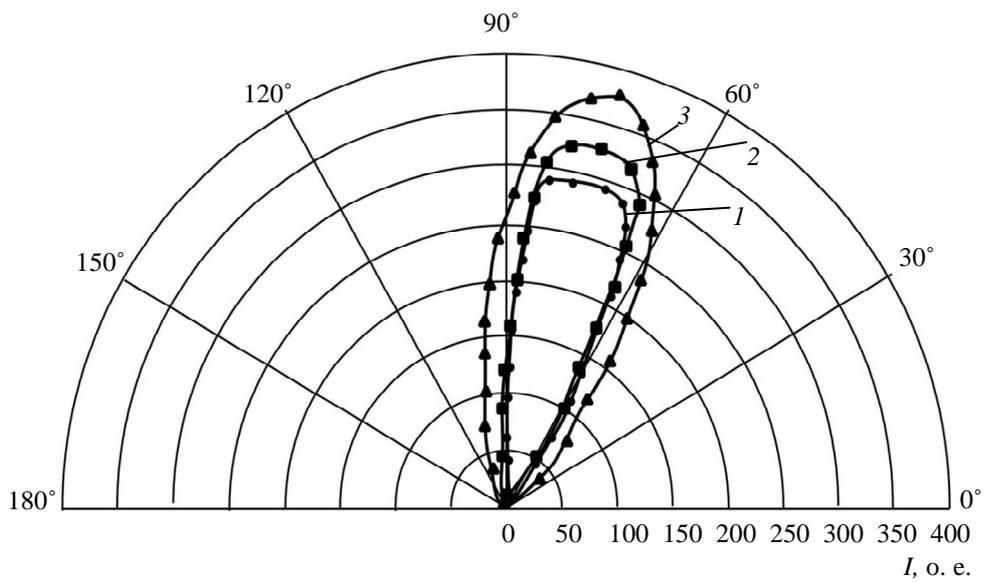


Рис. 4

Для проведения исследований использовался светодиод с длиной волны 0.46 мкм. Выбор был обусловлен необходимостью приблизиться к минимуму коэффициента отражения металлов. В качестве приемника излучения использовался фотодиод.

В работе исследовались пленки серебра, нанесенные на бериллиевые подложки. Толщина пленок варьировалась в пределах 1...10 мкм. В работе измерялся коэффициент отражения по мощности. Так как отражение от образцов носило диффузный характер, то для расчета отраженной мощности по кривой пространственного распределения излучения использовался метод угловых коэффициентов [3].

Полученные результаты приведены на рис. 3–5. Различие диффузного отражения от чистого бериллия 1 и бериллия с покрытием 2 представлено на рис. 3. Большой интерес представляет рис. 4, на котором кривые 1–3 сняты в различных точках образца. Полученные данные говорят о неоднородности нанесенного покрытия и, в принципе, позволяют оценить разброс толщин покрытия.

Итог работы представлен на рис. 5, на котором дается зависимость коэффициента отражения серебряного покрытия от толщины. Толщина образцов была определена на предприятии-изготовителе образцов по поглощению рентгеновского излучения. Как следует из рис. 5, для предлагаемого способа измерения толщины необходимо, чтобы коэффициент отражения оптического излучения подложки заметно отличался от коэффициента отражения монолитного образца из металла покрытия.

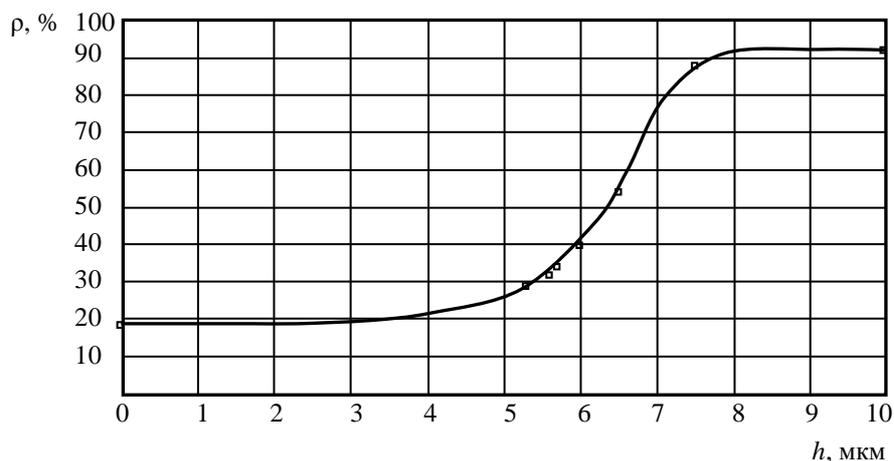


Рис. 5

В результате проделанной работы показана принципиальная возможность измерения толщины металлических покрытий на металлической подложке оптическим способом. При этом установка позволяет при соответствующей доработке использовать ее для контроля процесса самого напыления пленок, что существенно увеличит процент выхода годных изделий при нанесении покрытий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реди Дж. Промышленное применения лазеров. М.: Мир, 1981.
2. Черниговский В. В., Бруснева Е. Н. Оптические исследования металлических покрытий на металлической подложке / ПЖЭ. 2008. № 2–3. С. 31–34.
3. Тиходеев П. М. Световые измерения в светотехнике. М.: Госэнергоиздат, 1962.

*V. V. Chernigovskiy, S. A. Martsinukov*

#### *METALLIC COVERING THICKNESS MEASUREMENT BY OPTICAL METHOD*

*Dependency of reflection metal factor from wavelength falling radiation is considered. Optical method of metallic covering thickness measurement is suggested and preliminary experiments are organized.*

**Reflection factor, metallic covering, optical method, covering thickness measurements**



УДК 51.007.004

*А. А. Копыльцов, А. В. Копыльцов*

## **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ ОТ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Построен алгоритм обработки слабоформализованной информации, который позволяет перерабатывать информацию на основе классификации полученной информации, оценивания ее достоверности и безопасности, установления связей вновь полученной информации с ранее полученной таким образом, чтобы результат обработки информации сохранялся для его использования при последующей обработке информации с целью поддержки принятия решений.*

### **Обработка информации, слабоформализованная информация, недостаток информации, поддержка принятия решений**

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности используется большое количество технических систем. Такие системы осуществляют сбор различной информации (видео- и аудиоинформации, информации о физическом и химическом составе различных веществ и др.). Информация, поступающая от технических систем, весьма разнообразна (по виду (дискретная, аналоговая и др.), по частоте (одноразовая, периодическая, непрерывная и др.), по длительности (кратковременная, продолжительная, постоянная и др.), по размерности (одномерная, многомерная и др.) и др.). Информация, снимаемая с приборов, часто слабоформализованная, нечеткая и содержит помехи, шумы, искажения. Обработка такой информации с целью подготовки к принятию решения осуществляется различными способами, в частности, имеются детерминистские и вероятностные методы извлечения полезной информации, экспертные системы и системы поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта и др. [1]–[5]. Каждая из перечисленных систем имеет свои преимущества и недостатки. Однако системы, позволяющие удовлетворительно обрабатывать подобную информацию, до сих пор не созданы. Сложность решения этой проблемы состоит в том, что объем информации, поступающей от технических систем, с одной стороны, существенно возрастает, а с другой – интервалы времени, в течение которых нужно принять правильное решение, резко уменьшаются.

Таким образом, разработка моделей и алгоритмов обработки слабоформализованной информации, поступающей от технических систем, с целью поддержки принятия решений, актуальна и своевременна.

Алгоритм обработки слабоформализованной информации состоит из 14 модулей: 1. Информация. 2. Распознавание. 3. Классификация. 4. Свертка. 5. Оценивание достоверности полученной информации. 6. Оценивание безопасности полученной информации. 7. Установление связей вновь полученной информации с ранее полученной. 8. Оценивание вероятности, с которой можно доверять вновь полученной информации. 9. Поддержка принятия решения по каждому классу. 10. Поддержка принятия решения (обобщенная). 11. Число подтверждений (связей), подтверждающих правильность принятого решения. 12. Выработка устойчивой реакции на поступающую информацию и ее закрепление. 13. Руководство к действию. 14. Опыт, память (база данных).

Последовательность выполнения алгоритма предусматривает следующие этапы (рис. 1):

1. Информация собирается в модуле «1. Информация». Информация может быть весьма разнообразной. У человека имеется 5 основных источников получения информации (зрение, слух, обоняние, вкус, осязание). Каждый из органов чувств имеет свою чувствительность, т. е. определенный диапазон, в пределах которого возможно получение информации. Что касается технических систем, то в некоторых случаях диапазон существенно шире, чем у человека (например, электромагнитное излучение или звук). Кроме того, разработаны технические системы для восприятия такой информации, которую человек не может непосредственно воспринимать, например радиация ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения).

2. Информация поступает из модуля 1 в модуль «2. Распознавание», где разделяется на аудио- и видеоинформацию, тактильную информацию, вкусовую информацию и другие виды информации. К особенностям информации при ее распознавании можно отнести то, что часто информация о наблюдаемом объекте не одного вида, а нескольких видов, т. е., например, объект можно наблюдать в видео- и аудиодиапазонах. В модуле 2 определяются виды информации, в которых проявляет себя объект наблюдения.

3. Из модуля 2 информация поступает в модуль «3. Классификация», где классифицируется на классы  $K_1, \dots, K_j, \dots, K_n$ . Каждый из классов содержит либо один вид информации (зрение, слух, обоняние, вкус, осязание), либо некоторую их комбинацию по два, по три и т. д. Количество видов информации при желании может быть увеличено. Параметры (количество классов и их разнообразие) в модуле 3 изменяются в процессе работы (наблюдения за каким-либо объектом), т. е. это самообучающаяся система. На начальном этапе работы можно использовать либо обучающую выборку, либо случайным образом сгенерированное распределение поступающей информации между классами.

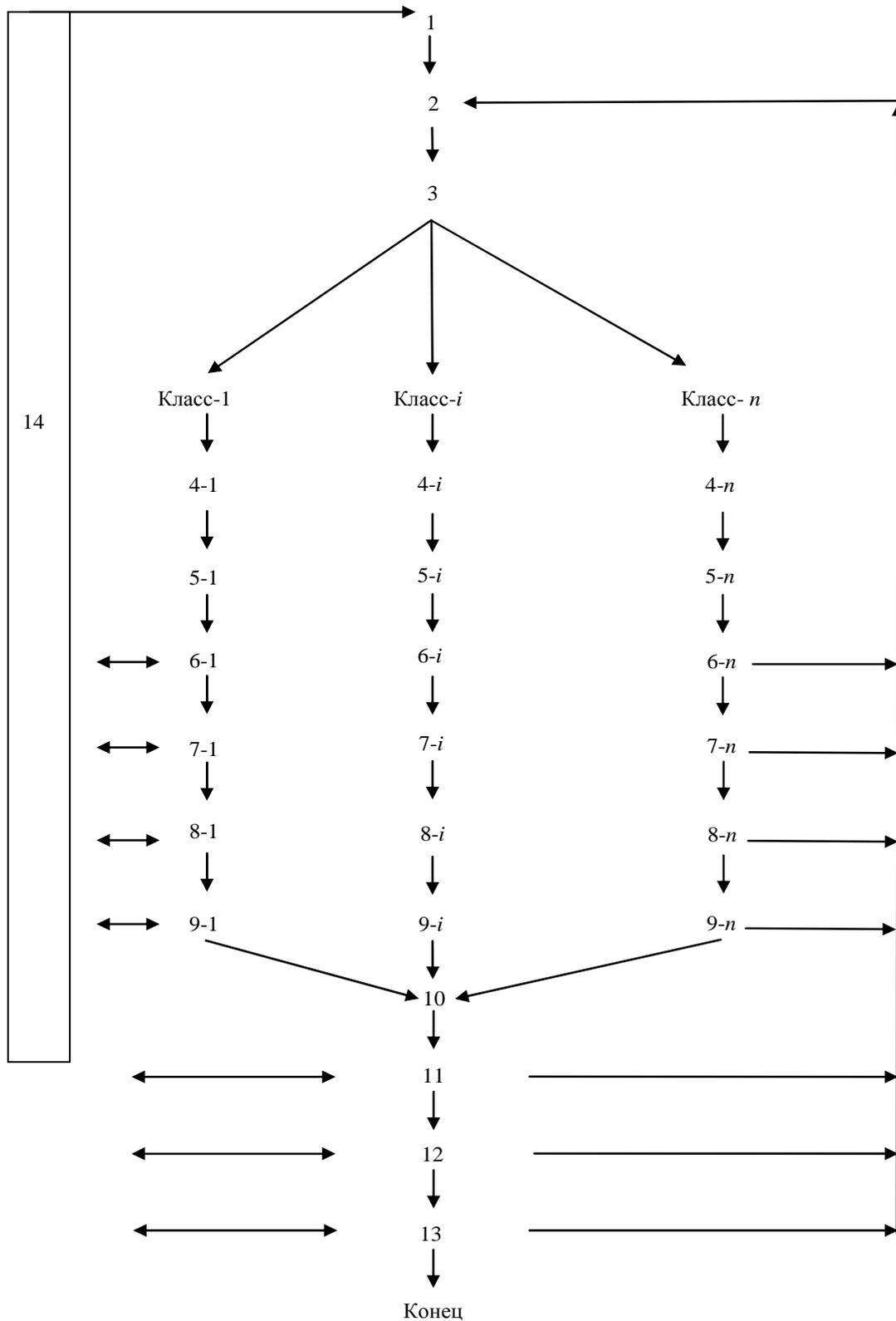


Рис. 1

На рис. 1 в блок-схеме алгоритма цифрами обозначены модули: 1 – модуль «Информация»; 2 – модуль «Распознавание»; 3 – модуль «Классификация»; 4-1, ..., 4-i, ..., 4-n – модули «Свертка»; 5-1, ..., 5-i, ..., 5-n – модули «Оценивание достоверности полученной

информации»; 6-1, ..., 6-*i*, ..., 6-*n* – модули «Оценивание безопасности полученной информации»; 7-1, ..., 7-*i*, ..., 7-*n* – модули «Установление связей вновь полученной информации с ранее полученной»; 8-1, ..., 8-*i*, ..., 8-*n* – модули «Оценивание вероятности, с которой можно доверять вновь полученной информации»; 9-1, ..., 9-*i*, ..., 9-*n* – модули «Поддержка принятия решения (по каждому классу)», 10 – модуль «Поддержка принятия решения (обобщенная)»; 11 – модуль «Число подтверждений (связей), подтверждающих правильность принятого решения»; 12 – модуль «Выработка устойчивой реакции на поступающую информацию и ее закрепление»; 13 – модуль «Руководство к действию»; 14 – модуль «Опыт, память (база данных)»; класс-1, ..., класс-*i*, ..., класс-*n* – классы, на которые разделяется поступающая информация.

4. Информация, поступающая в каждый из классов, подвергается своей, присущей данному классу, обработке по определенному алгоритму (свертке). В итоге получается новая информация, обработанная специальным образом, присущим данному классу.

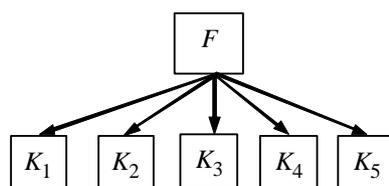


Рис. 2

В основу алгоритма свертки положен экспертный метод, разработанный ранее для оценки качества программных продуктов при недостатке информации [6]–[8]. В алгоритме оценивания качества съема информации с объекта наблюдения используется понятие свертки, суть которой состоит в следующем (рис. 2). Пусть имеется объект наблюдения, с которого осуществляется съем информации нескольких типов (например, зрение, слух и др.). Пусть  $N$  – достаточно большое целое число. Можно взять  $N = 20$  или больше [6].

На рис. 2 схематично показана операция свертки для пяти показателей ( $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  – показатели,  $F$  – результат свертки). Для оценивания качества съема информации с объекта наблюдения предполагаются выполненными несколько условий – условие дискретности, условие приоритета, условие нормировки. Условие дискретности можно записать в следующем виде. Пусть

$$f_i = \sum_{j=1}^{m_i} P_j K_j$$

– формула для расчета качества съема информации с объекта наблюдения, где  $P_1 = 0, P_2 = 1/N, P_3 = 2/N, \dots, P_{N+1} = N/N = 1$  – весовые коэффициенты;  $K_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) – числовые значения используемых типов съема информации (показатели);  $m$  – число показателей, т. е. используемых типов съема информации, определяющих  $f_i$ .

Условие приоритета означает, что вводятся отношения порядка между показателями (такой же или чуть-чуть важнее ( $\geq$ ), важнее ( $>$ ), значительно важнее ( $\gg$ )). А именно, если показатель  $K_a$  такой же или немного важнее показателя  $K_b$ , то  $P_a \geq P_b$ , если показатель  $K_p$  важнее показателя  $K_q$ , то  $P_p > P_q$ , если показатель  $K_p$  значительно важнее показателя  $K_q$ , то  $P_p \gg P_q$ , т. е. между  $P_p$  и  $P_q$  находится по крайней мере одно некоторое  $P_r$  ( $P_p > P_r > P_q$ ).

Предполагается выполненным условие нормировки

$$\sum_{j=1}^{m_i} P_j = 1.$$

Поскольку набор весовых коэффициентов  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N+1}$ , удовлетворяющих условиям дискретности, приоритета и нормировки, не единственный, то получаем несколько значений  $f_j$ . Можно определить их среднее значение

$$\bar{f} = \left( \sum_{j=1}^{N_0} f_j \right) / N_0,$$

дисперсию

$$D = \left[ \sum_{j=1}^{N_0} (f_j - \bar{f})^2 \right] / N_0$$

и среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = D^{0,5},$$

где  $N_0$  – число полученных  $f_j$ . Процедура получения  $\bar{f}$  называется сверткой.

Применяя свертку к показателям (числовым значениям используемых типов съема информации) можно оценить качество съема информации с объекта наблюдения.

5. После свертки в модуле «4. Свертка» осуществляется оценивание достоверности информации в модуле «5. Оценивание достоверности полученной информации» в каждом классе сравнением ее с ранее полученной информацией (предполагается, что есть хранилище (модуль «14. Опыт, память (база данных)») ранее полученной информации). Если информация недостоверная (достоверность ее ниже некоторого, заранее заданного для каждого класса уровня), то осуществляется переход к п. 1, где информация подвергается повторному распознаванию, классификации и помещается в другой класс.

6. В модуле «6. Оценивание безопасности полученной информации» осуществляется проверка безопасности информации в каждом классе сравнением ее с ранее полученной информацией (предполагается, что есть хранилище (модуль 14) ранее полученной информации). Если информация представляет собой опасность (уровень опасности ее выше некоторого, заранее заданного для каждого класса уровня), то осуществляется переход к п. 1, где информация подвергается повторному распознаванию, классификации и помещается в другой класс. Если же и при повторной классификации информация представляет собой опасность, то выдается предупреждение «Информация опасная» и далее управление системой осуществляется в ручном режиме, т. е. с участием человека.

7. Установление связей между вновь полученной информацией в каждом классе и ранее полученной информацией, находящейся в хранилище (модуль 14), осуществляется в модуле «7. Установление связей вновь полученной информации с ранее полученной». Ес-

ли количество связей меньше некоторого, заранее заданного значения, специфичного для каждого класса, то осуществляется переход к п. 1, где информация подвергается повторному распознаванию, классификации и помещается в другой класс.

8. Оценивание вероятности, с которой можно доверять полученной информации в каждом классе, осуществляется в модуле «8. Оценивание вероятности, с которой можно доверять вновь полученной информации». Если вероятность меньше некоторого, заранее заданного значения, специфичного для каждого класса, то осуществляется переход к п. 1, где информация подвергается повторному распознаванию, классификации и помещается в другой класс.

9. Поддержка принятия решения в каждом классе осуществляется в модуле «9. Поддержка принятия решения (по каждому классу)», т. е. генерируются рекомендации для каждого класса (что и когда нужно делать, если получена такая информация).

10. Сбор сгенерированных решений (что и когда нужно делать) из всех классов осуществляется в модуле «10. Поддержка принятия решения (обобщенная)». В этом модуле осуществляется анализ сгенерированных решений в классах и генерация на их основе новой совокупности решений в поддержку принятия решения, а также вывод рекомендаций (что и когда нужно делать). Окончательное решение (выбрать какое-то решение из рекомендованных или принять свое собственное решение) принимает человек.

11. В модуле «11. Число подтверждений (связей), подтверждающих правильность принятого решения» принятое решение сравнивается с решениями, принятыми ранее на основе сравнения с информацией, хранящейся в модуле 14. Если число подтверждений меньше некоторого, заранее заданного числа, то осуществляется переход к п. 1, где информация подвергается повторному распознаванию, классификации и помещается в другой класс.

12. В модуле «12. Выработка устойчивой реакции на поступающую информацию и ее закрепление» вырабатывается устойчивая реакция на многократно поступающую информацию и ее закрепление сравнением полученной информации с информацией, хранящейся в модуле 14. Если вновь полученная и проверенная информация отсутствует в модуле 14, то она в него записывается.

13. В модуле «13. Руководство к действию» сравнением с модулем 14 вырабатываются рекомендации по действиям, которые нужно предпринять, и генерируются рекомендации к действиям.

14. Модуль «14. Опыт, память (база данных)» включает в себя хранилище информации, поступившей ранее. В модуле 14 на основе вновь записанной в него информации и сравнения с ранее записанной информацией генерируется новая информация (гипотезы, идеи), которая поступает в модуль 1.

Таким образом, построен алгоритм для обработки слабоформализованной информации, поступающей, например, от технических систем. Применяя этот алгоритм для обработки информации, получаем на выходе рекомендации по поддержке принятия решений. Окончательное решение принимает человек.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов А. И. Теория принятия решений. М.: Март, 2004.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. Барсегян, М. Куприянов, И. Холод, В. Степаненко. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, Е. Д. Вязилов. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
4. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998.
5. Черноуцкий И. Г. Методы принятия решений / ЛПИ. Л., 1990.
6. Хованов Н. В. Статистические модели теории квалиметрических шкал. Л: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986.
7. Оптимальный метод предварительной оценки качества программного продукта / А. О. Андреев, В. И. Воробьев, А. В. Копыльцов, Б. П. Пальчун // I Межг. конф. "Надежность, живучесть и безопасность технических систем" / ЛДНТП. СПб., 1992. С. 33–36.
8. Методы и модели оценивания качества программного обеспечения / В. И. Воробьев, А. В. Копыльцов, Б. П. Пальчун, Р. М. Юсупов; СПИИРАН. СПб., 1992.

*A. A. Kopyltsov, A. V. Kopyltsov*

### *ALGORITHM OF PROCESSING WEAKLY FORMALIZED INFORMATION FROM PAST TECHNICAL SYSTEMS*

*The algorithm of processing of weakly formalized information which allows to process information on the basis of classification of received information, estimations of its reliability and safety, establishment of communications of again received information with earlier received information so that the result of processing of information remained for its use at the subsequent processing of information for the purpose of decision-making support is developed.*

**Information processing, weakly formalized information, deficiencies of information, decision-making support**

УДК 66-933.6

*Р. А. Нечитайленко*

## **МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

*Предлагается подход к обнаружению аномалий на основе одноклассового идентификатора с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). Рассматривается возможность применения метода главных компонент как средства уменьшения размерности данных.*

**Системы обнаружения аномалий, метод главных компонент, фильтрации информации, искусственные нейронные сети, территориально распределенная информационная система**

Современные методы обнаружения аномалий поведения информационных систем главным образом базируются на двух принципах: сигнатурном (описывающим каждую аномалию особой моделью) и эвристическом (обнаружение аномалий, основанных не на моделях информационных аномалий, а на моделях штатного функционирования наблюдаемой информационной системы). Эвристические системы обнаружения аномалий приобрели большую популярность и для решения задач фильтрации информации. Системы такого типа обучаются на «нормальном» трафике сети и в случае обнаружения отклонений сообщают об ошибке или аномалии. Совпадение методов исследования для фильтрации информации и обработки аномалий делает их полезными при исследовании территориально распределенных информационных систем (ТРИС). Штат-

ные состояния сети и режимы ее работы – предписанные распорядительными документами как гарантированно обеспечивающие доставку всей сетевой информации. Рабочие режимы и состояния обеспечивают достаточный уровень доведения по маршрутам и участкам сети в конкретных условиях работы и с учетом вида доводимой информации. Аномальные режимы/состояния имеют отклонения от «предписанных» и «рабочих», но не обязательно исключаемые из операций доведения информации. По степени отклонения от «предписанных» и «рабочих» режимов/состояний устанавливается их степень аномальности. Можно назначить степень рабочей пригодности для рабочих режимов/состояний. Передаваемые данные специального назначения особым образом пакетируются и передаются по системе в форме пакетов, имеющих свои правила вскрытия и запечатывания. Задачей сети является доставка пакетов информации до элементов сети с учетом состояния структуры сети с соблюдением требований по достоверности доводимой информации. Процедура фильтрации информации обеспечивает адресность доведения информации и исключение ложной доставки.

Для решения задачи проведения и доставки адресной информации в ТРИС выделены следующие наиболее важные критерии оценки эффективности работы системы:

1. CR – количество корректно распознанных аномальных и нормальных пакетов.
2. FP (False Positive, ложная тревога) – количество нормальных пакетов, принятых за аномальные.
3. PPs (Packet per second, пакетоборот) – максимальное количество пакетов, которое система может обработать за 1 с.
4. SS (System stability, устойчивость системы) – доля нестабильности в обучающей выборке, при которой система начинает работать нестабильно.
5. FN (False Negative) – количество аномальных пакетов, принимаемых за нормальные.

Удобством применения методов оценивания эвристических систем является возможность обнаружения неизвестных аномалий, а также слабая зависимость скорости работы от объема базы данных и знаний системы. К сожалению, аппарат современных эвристических систем обладает некоторыми объективными ограничениями:

- скорость работы на этапах тестирования и обучения невысока;
- невозможность получения чистых выборок «нормального» и аномального трафика ведет к вынужденному обучению только на «нормальном» трафике.

Решить указанные проблемы можно с помощью эвристических систем, которые обучаются только на «нормальных» данных. Методы, применяемые в таких системах, могут быть основаны на одноклассовой классификации с использованием устойчивых к переобучению алгоритмов. Этот аппарат используется для описания штатных режимов работы.

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

На рис. 1 изображена классификация с обучением на одном классе. Использование векторного аппарата ИНС в качестве одноклассового классификатора может обеспечить устойчивость к шуму в обучающей выборке и высокую скорость на этапе классифицирования [1]. Одним из способов реализации одноклассового классификатора является использование многослойного перцептрона (МП) в качестве адаптивного фильтра. Многослойный перцептрон – это искусственная нейронная сеть прямого распространения.



Рис. 1

Рассмотрим несколько модифицированный метод классификации на основе многослойного перцептрона. Пусть существует набор векторов  $V_n$ , каждый из которых является положительным и имеет размерность  $m$ . Выберем некую метрику  $D$ , которая описывает расстояние между векторами. Построим МП с  $m$  входными нейронами,  $h$  нейронами скрытого поля и  $m$  выходными нейронами, при этом скрытый слой имеет сигмоидальную функцию активации, выходной – линейную. Для обучения методу обратного распространения будем использовать обучающую выборку  $X_n$  вида  $\{(x_1, x_1), \dots, (x_n, x_n)\}$ . Другими словами, построенная ИНС будет работать как адаптивный фильтр, который, приняв входной сигнал (вектор), должен без искажений передавать его на выход. Таким образом, для векторов, похожих на векторы обучающей выборки, расстояние  $P(x_i, y_i) \rightarrow 0$ , где  $y_i$  – выходной вектор ИНС при поступлении на вход вектора  $x_i$ . После обучения, если выбрана нестандартная функция  $P$ , нужно пропустить всю обучающую выборку через ИНС и получить пороговое значение

$$\text{thres} = (1 + \theta) \max_{\forall i \in (1, n)} P(x_i, y_i),$$

где  $\theta$  – пороговый коэффициент. Далее, чтобы узнать, является ли произвольный вектор  $x$  положительным, достаточно получить посредством ИНС вектор  $y$  и проверить, не превышает ли порог  $\text{thres}$  значения  $P(x, y)$ .

Видно, что после обучения ИНС будет эмулировать тождественные отображения для векторов из положительного множества; векторы из отрицательного множества будут искажаться гораздо больше.

Три основных параметра, которые напрямую влияют на эффективность работы такого одноклассового классификатора:

1)  $h$  – количество нейронов скрытого слоя, напрямую влияющих на объем так называемой памяти нейросети; если  $h$  будет больше или равно  $m$ , то возникнет опасность «переобучения», т. е. сеть напрямую приблизится к тождественному отображению и будет любые данные, поступившие на вход, передавать с минимальным изменением на выход;

если же  $h$  будет слишком маленьким, то возможно «недообучение» сети, т. е. положительный класс будет не до конца определен;

2)  $\eta$  – коэффициент скорости обучения (LR, learning rate), влияющий как на скорость обучения, так и на эффективность «запоминания»; при больших  $\eta$  сеть может никогда не обучиться, при малых – обучаться слишком долго или «переобучиться»;

3)  $\mu$  – коэффициент инерционности (LM, Learning Momentum), влияющий как на скорость обучения, так и на качество (performance) обучения.

Одноклассовый классификатор на базе ИНС обладает следующими важными характеристиками [2]:

– высокой производительностью и низкими аппаратными требованиями на этапе классифицирования;

– низкой чувствительностью к шуму;

– высокими аппаратными требованиями и временными затратами на этапе обучения.

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

**Сокращение размерности данных.** РСА (Principal Component Analysis) – одно из основных средств уменьшения размерности данных с потерей наименьшего количества информации. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных. Пусть имеется матрица переменных  $X$  размером  $N \times M$ , где  $N$  – число образцов (строк), а  $M$  – число независимых переменных (столбцов). В методе главных компонент используются новые формальные переменные  $t_a (a=1, \dots, M')$ , являющиеся линейной комбинацией исходных переменных  $x_j (j=1, \dots, M)$ :  $t_a = p_{a1}x_1 + \dots + p_{aj}x_j$ . С помощью новых переменных матрица  $X$  разла-

гается в произведение двух матриц  $T$  и  $P$ :  $X = TP + E = \sum_{a=1}^{M'} t_a p_a + E$ .

Матрица  $T$  называется матрицей счетов размером  $N \times M'$ , матрица  $P$  – матрицей нагрузок размером  $M \times M'$ ,  $E$  – матрица остатков размером  $N \times M$ . Новые переменные  $t_a$  называются главными компонентами, а сам метод – методом главных компонент. Это значение заведомо меньше числа переменных  $M$  и числа образцов  $N$ .

После того как построено пространство из главных компонент, новые образцы  $X_{\text{new}}$  могут быть на него спроецированы, иными словами – определены матрицы из счетов  $T_{\text{new}}$ . В методе РСА это делается просто:  $T_{\text{new}} = X_{\text{new}} P_T$ . Размерность результирующего про-

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

Так, объединив одноклассовый классификатор с методом редукации пространства, можно построить модель эвристической системы обнаружения аномалий.

**Модель выявления аномальностей системы.** На этапе классифицирования модель системы можно изобразить в следующем виде ( $\mathbf{v}$  – произвольный входной вектор):

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

где  $D$  – функция расстояния;  $P$  – матрица главных компонент; ИНС – одноклассовый классификатор на базе МП. Если  $F(\mathbf{v}) > \text{thres}$ , то  $\mathbf{v}$  – аномален, иначе нормален. Этап классифицирования в данной модели будет состоять из нахождения параметра  $\text{thres}$ .

Участки перегиба функции претендуют на аномальный режим работы при аномальном состоянии сети.

Зависимость порога от новой размерности пространства представлена на рис. 2. Из рис. 3 можно сделать вывод, что время классифицирования почти линейно зависит от количества выбранных компонент.

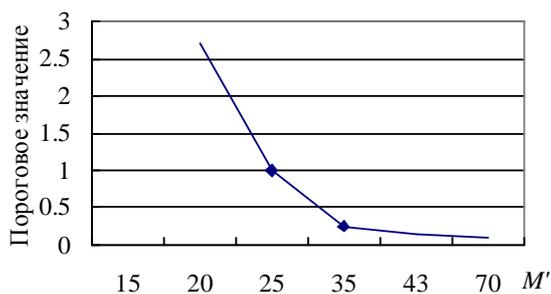


Рис. 2

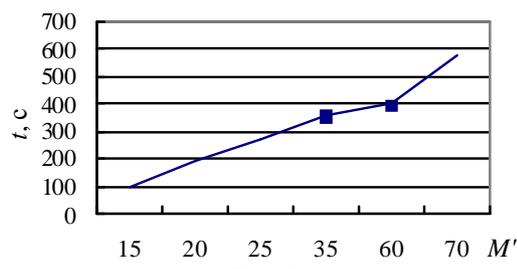


Рис. 3

Итак, комбинация ИНС и метода главных компонент способна эффективно обнаружить претендента на аномалию. Обнаруженная аномалия запускает режим фильтрации пакетированных данных по правилам вскрытия адресной информации. Обнаруженные претенденты на аномалию предотвращают ложное вскрытие «чужим» адресатом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. С. 33.
2. Технологии искусственного интеллекта: В 2 ч. Ч. II / Б. Я. Советов, И. В. Раков, В. В. Цехановский и др. СПб.: Технолит, 2008.

R. A. Nechitaylenko

### DEMENSIONALITY REDUCTIONS METHODS FOR FILTERING INFORMATION IN GEOGRAPHICALLY DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM

*Anomaly detection model based on one-class classification via artificial neural network is proposed. The possibility of applying the method of principal components as a means of reducing the dimension of information*

**Anomaly detection, principal component analysis, information filtering, artificial networks, geographically distributed information system**

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ СТРУКТУРИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНОГО ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Обсуждается вопрос оптимизации инфраструктуры центра обработки данных (ЦОД). Рациональной является инфраструктура ЦОД, которая позволяет выполнять текущие задачи, а также обеспечивает дальнейшее развитие с учетом роста объемов информационных услуг и повышения требований к показателям качества по предоставлению услуг.*

### **Центр обработки данных (ЦОД), информационная услуга, качество обслуживания, модульная структура ЦОД, оптимизация инфраструктуры ЦОД**

В настоящее время практически все крупные операторы связи и сервис-провайдеры стали оказывать услуги хостинга в центрах обработки данных.

Процесс предоставления информационных услуг характеризуется появлением соглашений о качестве обслуживания (Service Level Agreement – SLA). SLA-соглашение – это часть договора на обслуживание между провайдером и клиентом, в котором описывается упорядоченная система показателей для контроля качества предоставляемых услуг, а также штрафы за нарушение соглашения и вознаграждения в случае успешного его выполнения. Наиболее распространенными показателями качества, задаваемыми в SLA-соглашениях, являются среднее время ответа на запрос и максимальное время ответа для заданной доли запросов. По истечении отчетного периода SLA-соглашения сервис-провайдер получает доход и/или выплачивает штрафы в соответствии с предоставленным качеством услуг.

Для обеспечения должного качества обслуживания клиентов ЦОД должен иметь соответствующую инфраструктуру, которая выбирается на этапе его проектирования. Проведенные исследования показывают, что рациональным является решение, которое, с одной стороны, позволяет выполнять текущие задачи, а с другой – обеспечивает долгосрочную защиту инвестиций и позволяет ЦОД развиваться, так как объемы информации в будущем будут только расти, а показатели качества по предоставлению информационных услуг – повышаться [1].

*Инфраструктура центра обработки данных.* Центр обработки данных, как и любая сложная система, имеет модульную структуру, общий вид которой приведен на рис. 1 (ИТ-инфраструктура ЦОД). Серверный комплекс включает в себя серверы информационных ресурсов, приложений, представления информации и служебные серверы. Система хранения данных предназначена для организации надежного хранения информационных ресурсов и предоставления доступа к ним [2]. Сетевая инфраструктура содержит оборудование маршрутизации и коммутации, организации оптических каналов связи, подключения пользователей и средства обеспечения информационной безопасности. Инженерные системы, входящие в ЦОД, отвечают за надежное электропитание, климатическую, физическую безопасность и кабельную инфраструктуру, предоставляя все необходимые условия для надежной эксплуатации

вычислительного оборудования в целом. Системы управления ЦОД обеспечивают контроль и администрирование всех подсистем ЦОД. Компоненты управления образуют целостную систему, направленную на комплексное управление всей инфраструктурой ЦОД [3].

Система управления										
Инвентаризация ресурсов			Мониторинг производительности и планирования ресурсов			Регистрация и устранение неисправностей		Управление качеством ИТ-сервисов		
Централизованное управление инфраструктурой ЦОД										
Решения информационной безопасности										
Система хранения данных					Серверный комплекс			Сетевая инфраструктура		
Управление хранением	Сеть хранения данных	Дисковые массивы	Виртуализация хранения	Система резервного копирования и аварийного восстановления данных	RISC-серверы			Локальные вычислительные сети	Решения доступа	Частные виртуальные сети
					Серверы стандартной архитектуры					
					Блейд-серверы					
					Виртуализация ресурсов					
					Кластерные системы					
Инженерные системы эксплуатации										
Система электроснабжения		Система кондиционирования		Автоматизированная система диспетчеризации и управления		Структурированная кабельная система		Защищенные помещения		
Система обнаружения пожара и газового пожаротушения										

Рис. 1

ЦОД структурируется из функциональных модулей в зависимости от масштаба корпоративной сети, которую ЦОД обслуживает, поступающей нагрузки, особенностей запросов и бизнес-приложений. С увеличением нагрузки по определенному классу запросов производительность ЦОД увеличивается расширением серверного комплекса, появление новых бизнес-приложений может привести к появлению нового кластера серверов. С учетом необходимости резервного копирования, зеркалирования и других процессов, требующих значительных объемов памяти, все системы хранения являются съемными и взаимозаменяемыми. При необходимости можно добавлять дополнительные типы систем хранения – более современные или объемные.

*Постановка задачи оптимизации структуры ЦОД.* На сегодняшний день накоплен значительный опыт проектирования ЦОД, однако базовой задачей остается оптимизация его струк-

туры. Последняя является определенной системной парадигмой, а методы ее решения позволяют решать частные проектные задачи: выбор архитектуры ЦОД, выбор пропускных способностей элементов ЦОД, поиск оптимального размещения информационных ресурсов, расчет показателей качества обслуживания, в частности вероятностно-временных характеристик [4].

Сформулируем задачу оптимизации эффективного и сбалансированного ЦОД в терминах смешанного программирования, одновременно дискретного, целочисленного и непрерывного типа. Такие переменные, как изменяемое в процессе оптимизации число серверов, кластеров, систем хранения, коммутаторов и каналов связи, относятся к классу целочисленных, а выбор пропускных способностей и производительности элементов ЦОД осуществляется из некоторого дискретного ряда. К непрерывным переменным относятся различные вероятностно-временные характеристики.

Введем следующие обозначения:

$\vec{G}$  – вектор показателей качества ЦОД, таких, как пропускная способность ЦОД, время обработки запроса клиента и т. п.;

$g_{i\text{доп}}$  – допустимое значение  $i$ -го показателя качества, определенное в соглашении о качестве обслуживания;

$\Theta$  – множество, задающее технические характеристики элементов ЦОД, такие, как производительность сервера, время доступа к системе хранения и т. п.;

$\Pi$  – множество оптимизируемых параметров, таких, как число серверов в кластере, число кластеров, систем хранения и т. п.

Тогда задача структурной оптимизации ЦОД может быть сформулирована как смешанная многопараметрическая и многокритериальная экстремальная задача с ограничениями: при заданных значениях элементов множества параметров  $\Theta$  найти оптимальную структуру ЦОД, такую, чтобы выполнялись условия:

$$0 < g_i(\Theta, \Pi) \leq g_{i\text{доп}}, \quad g_i \in \vec{G}; \quad (1)$$

$$\phi \rightarrow \min f(\Theta, \Pi), \quad (2)$$

где  $\phi$  – аддитивная функция стоимости ЦОД.

Стоимость ЦОД – это суммарная стоимость технических средств и программного обеспечения. Стоимость технических средств определяется их составом и техническими характеристиками. Стоимость программного обеспечения определяется в основном затратами на разработку программ и тиражируемостью программ.

Решение сформулированной задачи распадается на 2 этапа. На первом этапе на соответствующих моделях находятся зависимости показателей качества  $\vec{G}$  или анализируются вероятностно-временные характеристики ЦОД. На втором этапе решается оптимизационная задача, определяемая выражениями (1), (2).

*Предлагаемые пути решения.* Задача анализа вероятностно-временных характеристик ЦОД имеет более низкий уровень сложности по сравнению с задачей оптимизации структуры и часто представляет ее подзадачу, что обуславливает возможность применения моделей, методов, алгоритмов и инструментальных средств оптимизации структуры ЦОД и предопределяет простоту их применения.

В зависимости от целей исследования задача анализа сводится к частным задачам [4]:

– оценка интегральных и дифференциальных характеристик существующего ЦОД (проекта ЦОД);

– исследование характера зависимости интегральных и дифференциальных характеристик ЦОД от входных данных, внешних условий и внутренних параметров ЦОД.

Способы решения задачи анализа характеристик ЦОД нацелены на получение как точечных, так и интервальных оценок и сводятся к нахождению различных параметрических зависимостей исследуемой интегральной и дифференциальной характеристики от интересующих проектировщика факторов. В качестве таких факторов могут выступать отдельные переменные, группы параметров, ограничения и т. п. В качестве анализируемых величин могут фигурировать такие нестандартные параметры, как архитектура ЦОД, связность серверов и кластеров, суммарный входящий трафик и т. п., а в качестве интегральных и дифференциальных характеристик – усредненные, оптимальные или субоптимальные значения показателей качества обслуживания пользователей и их распределение по отдельным элементам ЦОД [4].

Если непосредственный просмотр интегральных и дифференциальных показателей ЦОД не позволяет выявить «узкие» места, используется аппарат теории чувствительности, позволяющий оценить:

– среднюю эффективность, имеющую практический смысл лишь для однородных (взаимозаменяемых) факторов, например удельного вклада  $j$ -го элемента в общесетевую производительность;

– предельную эффективность, показывающую максимальный прирост выходного показателя при увеличении  $\xi$ -й переменной на «малое» значение;

– безразмерные коэффициенты эластичности выходного показателя по соответствующему фактору, показывающие, на сколько процентов изменится выходной показатель при изменении соответствующего фактора на 1 %;

– предельные нормы замещения потоков, определяющие величину  $\omega$ -го потока, необходимую для замещения единицы  $k$ -го потока при фиксированной задержке в задаче управления потоками, базирующейся на механизме стабилизации [5].

Одним из инструментов оценки эффективности ЦОД, решения вопросов развития его инфраструктуры и выявления элементов, нуждающихся в модернизации, является диаграмма «стоимость–загрузка». Диаграмма позволяет оценить: насколько эффективно используется тот или иной ресурс ЦОД в различные моменты времени, в какой степени сказываются негативные факторы, сколько ресурсов уходит на поддержку обеспечивающих процессов, какому варианту построения (модернизации) ЦОД отдать предпочтение.

Методика основана на оценке коэффициента  $S$  эффективности использования элементов ЦОД и коэффициента дисбаланса  $D$  и последующей интерпретации результатов в виде гистограмм и графов. Объемы ресурсов априори приводятся к одной единице измерения, например стоимостной. Коэффициент  $S$  изменяется в интервале  $[0, 1]$ , при этом, чем большее значение он принимает, тем лучше используются элементы ЦОД:

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i,$$

где  $\alpha_i$  – относительная стоимость  $i$ -го элемента ЦОД;  $\rho_i$  – коэффициент использования во времени  $i$ -го элемента ЦОД;  $n$  – число рассматриваемых элементов ЦОД.

Для полностью загруженного ЦОД коэффициент  $S = 1$ , а для неиспользуемого  $S = 0$ .

Коэффициент дисбаланса  $D$  повторяет структуру известной статистической формулы стандартного отклонения  $D = 2 \left[ \sum_{i=1}^n (S - \rho_i)^2 \alpha_i \right]^{1/2}$  и характеризует степень неравномерности загрузки элементов и запас по ресурсам. Элементы с большими численными значениями отклонений (выражение в круглых скобках) от средневзвешенной загрузки ЦОД относятся либо к «узким» по пропускной способности местам ЦОД, либо к недозагруженным элементам ЦОД. Для полностью сбалансированной системы все  $\rho_i$  одинаковы. Максимально разбалансирована такая система, в которой одна часть элементов загружена на 100 %, а другая часть не используется совсем.

Для графического представления результатов в простейшем случае используются гистограммы, по оси абсцисс которых откладывается относительная стоимость  $\alpha_i$  каждого компонента ЦОД, а по оси ординат – их коэффициент использования  $\rho_i$ . При этом коэффициент  $S$  численно равен площади нижней части гистограммы. В более общем случае строятся многоуровневые гистограммы «стоимость–загрузка», где область  $S$  распадается на подобласти по полезной работе, по системным издержкам и непроизводительным потерям. Коэффициент дисбаланса  $D$  подобным свойством аддитивности не обладает и не позволяет учесть влияние различных элементов на общий дисбаланс ЦОД.

Для графического представления результатов в простейшем случае используются гистограммы, по оси абсцисс которых откладывается относительная стоимость  $\alpha_i$  каждого компонента ЦОД, а по оси ординат – их коэффициент использования  $\rho_i$ . При этом коэффициент  $S$  численно равен площади нижней части гистограммы. В более общем случае строятся многоуровневые гистограммы «стоимость–загрузка», где область  $S$  распадается на подобласти по полезной работе, по системным издержкам и непроизводительным потерям. Коэффициент дисбаланса  $D$  подобным свойством аддитивности не обладает и не позволяет учесть влияние различных элементов на общий дисбаланс ЦОД.

Выводы по результатам исследования:

1. По результатам анализа загруженности ЦОД можно сделать выводы:

– о принадлежности анализируемого ЦОД к классу эффективно используемых и сбалансированных ЦОД, для которых коэффициент  $S$  должен быть не менее 0,9, а коэффициент  $D$  – не более 0,1;

– снижении влияния системных издержек и негативных факторов на эффективность функционирования ЦОД;

– уменьшении доли неэффективно используемых средств, вложенных в различные подсистемы и элементы ЦОД;

– устранении части «узких» и потенциально «узких» мест ЦОД;

– необходимости дозагрузки или перераспределении ресурсов между серверами, кластерами и системами хранения ЦОД.

2. Предложенная методика может применяться не только для оценки эффективности использования различных подсистем (компонентов, элементов) ЦОД, но и для сопоставления эффективности организации различных процессов обслуживания.

3. Характер задачи оптимизации структуры ЦОД является ресурсосберегающим и создающим источник дополнительных инвестиций. Кроме того она потенциально широкая: задача охватывает вопросы планирования, проектирования и сетевого менеджмента, что делает ее конструктивным инструментарием подготовки решений по развитию существующих ЦОД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. М.: Высш. шк., 2006.
2. Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовский В. Д. Базы данных: теория и практика. М.: Юрайт-Издат, 2012.
3. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высш. шк., 2006.
4. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Юрайт-Издат, 2012.
5. Воробьев А. И. Метод расчета запаса по пропускным способностям центра обработки данных // XII Междунар. конф. «Информатика: проблема, методология, технологии», Воронеж, 9-12 февраля 2012. С. 136–138.

*B. Y. Sovetov, A. I. Vorob'ev*

### *APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS IN PROBLEMS OF STRUCTURING THE CORPORATE DATA CENTER*

*The question of the data center infrastructure optimizing. Sound infrastructure is the data center, which allows you to perform tasks, and provides a further development, taking into account the growth in information services and improves the quality of performance requirements for the provision of services.*

**The data center, information service, quality of service, the modular structure of the data center, optimizing the data center infrastructure**

УДК 004.056.53

*С. В. Штанько, Н. А. Жукова*

## **СХЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДАННЫХ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*Рассмотрены существующие подходы к реализации функций аутентификации пользователей и данных в распределенных информационных системах, и предложен новый подход, позволяющий избежать недостатков существующих протоколов в рамках требований, предъявляемых к безопасности информационной системы.*

**Распределенная информационная система, электронная цифровая подпись, аутентификация**

При развертывании распределенных информационных систем часто возникает необходимость использования различных функций защиты данных, в том числе и криптографической защиты. В зависимости от типа и назначения информационной системы может возникнуть необходимость в функциях аутентификации данных и пользователей и шифрования данных. При этом необходимо обеспечить достаточно высокий уровень защиты данных – исключить возможность использовать для аутентификации перехваченные при передаче данные и данные, хранящиеся в базе данных. Как правило, реализованные в настоящее время подходы к аутентификации пользователей используют протоколы и сервисы, которые для большинства информационных систем являются избыточными [1]–[3]. В связи с этим возникает задача разработки схемы аутентификации пользователей, которая позволит обеспечить достаточно высокий уровень защиты данных при относительно простой реализации.

*Существующие подходы к проблеме аутентификации пользователей в распределенных информационных системах.* Рассмотрим распределенную информационную систему с большим количеством рабочих мест и одним сервером. При этом пользователи не привязаны к рабочим местам и могут входить в систему с различных рабочих станций (терминалов).

Серверов может быть и больше, например, один для онтологии (их также может быть несколько), один для картографической информации и т. д. Под онтологией будем понимать детальную формализацию некоторой области с помощью концептуальной схемы, состоящей из иерархической структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области. Будем рассматривать один сервер онтологии объектов, используемых в информационной системе, как отображаемых, так и неотображаемых. Такая информационная система может предоставлять различные данные для различных пользователей. В этом случае необходима реализация функции аутентификации пользователей и разделения доступа. Для этого будем использовать процедуры идентификации и аутентификации пользователей при входе в систему [1], [4]–[6]. Для идентификации пользователя  $A$  используем некоторую уникальную информацию, сопоставленную пользователю, – идентификатор  $Id_A$ . В простейшем случае это его условное наименование, так называемый логин. Сервер (и другие пользователи) идентифицирует пользователя по этой уникальной информации. Для того чтобы возможный нарушитель не мог предъявить чужой идентификатор, необходима процедура аутентификации. Ее можно выполнить на основе некоторых уникальных данных, присущих пользователю, например его биометрических данных, либо какой-то секретной информации, известной только ему. В простейшем случае это пароль  $PASS_A$  – некоторое секретное слово, набор символов, известный только пользователю и хранящийся в базе данных (БД) пользователей системы. Для проведения процедуры аутентификации пользователь вводит идентификатор и предъявляет пароль. Система проверки по идентификатору находит пароль пользователя и сверяет его с введенным. В случае совпадения пользователь  $A$  получает доступ к системе, в противном случае доступ запрещается.

Для того чтобы злоумышленник, получивший доступ к базе данных пользователей либо перехвативший аутентификационную информацию, не мог получить доступ к паролю пользователя, передается и хранится в базе данных не сам пароль, а его хеш-функция  $h_A = \text{hash}(PASS_A)$ . При использовании терминала, после ввода пароля пользователем, пароль хешируется, хеш-функция  $h_A$  передается серверу для аутентификации, а сам пароль в открытом виде  $PASS_A$  в памяти не сохраняется. В простейшем случае стандартная процедура аутентификации, применяемая в том или ином виде в существующих системах, выглядит следующим образом (рис. 1).

Описанная схема подвержена атакам перехвата аутентификации информации [1], [3]. Злоумышленник может перехватить хешированный пароль  $h_A$  и использовать его в дальнейшем, не зная сам пароль  $PASS_A$ . Чтобы предотвратить атаку данного типа, необходимо вводить в хеш-функцию некую переменную информацию. Это позволит при проведении процесса аутентификации каждый раз отсылать на сервер различную информацию, например текущее время. В этом случае хеш-функция  $h_A = \text{hash}(PASS_A + t)$  будет каждый раз иной и бесполезной для перехватывающего, так как аргумент функции будет различным. Однако данной схеме присущ следующий недостаток: клиентский терминал и сервер должны быть синхронизированы с точностью до единичного отсчета времени, что достаточно сложно реализовать на практике.

Другим подходом, позволяющим избежать жестких требований по синхронизации, является использование в качестве аргумента хеш-функции вместо метки времени  $t$  случайного числа  $r$ . Алгоритм в этом случае может быть таким: сервер по запросу клиента А генерирует число  $r$ , передает его клиенту А, который вычисляет  $h_A = \text{hash}(\text{PASS}_A + r)$  и отправляет серверу для аутентификации.

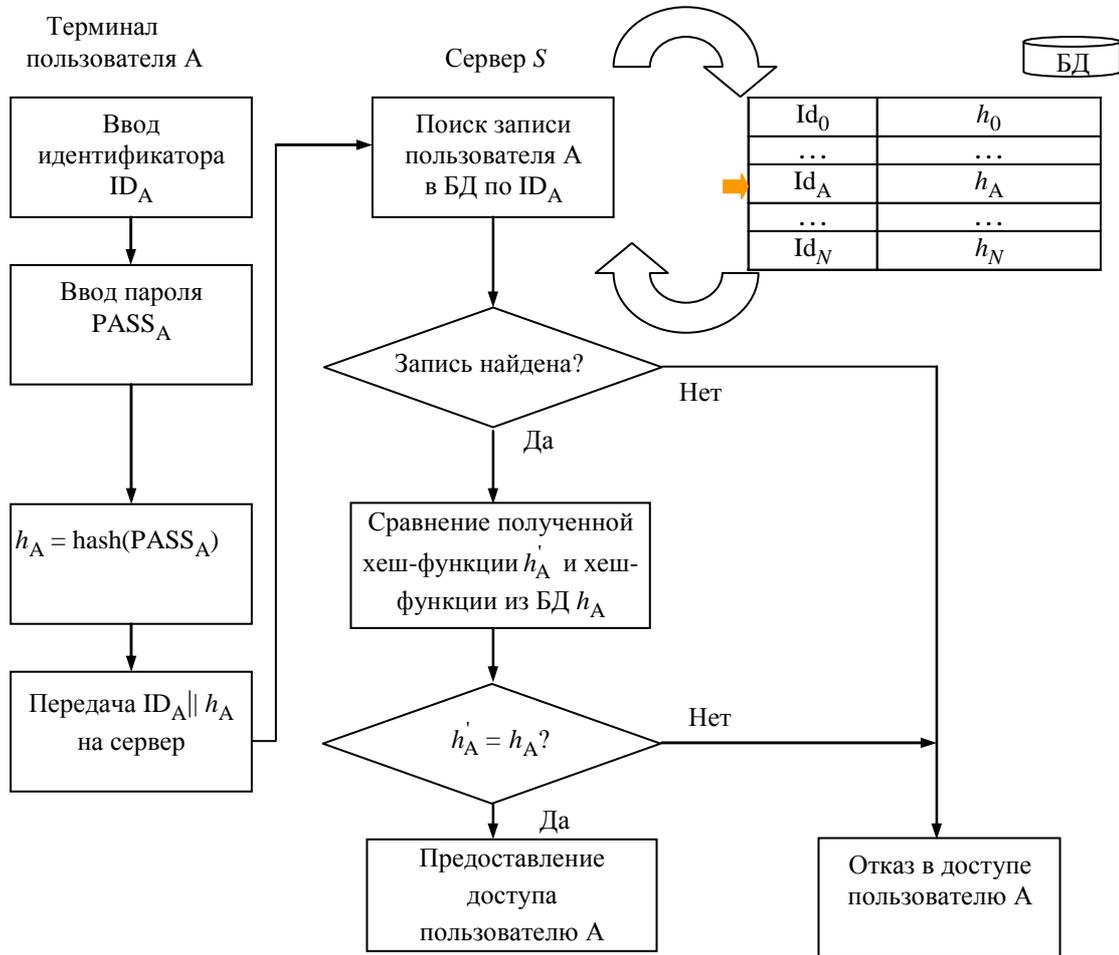


Рис. 1

Последние две схемы обладают следующим недостатком: пароль клиента  $\text{PASS}_A$  должен храниться на сервере в открытом виде, чтобы сервер мог выполнить операцию  $(\text{PASS}_A + r)$  для проверки полученной аутентификационной информации. Данная схема может быть усилена следующим образом [2], [3]. На сервере хранится пароль в хешированном виде  $h'_A = \text{hash}(\text{PASS}_A)$ . Пользователь вводит пароль, который хешируется:  $h_A = \text{hash}(\text{PASS}_A)$ , затем вырабатывается случайное число  $r$  и вычисляется  $hr_A = \text{hash}(h_A + r) = \text{hash}(\text{hash}(\text{PASS}_A) + r)$ . На сервер передается комбинация  $hr_A || r$ . Сервер вычисляет  $hr'_A = \text{hash}(h'_A + r)$  и сравнивает с  $hr_A$ . В этом случае на сервере хранится хешированный пароль, однако злоумышленник, получив доступ к БД, по-прежнему может выдавать себя за легального пользователя, используя хешированный пароль, даже не зная самого пароля.

Описанные схемы с различными модификациями используются практически во всех протоколах, реализующих процедуры аутентификации в компьютерных сетях. Были проанализированы различные симметричные и несимметричные протоколы [1]–[3], как частные (Диффи–Хеллмана, Шнорра, Фиата–Шамира), так и конкретные реализации, используемые в компьютерных сетях (IPSec, SSL/TLS), основанные на стандарте X.509. Ни один из рассмотренных протоколов не удовлетворяет в полной мере одновременно всему комплексу требований, предъявляемых к процедурам аутентификации в распределенных информационных системах:

1. Информация, передаваемая в ходе процедуры аутентификации, должна на каждом сеансе быть различной, что не позволит злоумышленнику использовать перехваченные данные для аутентификации.

2. Пароли нельзя хранить в БД в открытом виде, однако и их хранение в хешированном виде не должно позволять злоумышленнику использовать их в случае доступа к БД.

С другой стороны, большинство из рассмотренных протоколов, реализованных в настоящее время в компьютерных сетях (по стандарту X.509), обладают большим количеством сервисов, которые нет необходимости использовать в распределенной информационной системе. Так, например, некоторые из них предусматривают использование серверов-сертификатов, что во многих случаях представляется излишним.

Для удовлетворения приведенным требованиям и устранения недостатков существующих протоколов была разработана усиленная схема аутентификации.

*Усиленная схема аутентификации пользователя распределенной информационной системы.* Развитием описанных ранее схем явилась усиленная схема аутентификации пользователей, которая позволяет избежать перечисленных недостатков в процессе аутентификации. При создании клиента в базу данных пользователей заносится  $Id_A$  и значение  $hash(PASS_A + Id_A)$ . Сервер  $S$  обладает парой ключей асимметричной криптосистемы: личным  $k_{private}^S$  и открытым  $k_{public}^S$ .

Для входа в систему (рис. 2) клиент  $A$  вычисляет  $hash(PASS_A + Id_A)$ , генерирует случайное число  $r$ , запрашивает у сервера его открытый ключ  $k_{public}^S$  и шифрует  $ticket = encrypt((hash(PASS_A + Id_A) + r); k_{public}^S)$  (здесь и далее  $encrypt(m; k)$  – процесс шифрования сообщения  $m$  на ключе  $k$ ;  $decrypt(c; k)$  – процесс расшифровки криптограммы  $c$  на ключе  $k$ ;  $s = sign(m; k)$  – процесс генерирования подписи  $s$  сообщения  $m$  на ключе  $k$ ,  $m = signver(s; k)$  – процесс верификации подписи  $s$  под сообщением  $m$  на ключе  $k$ ). Сервер, получив билет  $ticket'$ , расшифровывает его с помощью своего личного ключа  $k_{private}^S$ :  $hash'(PASS_A + Id_A) + r' = decrypt(ticket, k_{private}^S)$ . Затем сервер проверяет  $hash'(PASS_A + Id_A) \stackrel{?}{=} hash'(PASS_A + Id_A)$  и в случае выполнения равенства предоставляет доступ клиенту  $A$ .

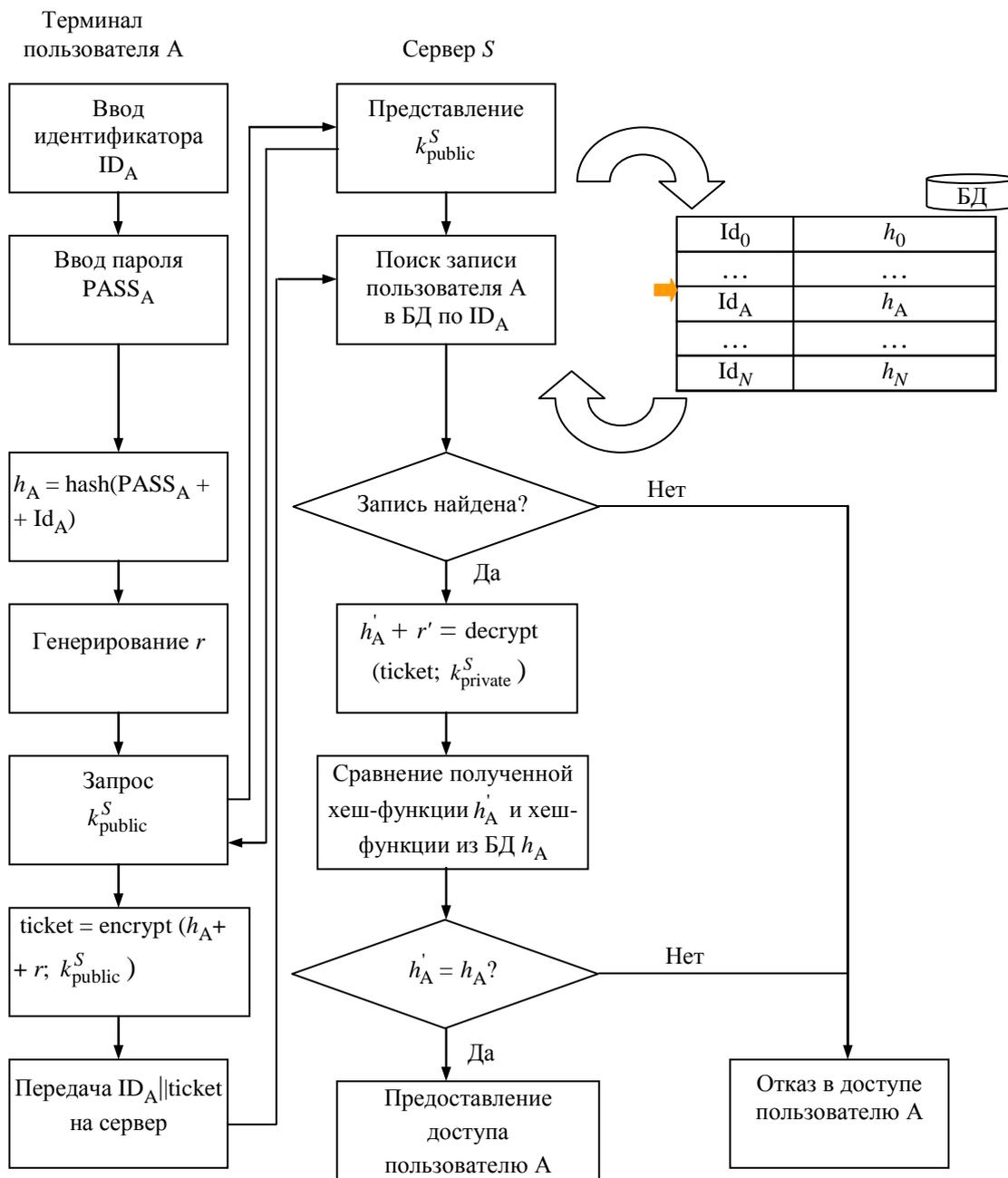


Рис. 2

Описанная схема позволяет хранить пароли в БД в хешированном виде, что защищает их от злоумышленника в случае хищения и взлома БД, и передавать аутентифицирующую информацию в виде зашифрованных билетов, которые меняются на каждом сеансе аутентификации, что не позволит злоумышленнику, перехватившему билет, использовать его.

Таким образом, предложена усиленная схема аутентификации, которая позволяет эффективно защищать информацию, циркулирующую в распределенных информационных системах, с учетом налагаемых ограничений. Схема предполагает хранение паролей в БД в хешированном виде и изменение передаваемых данных на каждом сеансе идентификации.

Приведенная схема не привязана к конкретным криптографическим алгоритмам, она была реализована в информационной системе освещения обстановки, разработанной с помощью платформы J2EE на основе встроенных средств JCA и JASS с использованием алгоритма AES.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зима В. М., Молдовян А. А., Молдовян Н. А. Безопасность глобальных сетевых технологий. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
2. Столлингс В. Криптография и защита сетей: принципы и практика. 2-е изд. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.
3. Иванов М. А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2001.
4. Молдовян Н. А., Молдовян А. А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
5. Ростовцев А. Г., Маховенко Е. Б. Введение в криптографию с открытым ключом. СПб.: Мир и семья, 2001.
6. Hankerson D., Menezes A., Vanstone S. A.. Guide to Elliptic Curve Cryptography. Springer-Verlag, 2004.

S. V. Shtanko, N. A. Zhukova

### *SCHEMES OF DATA AND USERS AUTHENTICATION DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS*

*In the paper existing approaches to realization of functions of users and data authentication in the distributed information systems are considered, and the new approach, that allows to avoid shortcomings of existing protocols within the requirements to safety of information system is offered*

**Distributed information system, digital signature, authentication**

УДК 519.68

***А. В. Красов, А. С. Верещагин,  
В. С. Абатуров, М. В. Резник***

## **МЕТОДЫ СКРЫТОГО ВЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИСПОЛНЯЕМЫЕ ФАЙЛЫ**

*Рассматриваются методы вложения скрытой информации в исполняемые файлы на основе семитической замены операторов и значений служебных бит в машинной команде. Приводится анализ статистики возможных замен и оценка общего объема возможного вложения информации.*

**Стеганография, скрытое вложение информации, исполнимые файлы, исполнимый код**

Методы скрытого вложения информации в исполняемые файлы можно разделить на две группы: вложения в структуру исполняемого файла и вложения в исполняемый код [1].

В первом случае для скрытого вложения информации используются знания о формате исполняемого файла. Информация может вкладываться в участки файла, предназначенные для выравнивания, неиспользуемые поля заголовков файла и другие участки исполняемого файла, изменение которых не влияет на его структуру и работоспособность. При таком методе вложения исполняемый код не модифицируется. Спецификация форматов исполняемых файлов является открытой, и файлы генерируются по стандартной схеме, поэтому такие вложения легко обнаруживаются [2].

Во втором случае в качестве контейнера для вложения информации используется не сам исполняемый файл, и исполняемый код, содержащийся в этом файле. Такой метод вложения основан на особенностях исполняемого кода конкретной процессорной архитектуры и не зависит от формата исполняемого файла. Факт вложения информации в исполняемый код обнаружить гораздо сложнее, так как не существует однозначной связи

между исходным кодом программы и скомпилированным исполняемым кодом. Одному и тому же исходному коду может быть сопоставлен разный исполняемый код в зависимости от компилятора и его настроек [3].

Процессоры семейства x86 имеют избыточный набор инструкций. Одно и то же действие может быть выполнено с помощью различных инструкций. Такую избыточность можно использовать для скрытого вложения информации в исполняемый код, не нарушая при этом его целостность. В статье рассматриваются и анализируются методы скрытого вложения информации, не изменяющие размер кода и использующие набор инструкций общего назначения (General Purpose Instruction Set) [4].

Будем считать эквивалентными одиночные инструкции или последовательности инструкций, выполняющие одну и ту же операцию и имеющие одинаковую длину. Если количество эквивалентных инструкций равно  $N$ , то при замене одной из этих инструкций на эквивалентную можно вложить  $\log_2 N$  бит скрытого сообщения.

Многие инструкции, имеющие 2 операнда, содержат в своем опкоде бит (Direction Bit), указывающий на то, какой операнд является источником, а какой приемником. К таким инструкциям относятся `adc`, `add`, `and`, `cmp`, `mov`, `or`, `sbb`, `sub`, `xor`. Так, например, формы инструкции `add: add reg, r/m` и `add r/m, reg` различаются значением бита направления и, соответственно, имеют разные опкоды [5].

Первая инструкция прибавляет значение из регистра или памяти (в зависимости от содержимого байта ModRM) к значению регистра. Вторая прибавляет значение регистра к значению, находящемуся в регистре или памяти. Таким образом, если в качестве обоих операндов выступают регистры, инструкция `add` может быть закодирована любым из представленных способов. В табл. 1 приведен пример такого кодирования для инструкции `add edx, ecx`. Инструкцию `add edx, ecx` можно ассемблировать как `01 CA` или `03 D1` (в шестнадцатеричном представлении).

Таблица 1

Инструкция <code>add edx, ecx</code>			
<code>add r/m, reg</code>		<code>add reg, r/m</code>	
Опкод	Байт ModRM	Опкод	Байт ModRM
0000 0001	1100 1010	0000 0011	1101 0001
01	CA	03	D1

Некоторые инструкции, работающие с непосредственным значением, могут быть заменены на обратные. В этом случае непосредственное значение должно быть пересчитано. К примеру, взаимобратными инструкциями являются `add` и `sub`, `ror` и `rol`.

Непосредственные значения для инструкций `add` и `sub` пересчитываются следующим образом:

$$\text{imm2} = (\text{not imm1} + 1) \bmod 2^{\text{size}}$$

Для инструкций `ror` и `rol`:

$$\text{imm2} = (\text{size} - \text{imm1}) \bmod \text{size}$$

В обоих выражениях  $\text{imm1}$  и  $\text{imm2}$  – непосредственные значения для обратных инструкций;  $\text{size}$  – размер регистра, над которым производится операция. В табл. 2 приведен пример эквивалентных инструкций `add/sub` и `rol/ror`.

Эквивалентные инструкции add/sub	Эквивалентные инструкции rol/ror
add eax, 0000007Ch	rol eax, 19
sub eax, FFFFFFF84h	ror eax, 13

Для обнуления регистра часто используется инструкция `xor reg, reg`. Эту же операцию можно выполнить с помощью инструкции `sub reg, reg`.

В некоторых случаях взаимозаменяемые инструкции по-разному изменяют флаги регистра `eflags`. В связи с этим заменять одну инструкцию на другую следует только в том случае, если в пределах до следующей инструкции, изменяющей флаги, значения флагов не влияют на ход выполнения программы, т. е. отсутствуют инструкции, зависящие от регистра `eflags`, такие, как условные переходы.

Если в инструкции сравнения поменять местами операнды, полученная инструкция будет устанавливать противоположные флаги. Таким образом, достаточно будет поменять команды условного перехода на интервале от инструкции сравнения до следующей изменяющей флаги инструкции на противоположные. Эквивалентные последовательности инструкций с проверкой противоположных условий имеют следующий вид: `cmp eax, ebx`

```
ja label1
cmp ebx, eax
jbe label1
```

Кроме того, можно менять порядок следования функционально-независимых блоков кода. Эквивалентные последовательности инструкций с измененным порядком следования функционально-независимых блоков кода имеют вид:

```
cmp eax, ebx
jz label1
<блок кода 1>
jmp label2
label1:
<блок кода 2>
label2:
cmp eax, ebx
jnz label1
<блок кода 2>
jmp label2
label1:
<блок кода 1>
label2:
```

Для того чтобы сделать обнаружение факта вложения информации в исполняемый код максимально трудным, требуется, чтобы статистика появления определенных инструкций в коде с вложением минимально отличалась от такой же статистики в коде без вложений. В [6] рассматривается статистика появления инструкций в исполняемом коде без вложений и анализируются наиболее подходящие для вложения инструкции.

Для исследования была использована программа `gzip` (GNU Zip). Исходный код программы был скомпилирован с помощью компилятора `GCC` в операционной системе `Linux` в трех версиях: без оптимизации (ключ – `O0`), с максимальной оптимизацией по времени (ключ – `O3`) и с оптимизацией по размеру (ключ – `Oz`). Для исследования были выбраны

инструкции прибавления и вычитания константы с помощью `add/sub`, обнуления регистра с помощью `xor/sub` и противоположные условные переходы [7]. Диаграммы распределения каждого из вариантов эквивалентных инструкций приведены на рис. 1–3.

На рис. 1 представлено распределение вариантов эквивалентных инструкций в исполняемом коде без оптимизации, а на рис. 2 – то же распределение, но с оптимизацией по времени.

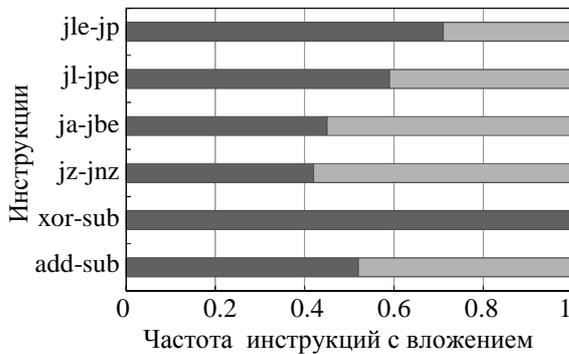


Рис. 1

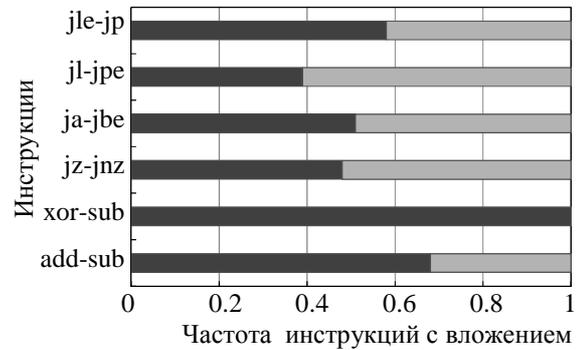


Рис. 2

Рис. 3 иллюстрирует распределение вариантов эквивалентных инструкций в исполняемом коде с оптимизацией по размеру.

Из диаграмм видно, что для обнуления регистра компилятор GCC всегда использует инструкцию `xor`. Это значит, что вложение с помощью замены инструкций `xor/sub` является легко обнаруживаемым. Остальные синонимы инструкций распределены относительно равномерно и могут быть использованы для вложения информации.

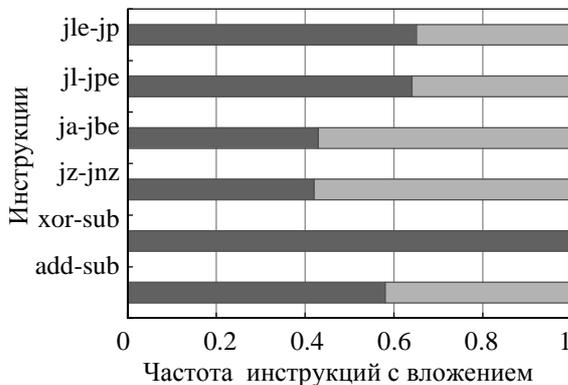


Рис. 3

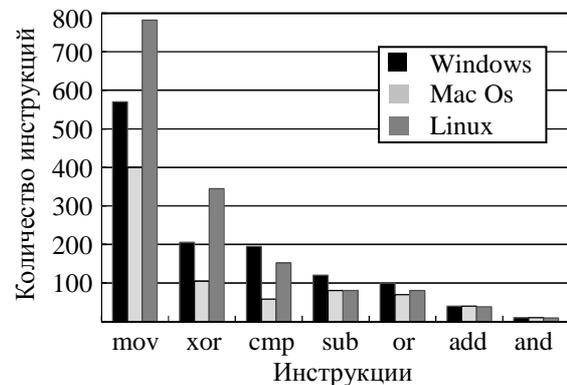


Рис. 4

Также была проанализирована частота появления инструкций, использующих в качестве обоих операндов регистры, в исполняемом коде, скомпилированном для различных операционных систем. Количество инструкций, использующих в качестве обоих операндов регистры, в исполняемом коде для различных операционных систем представлено на рис. 4. Больше всего для вложения информации подходят наиболее часто встречающиеся инструкции `mov`, `xor` и `cmp`.

Кроме того был рассчитан объем информации, который можно вложить в исполняемый код (см. табл. 1). Размер рассматриваемого исполняемого кода составлял 37 141 байт. В табл. 3 оценивается объем вкладываемой информации.

Таблица 3

Тип вложения	Количество инструкций	Отношение объема вкладываемой информации к объему кода
Замена <code>reg, r/m</code>	1482	0.005
Замена <code>add-sub</code>	209	0.0007
Замена <code>xor-sub</code>	326	0.0011
Обмен операндов <code>cmp</code>	153	0.0005
Обращение условных переходов	865	0.0029

Таким образом, при использовании всех перечисленных видов вложений можно вложить 1 Кбайт скрытой информации в каждые 100 Кбайт контейнера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красов А. В., Верещагин А. С. Анализ возможности скрытого вложения информации методом замены синонимов в исполняемый код процессоров семейства x86 // Материалы 63-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов / ГОУВПО СПбГУТ. СПб., 2011.
2. Ingemar J. Cox. Digital Watermarking and Steganography. Second Edition. Morgan Kaufmann, 2008.
3. Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual. Volume 2A: Instruction Set Reference, A-M: Intel Corp., 2008.
4. Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual. Volume 2B: Instruction Set Reference, N-Z: Intel Corp., 2008.
5. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн; Пер. с англ. 2-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2011.
6. Robust object watermarking: Application to code / J. P. Stern, G. Hachez, F. Koeune, J. J. Quisquater. Information Hiding, 1999. С. 368–378.
7. Venkatesan R., Vazirani V., Sinha S. A Graph Theoretic Approach to Software Watermarking // 4th Intern. Information Hiding Workshop, 2001. С. 157–168.

*A. V. Krasov, A. S. Vereshagin, V. S. Abaturov, M. V. Reznik*

#### *METHODS OF THE HIDDEN EMBEDDING OF INFORMATION IN EXECUTED FILES*

*In this article methods of embedding of hidden information in executive files on the basis of semitic replacement of operators and values of service bits in machine command are considered. The analysis of statistics of possible replacements and an assessment of total amount of possible embedding information is provided.*

**Steganografiya, hidden investment of information, executive files, executive code**



УДК 681.51.001.26.06

*А. А. Леута, Ч. Ч. Нгуен, М. Д. Нгуен*

## **РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

*Рассматривается управление судовыми электроэнергетическими объектами с использованием методов оптимизации и нечеткой логики в процессе настройки и испытаний систем автоматизированных управлений (САУ). Предложен алгоритм оптимизации настроечных параметров в моделях компонентов судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) для автоматизации процессов настройки и испытаний САУ.*

**Управление сложными электроэнергетическими объектами, технологии настройки и испытаний систем управления, алгоритм оптимизации, программно-физическое моделирование, моделирование нечетких систем электроэнергетики**

К объектам судовой электроэнергетики относятся судовые электроэнергетические системы, главные и вспомогательные системы электродвижения, системы бесперебойного электропитания ответственных потребителей и т. п. Все эти объекты являются сложными, многокомпонентными и работают под управлением автоматических и автоматизированных систем. Подготовка и ввод в эксплуатацию данных сложных судовых электроэнергетических объектов, а также оперативное управление ими в процессе эксплуатации, без сомнений, требуют решений на основе новейших достижений науки и техники с применением методов и средств, позволяющих обеспечить безопасность, энерго- и ресурсосбережение.

Рассмотрим подготовку и ввод в эксплуатацию. Компоненты таких объектов, как САУ, системы автоматизированных регулирований (САР), генераторные агрегаты, преобразователи электроэнергии, электроприводы и исполнительные органы систем, производятся отдельно, на различных предприятиях и, следовательно, их до отгрузки необходимо проверять, настраивать и испытывать [1].

Настройка как составная часть процесса ввода САУ и СЭЭС в эксплуатацию и как процедура преднамеренного изменения (регулировки) специальных регулировочных параметров объекта настройки с целью получения требуемого качества его функционирования

ния основана на проведении экспериментов. Обобщенная схема проведения подобных экспериментов представлена на рис. 1 и позволяет рассмотреть несколько вариантов применений, когда эксперименты можно проводить с целью:

- 1) настройки математических моделей компонентов СЭЭС и/или САУ (и их компонентов – САР);
- 2) настройки САУ (САР) как изделий самостоятельной поставки;
- 3) настройки имитаторов СЭЭС для проведения последующих приемосдаточных испытаний САУ (САР) как изделий самостоятельной поставки.

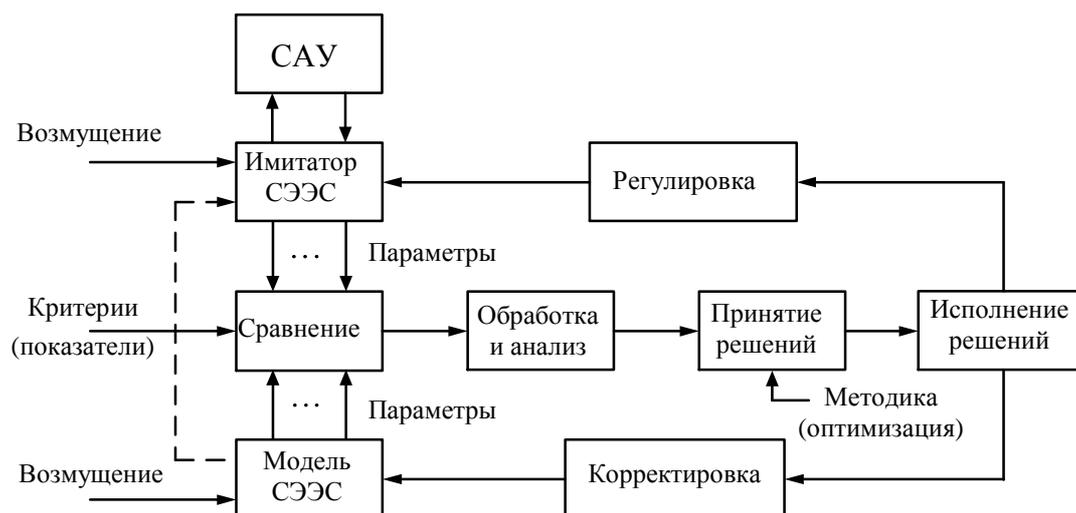


Рис. 1

Основу схемы составляет цепочка последовательных процедур: «Сравнение» результатов эксперимента – «Обработка и анализ» данных – «Принятие решений» – «Исполнение» решений. Последний этап реализуется либо «Регулировкой» физических параметров, либо «Корректировкой» параметров математических моделей, в зависимости от вида эксперимента.

Наиболее ответственный этап – «Принятие решений», поскольку тогда определяется, как долго будет проводиться процесс или за какое число экспериментов можно добиться положительных результатов. Решить данную задачу можно, применяя прямые методы многопараметрической оптимизации, учитывая, что при настройке указанных объектов, как правило, используют несколько параметров (для систем регулирования и управления или для их математических моделей).

Метод модифицируемого многогранника выбран как наилучший из многих прямых методов поиска оптимальных параметров. Для увеличения скорости достижения области оптимума предлагается изменить процедуру выбора направления поиска через центр тяжести фигуры, смещенный к наилучшей точке и вычисляемый по выражению

$$x_{n+2j} = \frac{1}{2n} \sum (X_{ij} - X_{hj} + nX_l),$$

где  $j = 1..n$  – индекс координаты;  $i = 1...(n+1)$  – индекс номера вершины многогранника;  $n$  – число настроечных параметров;  $X_h$  – наихудшая точка;  $X_l$  – наилучшая точка.

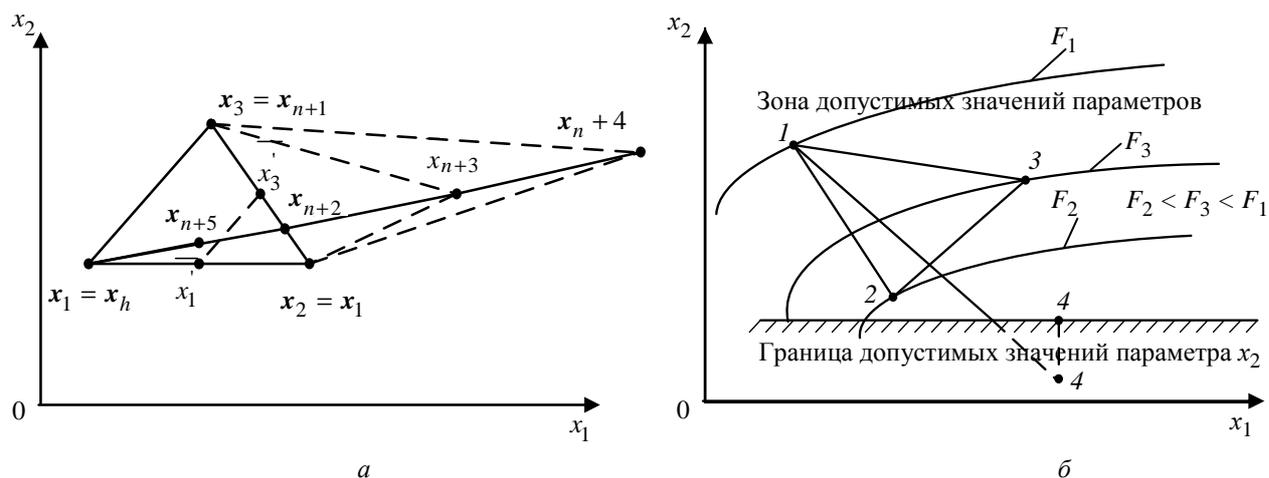


Рис. 2

Процедуры вычисления координат новых вершин многогранника без ограничений на параметры представлены на рис. 2.

Учет в алгоритме жестких границ изменений параметров приводит к необходимости дополнительной проверки вычисленных координат новой точки на удовлетворение неравенству  $x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}$ .

В случае выхода вычисленных координат за допустимые пределы движения к экстремуму продолжается непосредственно по границе, причем в направлении, соответствующем проекции расчетного вектора, как предлагает метод проекции градиента (точка 4 на рис. 2).

Схема алгоритма оптимизации настроечных параметров САУ СЭЭС представлена на рис. 3. Алгоритм одинаково пригоден как для настройки модели САУ, так и для настройки аппаратуры САУ как объекта самостоятельной поставки. В последнем случае требуется использовать программно-физическую модель компонентов СЭЭС или имитаторы, созданные с учетом того, какие сигналы и в какой форме будут подаваться на входы САУ и возвращаться от САУ. Таким образом, испытываемая аппаратура, а также алгоритмы (программная часть) САУ должны оказаться (и будут функционировать) в условиях, адекватных реальным в отношении обмена потоками данных, но безопасным из-за отсутствия возможности провоцирования реальных аварий с дорогостоящим электроэнергетическим оборудованием [2].

Указанные меры дадут полную уверенность в том, что прошедшая испытания аппаратура САУ сможет обеспечить быстрый, эффективный и безопасный ввод в эксплуатацию, после того как будет завершен этап монтажа оборудования СЭЭС и САУ на судостроительной верфи, т. е. непосредственно на судне, что отвечает требованиям технологий энерго- и ресурсосбережения.

Другие проблемы объектов судовой электроэнергетики связаны с эксплуатацией. Даже при наличии локальных автоматических систем, а также централизованных систем автоматизированного управления такие объекты в режимах эксплуатации остаются под пристальным вниманием и контролем операторов. Роль оператора особенно повышается в предаварийных и аварийных режимах, когда скорость принятия решений и точность их исполнения влияет на сохранение работоспособности объектов и даже на сохранение жизни экипажа.



С развитием средств вычислительной техники (СВТ) появилась возможность не только оказывать существенную помощь дежурным операторам в процессе оценки текущих состояний сложных объектов, но и моделировать (предсказывать) возможные сценарии развития событий по текущим оценкам состояний и тенденциям изменений параметров, критических для конкретных ситуаций, а также предоставить оператору конкретные рекомендации для осуществления мероприятий по выходу из критических ситуаций. Комплекс специальной аппаратуры и алгоритмического (программного) обеспечения для реализации указанных функций представлен на рис. 4 и носит наименование системы информационного обеспечения и информационной поддержки оператора. Все чаще такие системы внедряются на сложные объекты, и практика показывает, что затраты на их разработку и создание оправдываются в ходе эксплуатации, предоставляя возможность быстро предотвращать критические ситуации или с наименьшими потерями избегать их опасных последствий [3], [4].

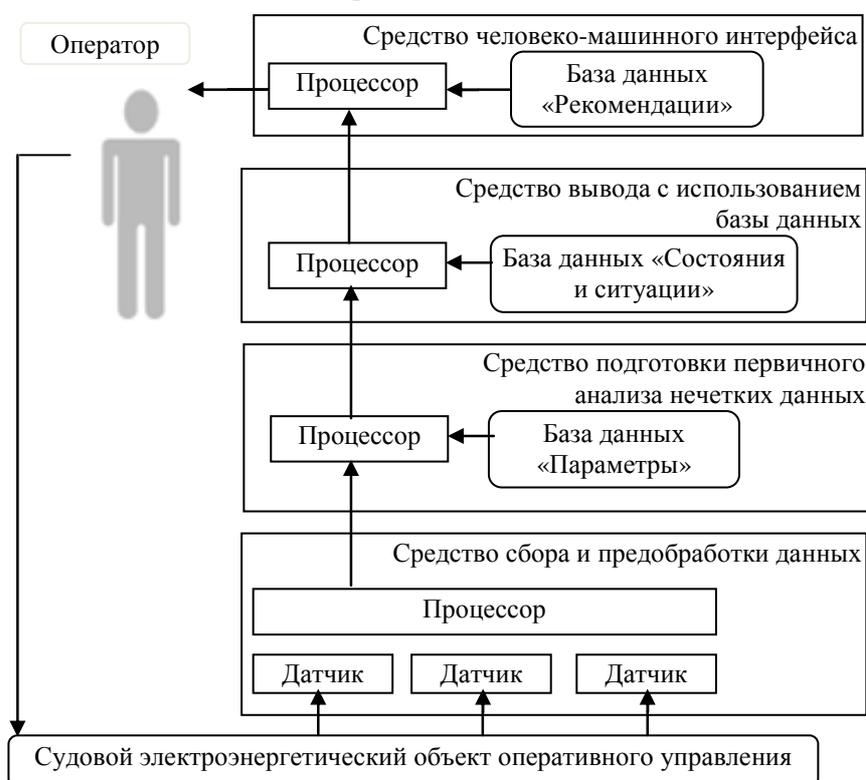


Рис. 4

Рассмотрим более подробно описание и блок-схемы алгоритма функционирования нечеткой системы информационной поддержки (рис. 5 и 6).

**Блок 1.** Получение измеренных данных: данные от датчиков параметров поступают в оцифрованном виде (двоичный код)  $x_i$  и запоминаются в оперативной базе данных «ИВхП» – «Измеренные входные параметры».

Вычисление производных данных входных параметров ( $dx/dt$ ): определение скорости их изменений или чтение таймеров (продолжительность выхода параметра за допустимые пределы). Запоминание входных данных и производных в буфере БД «История». Детализация блока 1 приведена на рис. 6.

**Блок 2.** Фаззификация: сравнение входных данных с данными БД «Формальные описания параметров» или «Л<sub>ВхП</sub>» и определение порядковых номеров термов по каждому входному параметру  $b_i$  и численных значений по соответствующим функциям принадлежности.

Агрегирование подусловий: определение отличных от 0 минимальных значений функций принадлежности при сочетании термов входных параметров.

Поиск и определение числовых значений (коэффициентов) истинности активных правил: для каждого правила из базы правил вычисляется значение истинности по ненулевому значению результата агрегирования  $c_i$ .

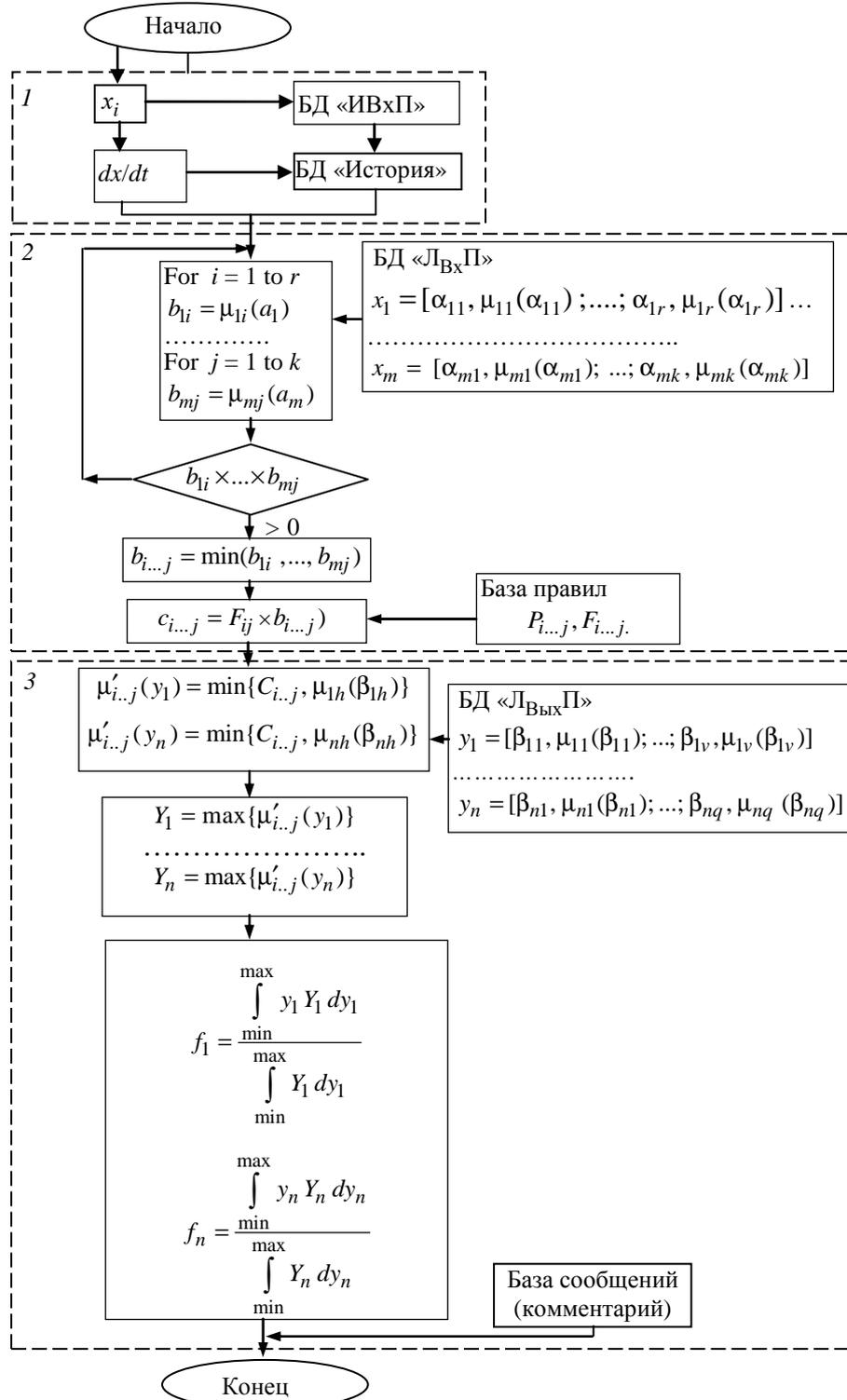


Рис. 5

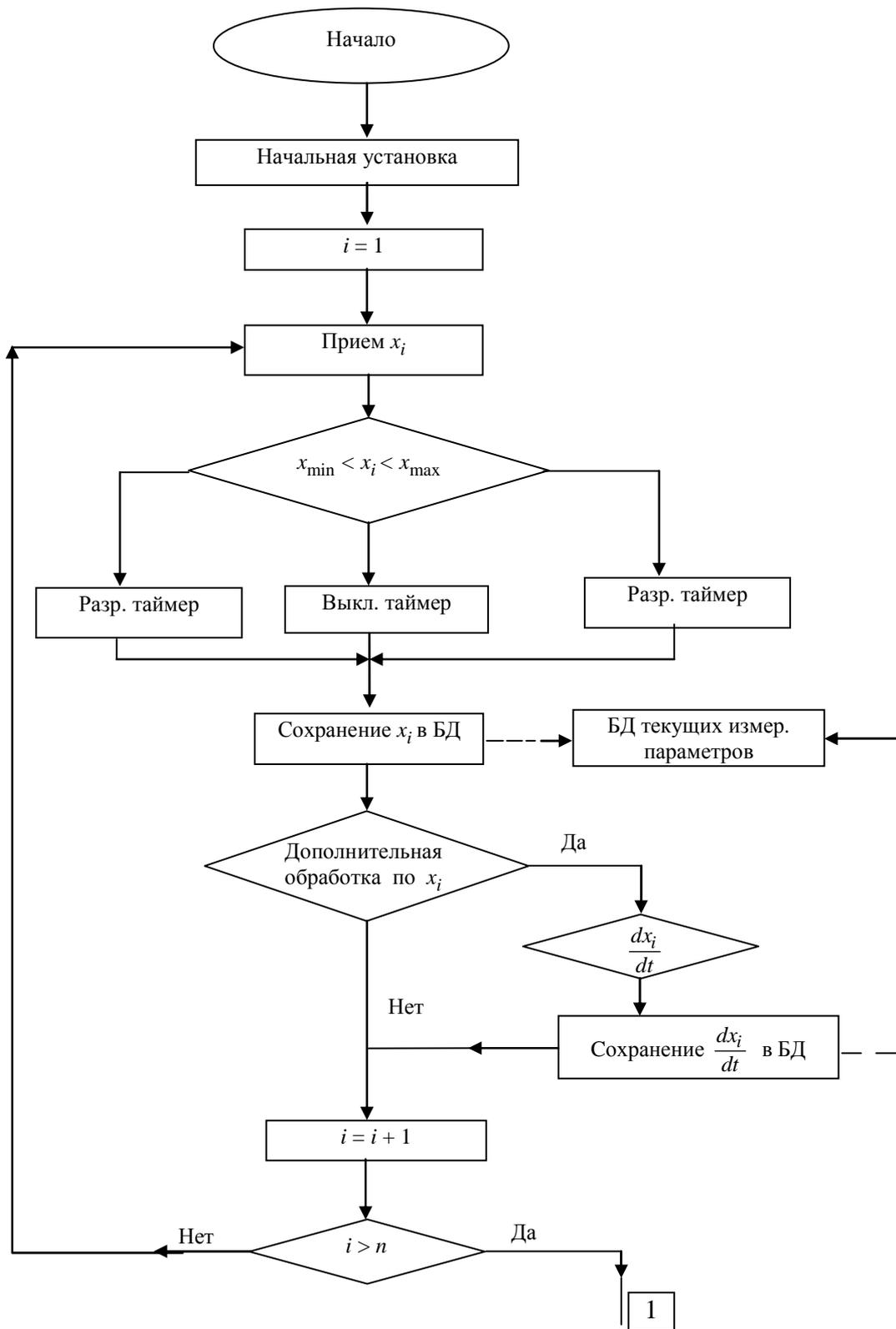


Рис. 6

Блок 3. Активизация: определение минимального значения по функциям принадлежности к активным термам выходных переменных  $\mu_i$  базы данных БД «Лингвистические выходные параметры» («Л<sub>Вых</sub>П»)»

Аккумуляция: определение максимальных численных значений из полученных на этапе активизации для каждого агрегированного подусловия выходных термов  $y_i$  (активных)

Дефаззификация: вычисление центра тяжести агрегированных термов  $f_i$  выходных параметров. Получение четких результатов для вывода из баз управления (сообщений, комментариев).

Алгоритм предварительной обработки данных выполняет задачи аппаратуры нижнего уровня: прием измеренных значений контролируемых параметров; определение опасности по длительности нахождения параметра в недопустимых диапазонах или вблизи них; определение скорости или ускорения изменений параметра и запоминание в базах данных (измерения и производные и таймеры).

Алгоритм функционирования нечеткой системы реализует задачи использования баз данных, фаззификации агрегирования, активизации, аккумуляции, вывода и проверен путем численного эксперимента на нечеткой многопараметрической математической модели электроэнергетического объекта в среде MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Из вышесказанного можно сформулировать следующие выводы:

1. Решение проблем управления судовыми электроэнергетическими объектами в период подготовки и ввода в эксплуатацию связано с технологией программно-физического моделирования и оптимизации настроечных параметров САУ как объекта самостоятельной поставки, чем обеспечивается безопасность экспериментов, а также энерго- и ресурсосбережение.

2. Решение проблем управления судовыми электроэнергетическими объектами в период эксплуатации обеспечивается аппаратно-программными системами информационной поддержки операторов на основе технологий нечетких систем и алгоритмов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жадобин Н. Е., Алексеев Н. А., Крылов А. П. Электронные и микропроцессорные системы управления судовых энергетических и электроэнергетических установок: учеб. М.: Проспект, 2010. 528.
2. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Математическая модель компонентов судовых электроэнергетических систем как составная часть технологии испытаний систем автоматического управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 2. С. 25–30.
3. Леоненкова А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
4. Лавренов С. П., Кузнецов М. А., Леута А. А. Применение теории нечетких множеств в алгоритме стабилизации выходного напряжения статических преобразователей // Сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. С. 204–207.

*A. A. Leuta, M. D. Nguyen, Tr. Ch. Nguyen*

*THE DECISION OF PROBLEM OF CONTROL ELECTRIC SHIP POWER OBJECTS BY USED METHODS OF OPTIMIZATION AND FUZZY LOGIC*

*The solution of control ship electric power facilities using optimization techniques and fuzzy logic in the process of setting up and testing of automated control systems. An algorithm for optimizing the tuning parameters in the models of components of the ship's electrical power system for the automation of configuration and testing of automated control systems.*

**Control of complex electric power objects, technology of setting and tests of automated control system, algorithm of optimization, program-physical simulation, simulation fuzzy electric power systems**

## ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫБОРА СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОИСКА НАИМЕНЕЕ ЗАТРАТНОГО ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКАЗА В АСУ ТП ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Для решения проблемы обеспечения эффективности функционирования программно-алгоритмического компонента АСУ ТП полиграфического производства использован комбинаторно-графовый подход на основе решения задачи о наименьшем разбиении.*

**Заказ, таблица, цикл, алгоритм, матрица, вершина графа, информация, переменная**

На заданном множестве производственных заказов, принятом в производство автоматизированной системой управления (АСУ) технологическим процессом (ТП), путь реализации каждого заказа должен соответствовать наименее затратному в выбранной ресурсной метрике пути, т. е. соответствовать кратчайшему пути, найденному в соответствии с разработанными и адаптированными в предыдущих главах под АСУ полиграфического предприятия методами комбинаторной оптимизации. Зная вершины наименее затратного маршрута распространения заказа по этапам производства, задействуют различные производственные единицы полиграфического производства, обеспечивающие именно принятые в АСУ ТП заказы.

Пусть на входе в АСУ ТП имеется  $N$  этапов производства на различных единицах технологического оборудования и  $M$  полиграфических заказов. Для каждой пары «этап – заказ»  $(I, J)$  можно построить путь, соединяющий эти два элемента и не заходящий в другие элементы. Пусть стоимость такого пути –  $A(I, J)$ . Вне элементов пути не пересекаются. Требуется синтезировать алгоритм для нахождения самой дешевой системы путей, позволяющей попасть из любого этапа в любой заказ. Результаты требуется задать таблицей  $V[1:N, 1:N]$ , где  $V[I, J] = 1$  тогда и только тогда, когда путь, соединяющий элементы  $I$  и  $J$ , следует строить.

Сеть путей в пространстве оборудования АСУ ТП будет реализовывать некоторый связный (так как можно проехать из любого элемента в любой) граф без циклов (так как одно ребро из цикла можно выбросить, а связный граф останется связным). Поэтому алгоритм построения сети путей минимальной суммарной стоимости тривиален. На каждой итерации необходимо находить путь минимальной стоимости, который не образует цикла с уже выбранными путями на предыдущих итерациях. Основную трудность такого решения составляет проверка условия, образуют ли ребра цикл.

Однако решение существенно упрощается, если рассматривать только минимальные ребра только между двумя множествами: множеством помеченных вершин и множеством непомеченных вершин. Понятно, что эти множества должно соединять хотя бы одно ребро, чтобы граф был связным. Ясно, что оно должно быть минимальным по длине. В описываемом ниже алгоритме это делается следующим образом.

Для каждой вершины из множества непомеченных вершин (на начальном этапе это все вершины, кроме первой) определяется ближайшая вершина из множества помеченных вершин  $\Omega[k]$ . На каждой итерации определяется кратчайшее ребро  $(i, j)$  между множествами помеченных вершин и непомеченных вершин с использованием массива  $\Omega$ . Найденное ребро

ро выбирается для системы путей, а соответствующая вершина  $j$  считается помеченной. После этого пересчитывается массив  $\Omega$ . При этом учитывается, что изменение некоторой величины  $\Omega [k]$  может произойти только тогда, когда расстояние от  $k$  до  $j$  меньше, чем от  $k$  до  $\Omega [k]$ :

```

для  $i$  от 1 до  $N$  выполнять
начало цикла
флаг[ $i$ ]:=0;
 $\Omega [i]:=1$ 
конец цикла
флаг[1]:=1;
для  $k$  от 1 до  $N-1$  выполнять
начало цикла
мин. расст:=бесконечность;
для  $i$  от 2 до  $N$  выполнять
если флаг[ $i$ ]=0 и мин. расст. >  $C[\Omega [i],i]$ 
то мин. расст:= $C[\Omega [i],i]$ ;
 $j:=i$ ;
Вывод ребра ( $\square [j],j$ )
флаг[ $j$ ]:=1;
для  $i$  от 2 до  $N$  выполнять
если флаг[ $i$ ]=0 и  $C[\Omega [i],i]>C[i,j]$ 
то  $\Omega [i]:=j$ ;
конец цикла

```

*Программно-алгоритмический компонента решения.* Пусть даны ориентированный граф (рис. 1), его матрица смежности и транспонированная матрица смежности с единичными диагональными элементами:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad A^* = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

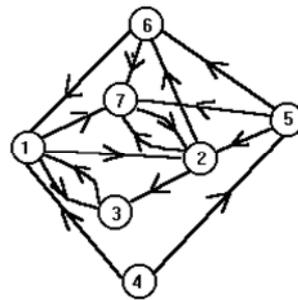


Рис. 1

Интерес представляют столбцы, содержащие единицу в первой строке; столбцы, содержащие единицу во второй строке и не содержащие ее в первой, и т. д. Используем дополнительную матрицу  $V1$ , ее тип:

```

type Pr=array[1..MaxN,1..MaxN+1] of integer;
var V1:Pr;

```

где  $MaxN$  – максимальная размерность задачи. При инициализации матрица  $V1$  должна иметь следующий вид: в первой строке –  $[1 \ 2 \ 3 \ .. \ N \ 0]$ ; все остальные элементы равны нулю.

Исходное предположение заключается в том, что все столбцы матрицы  $A^*$  имеют единицы в первой строке. Проверим его. Будем просматривать элементы очередной строки ( $i$ ) матрицы  $B1$ . Если  $B1[i, j] < > 0$ , то со значением  $B1[i, j]$  в качестве номера столбца матрицы  $A^*$  проверим соответствующий элемент  $A^*$ . При его неравенстве нулю элемент  $B1$  остается на своем месте, иначе он переписывается в следующую строку матрицы  $B1$ , а элементы текущей строки  $B1$  сдвигаются вправо, сожмутся для  $(N-1)$ -й строки матрицы  $B1$ . Для нашего примера матрица  $B1$  после этого преобразования будет иметь вид:

$$B1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 & 6 & 0 & \dots & 0 \\ 2 & 5 & 7 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

В задаче определены стоимости вершин графа или стоимости столбцов матрицы  $A^*$ , и необходимо найти разбиение наименьшей стоимости. Пусть стоимости описываются в массиве `Price` (`Price:array[1..MaxN] of integer`) и для примера на рисунке имеют значения `[15 13 4 3 8 9 10]`. Осталась чисто техническая деталь – отсортировать элементы каждой строки матрицы  $B1$  по возрастанию стоимости соответствующих столбцов матрицы  $A^*$ . Результирующая матрица  $B1$  имеет вид:

$$B1 = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 6 & 1 & \dots & 0 \\ 5 & 7 & 2 & 0 & \dots & 0 \\ & & & 0 & \dots & 0 \\ & & & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Логика формирования матрицы приведена ниже по тексту.

```

procedure Blocs; {выделения блоков}
  {B1 - глобальная переменная}
procedure Sort;
  {Price и B1 - глобальные переменные}
begin
  ...
end;
procedure Press(i,j:integer); {сдвигаем элементы строки с номером i начиная с позиции
(столбца) j на одну позицию вправо}
  {B1 - глобальная переменная}
  var k:integer;
  begin
    k:=j;
    while B1[i,k]<>0 do begin{поэтому к размерности матрицы добавлена единица.
В последнем столбце строки всегда записан 0}
      B1[i,k]:=B1[i,k+1];
      Inc(k);
    end;{while}
  end;{Press}
var i,j,cnt:integer;

```

```

begin
  FillChar(BI,SizeOf(BI),0);
  for i:=1 to N do BI[1,i]:=i;{предполагается, что в первом блоке только столбцы}
  for i:=1 to N-1 do begin
    j:=1;cnt:=0;
    while BI[i,j]<>0 do begin
      if A*[i,BI[i,j]]=0 then begin{столбец не в этом блоке}
        Inc(cnt);
        BI[i+1,cnt]:=BI[i,j];{переписать в следующую строку}
        Press(i,j);
        Dec(j);
      end;{if}
      Inc(j);
    end;{while}
  end; {for}
  Sort;
end;{Blocs}

```

Матрица BI разбита на блоки, и необходимо выбрать по одному элементу (если соответствующие строки еще не «покрыты») из каждого блока. Процесс выбора следует продолжать до тех пор, пока не будут включены в «покрытие» все строки или не окажется, что некоторую строку нельзя в него включить.

Если при поиске независимых множеств шли «сверху вниз», последовательно уточняя логику, то сейчас необходимо идти «снизу вверх», складывая окончательное решение из сделанных «кирпичиков». Начать следует со структур данных. Ищется лучшее решение, т. е. то множество столбцов, которое удовлетворяет условиям задачи (непересечение и «покрытие» всего множества строк), и имеет минимальную суммарную стоимость. Значит, необходима структура данных для хранения этого множества и значения наилучшей стоимости и, соответственно, структуры данных для хранения текущего (очередного) решения и его стоимости. В решении строка может присутствовать или нет. Следовательно, требуется фиксировать эту информацию:

```

type Model=array[1..MaxN] of boolean;
var   Sbetter:Model;Pbetter:integer;{лучшее решение}
      S:Model;P:integer;{текущее решение}
      R:Model;{R[i]=true - признак "покрытия" строки i текущим решением}

```

Логика включения (исключения) столбца с номером k в решение (из решения) имеет вид:

```

procedure Include(k:integer); {включить столбец в решение}
{A*, R, Price, S, P - глобальные переменные}
var j:integer;
begin
  P:=P+Price[k];{текущая цена решения}
  S[k]:=true;{столбец с номером k в решение}
  for j:=1 to N do
    if A*[j,k]=1 then R[j]:=true; {строки, "покрытые" столбцом k}
  end;{Include}
procedure Exclude(k:integer);{исключить столбец из решения}

```

```

var j:integer;
begin
  p:=p-Price[k];
  S[k]:=false;
  for j:=1 to N do if (A*[j,k]=1) and R[j] then R[j]:=false;
end;{Exclude}

```

Проверка, сформированности решения заключается в том, чтобы просмотреть массив R и определить, все ли его элементы равны истине:

```

function Result:boolean;
var j:integer;
begin
  j:=1;
  while (j<=N) and R[j] do Inc(j);
  if j=N+1 then Result:=true else Result:=false;
end; {Result}

```

Также необходимо определить, можно ли столбец с номером k включать в решение. Для этого следует просмотреть столбец с номером k матрицы A\* и проверить, нет ли совпадений единичных элементов со значением true соответствующих элементов массива R:

function Cross(k:integer):boolean; {пересечение столбца с частичным решением, сформированным ранее }

```

var j:integer;
begin
  j:=1;
  while (j<=N) and Not(R[j] and (A*[j,k]=1)) do Inc(j);
  if j=N+1 then Cross:=true else Cross:=false;
end;{Cross}

```

Заключительная логика поиска (Find) имеет в качестве параметров номер блока (строки матрицы B1) – переменная bloc, и номер позиции в строке. Первый вызов – Find(1,1):

```

procedure Find(bloc,jnd:integer);
{переменные глобальные}
begin
  if Result then begin if P<Pbetter then begin Pbetter:=P;
                                                                Sbetter:=S;
                                                                end;
                                                                end
  else if B1[bloc,jnd]=0 then exit
  else if Cross(B1[bloc,jnd]) then begin
                                                                Include(B1[bloc,jnd]);
                                                                Find(bloc+1,1);
                                                                Exclude(B1[bloc,jnd]);
                                                                end
  else if R[bloc] then Find(bloc+1,1);
  Find(bloc,jnd+1);
end;{Find}

```

Общая логика, Метода решения задачи о наименьшем разбиении:

```
program R_min;
const MaxN=...;
type ... var ...
procedure Init; {ввод и инициализация данных}
begin
...
end;
procedure Print; {вывод результата}
begin
...
end;
{процедуры и функции, рассмотренные ранее}
{основная логика}
begin
Init;
Blocs;
Find(1,1);
Print;
end.
```

Таким образом можно сделать вывод о том, что разработаны элементы программного комплекса, реализующего алгоритмы синтеза последовательности этапов полиграфического производства с учетом многовариантного состава единиц технологического оборудования на основе комбинаторного подхода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронова Г. В. и др. Организация полиграфического производства. – М.: Изд-во МГУП, 2002. – 352 с.
2. Раскин А. Н. и др. Технология печатных процессов. – М.: Книга, 1989. – 367 с.
3. Волкова Л. А. Издательско-полиграфическая техника и технология. – М.: Изд-во МГУП, 1999. – 143 с.
4. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.
5. Назаров А. В., Лоскутов А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.
6. Page E. W., Tagliarini G. A. Algorithm development for neural networks // SPIE. – 1988. – Vol. 880. – P. 11–19.

*A. V. Ivanov, V. V. Vaganov, A. K. Kotov*

#### *FEATURES OF MANAGEMENT OF STREAMS OF ORDERS ON POLYGRAPHIC MANUFACTURE*

*For the decision of problems of maintenance of efficiency of functioning of the Programmno-algorithmic components of ACS TP of polygraphic production used combinatorially графовый approach based on the solution of the problem on the smallest partition.*

**Order, table, cycle, algorithm, matrix, top of the count, information, variable**



УДК 62-713.1

*И. Ф. Филиппов, Е. А. Шамарина*

## **АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ СТАЛИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА**

*С увеличением единичной мощности турбогенераторов встал вопрос о применении систем полного водяного охлаждения, как наиболее эффективных. В настоящее время для охлаждения статора турбогенератора с полным водяным охлаждением используются охладители между пакетами стали, соединенные шлангами. Такая система недостаточно надежна в эксплуатации. В связи с этим предлагается альтернативная система охлаждения, исключающая большое количество шлангов.*

### **Статор турбогенератора, охлаждение водой, охладители между пакетами стали**

Турбогенераторы являются основными энергетическими машинами. В настоящее время генераторами этого типа вырабатывается примерно 80 % всей электроэнергии. К надежности крупных машин мощностью 1000 МВт, используемых для производства электроэнергии на атомных станциях, предъявляются повышенные требования. Турбогенераторы с полным водяным охлаждением соответствуют представлениям о надежности и безопасности, так как отсутствие горючих веществ в генераторе исключает возможность пожара и взрыва.

Охлаждение генератора осуществляется по трем контурам – обмотка ротора, обмотка статора и сердечник статора. Охлаждение активной стали статора водой может быть осуществлено по трем схемам: аксиальной, радиальной и аксиально-радиальной.

В случае аксиальной схемы каналы для циркуляции воды выполняются в листах активной стали: либо на наружном диаметре сердечника, либо в зубцовой зоне. Сердечник при этом не имеет радиальных каналов. Достоинство конструкции с аксиальными каналами состоит в монолитности сердечника и в сокращении аксиальной длины по сравнению с другими схемами. Основным недостатком является то, что на путях тепловых потоков к воде существуют значительные термические сопротивления (использование аксиальных охлаждающих труб возможно при их качественной изоляции, чтобы избежать замыкания отдельных листов стали; при этом тепловой контакт между трубой и сердечником статора ухудшается) и, следовательно, при довольно сложной конструкции эффективность охлаждения стали недостаточна.

Схемы радиального типа построены на базе типовой конструкции сердечников с газовой системой вентиляции. В вентиляционных каналах помещаются элементы с водой – силуминовые охладители (рис. 1). Они соединены (по воде) в параллельные цепи с помощью фторпластовых шлангов и питаются из верхнего и нижнего напорных коллекторов. Преимуществом радиальной системы является развитая поверхность активной стали в радиальных каналах. Существенный недостаток схем этого типа – усложнение конструкции и уменьшение эксплуатационной надежности.

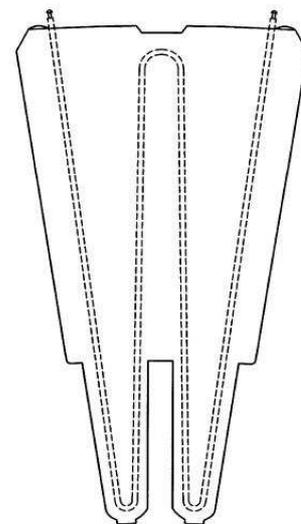


Рис. 1

В производимых в настоящее время турбогенераторах с полным водяным охлаждением применяется радиальная схема. При такой схеме для эффективного охлаждения до приемлемых температур требуется большое количество рядов охладителей (от 40 в машинах средней мощности до 90 в мощных машинах), количество шлангов достигает порой 1500 в одной машине. Вероятность протечки и выхода из строя системы охлаждения при таком большом количестве соединений довольно высока.

Предложение альтернативной схемы состоит в том, чтобы заменить фторпластовые шланги герметичной полостью с водой. За основу предлагается взять принцип охлаждения сердечника статора турбогенератора с полным воздушным охлаждением типа ТЗФ. Между пакетами стали выполняются радиальные каналы. Вода поступает в каналы из холодных отсеков, герметично сопряженных с внешней поверхностью статора, и сливается в другую часть сердечника, с подогретой водой. На рис. 2 показано движение охлаждающей воды в каналах сердечника статора: штриховыми стрелками показано движение холодной воды, сплошными – подогретой. Вода подается через кольцевой напорный коллектор и сливается через кольцевой сливной коллектор. Таким образом, с точки зрения устойчивости система является незамкнутой и точка нуля статического давления располагается на выходе схемы циркуляции [1]. Система охлаждения обмотки статора остается прежней.

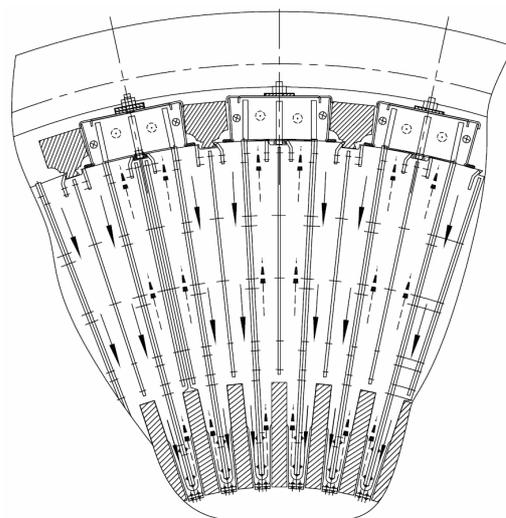


Рис. 2

Принципиально существует угроза протечки воды в зону высоковольтной обмотки, поэтому необходимо обеспечивать не только герметичность системы, но и характеристики применяемой изоляции обмотки, учитывая, что в настоящее время существуют типы изоляционных материалов с водоотталкивающим покрытием.

Предлагаемая схема является схемой системы непосредственного охлаждения, т. е. охлаждающая вода находится в прямом контакте с элементами конструкции, выделяющими тепло. Такие системы весьма эффективны и экономичны. Их внедрение позволило не только резко повысить удельные нагрузки машин и увеличить их

единичную мощность в ранее предельных габаритах, но и привело к некоторым качественным изменениям процесса теплообмена, благодаря которым, в частности, оказалось возможным более достоверное проведение тепловых расчетов.

Последнее обстоятельство довольно существенно. Значительно повышая использование активных материалов машины, увеличивая плотность тока и линейные нагрузки до неапробированных практикой величин, проектировщик должен располагать гарантиями надежности создаваемых конструкций. Известные методы теплового расчета систем непосредственного охлаждения в большинстве случаев обеспечивают такие гарантии [2].

Сформулируем условие теплового баланса для полого проводника на участке  $(x, x + dx)$ : выделенное в элементе за время  $dt$  тепло  $dP$  равно сумме тепла  $dP_\lambda$ , отведенного из элемента за счет теплопроводности, и тепла  $dP_\alpha$ , отведенного за счет теплообмена:

$$dP = dP_\lambda + dP_\alpha.$$

Согласно выражению для количества тепла, выделяющегося в единицу времени, и в соответствии с законами теплопроводности Фурье и теплообмена Ньютона [2] условие теплового баланса запишется в виде

$$p_0 S(1 + \beta T_\Pi) dx = \alpha(T_\Pi - T_c) \Pi dx - \lambda S \frac{d^2 T_\Pi}{dx^2} dx,$$

где  $T_\Pi$ ,  $T_c$  – температура полого проводника и среды соответственно, К.

Разделив уравнение на объем рассматриваемого элемента  $dV = S dx$ , получим уравнение Пуассона для случая установившегося одномерного течения с охлаждением:

$$p_0 S(1 + \beta T_\Pi) = \frac{\Pi}{S} \alpha(T_\Pi - T_c) - \lambda \frac{d^2 T_\Pi}{dx^2}.$$

Рассмотрим воздействие потока на параметры охлаждающей среды. Все тепло, перешедшее на участке  $(x, x + dx)$  в охлаждающую среду, идет на повышение ее теплосодержания:

$$\alpha(T_\Pi - T_c) \Pi dx = Q C dT_c,$$

где  $Q$  – расход среды через сечение канала;  $C$  – теплоемкость среды, Дж/(м<sup>3</sup> · К);  $(T_\Pi - T_c)$  – разница температур проводника и среды.

Подставив, получим основное уравнение рассматриваемой задачи:

$$p_0 S(1 + \beta T_\Pi) + \lambda \frac{d^2 T_\Pi}{dx^2} = C Q \frac{dT_c}{dx}.$$

Полученное дифференциальное уравнение теплообмена в полом проводнике является неоднородным линейным уравнением третьего порядка с постоянными коэффициентами и правой частью, не зависящей от аргумента  $x$ . Аргументом уравнения является переменная длина канала  $x$ , искомой функцией – превышение температуры охлаждающей среды  $T_c$ .

Анализ тепловых расчетов непосредственно охлаждаемых проводников показывает, что ошибка в вычислениях в большинстве случаев весьма невелика, если допустить при

составлении уравнения процесса, что тепловыделение в проводниках не зависит от температуры. При этом следует считать, что удельное сопротивление проводников равно их удельному сопротивлению при средней температуре, оцениваемой предварительно. Тогда  $p = p_0 = \text{const}$ , и уравнение процесса не содержит искомой функции  $T_c$ , что позволяет снизить его порядок на один, произведя почленное интегрирование.

При допущениях о независимости тепловыделения от температуры проводника и об отсутствии влияния его теплопроводности получаем линейное распределение температуры по длине проводника. При этом разность температуры проводника и среды на всем протяжении проводника оказывается неизменной и равной  $p_0 S / (\alpha \Pi)$  [2]. При сделанных допущениях максимальное превышение температуры проводника, когда  $x = L$ , равно:

$$T_{\Pi \text{ max}} = p_0 S \left( \frac{L}{CQ} + \frac{1}{\alpha \Pi} \right).$$

Таким образом, максимальное превышение температуры активных частей машины  $T_M$  в случае их непосредственного охлаждения циркулирующей по каналам средой в первом приближении равно сумме подогрева среды  $T_c$  и конвективного теплоперепада между средой и стенкой охлаждающего канала  $T_k$ :

$$T_M = T_c + T_k = \frac{P}{CQ} + \frac{P}{\alpha \Pi}.$$

Расход воды  $Q$  в системе охлаждения должен соответствовать отводимым ею потерям  $P$  [Вт]:

$$Q = \frac{P}{CT_c}.$$

Для предлагаемой альтернативной системы охлаждения было рассчитано, что расход воды [м<sup>3</sup>/с] на всю систему составит:

$$Q = \frac{4000 \cdot 10^3}{4.14 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0.048.$$

Гидравлический расчет выполняется с целью определения параметров схемы для выбора таких нагнетателей, которые в состоянии обеспечить циркуляцию необходимого расхода охлаждающей среды.

Расчет гидравлического сопротивления канала или группы последовательно соединенных каналов [кгс · с<sup>2</sup>/м<sup>8</sup>] выполняют по формуле

$$z = \frac{\gamma}{2g} \left( \lambda \frac{L}{d} + \xi \right) \frac{n}{s^2},$$

где  $n$  – число последовательно соединенных каналов длиной  $L$  каждый;  $\xi$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений поворотов и расширений на длине  $L$  одного канала.

Поскольку основной составной частью суммарного гидравлического сопротивления является трение, при выполнении гидравлического расчета главное внимание уделяют величине коэффициента трения.

Коэффициент трения  $\lambda$  зависит от турбулизации потока и относительной шероховатости стенок канала. Значения коэффициента трения могут быть определены из графиков таких зависимостей либо, для вполне гладких каналов, по формулам Пуазейля (для ламинарного движения потока)

$$\lambda = 64/\text{Re}$$

и Блазиуса (для турбулентного движения потока):

$$\lambda = 0.316/\sqrt[4]{\text{Re}}.$$

Необходимый напор на входе в систему определяется формулой  $H = zQ^2$ .

В результате расчета предлагаемой системы было получено, что необходимый для отвода потерь расход воды в рубашке статора равен 23.9 л/с; средняя скорость воды в каналах между пакетами стали – 0.4 м/с; избыточное давление воды на входе должно составить  $8 \cdot 10^4$  Па.

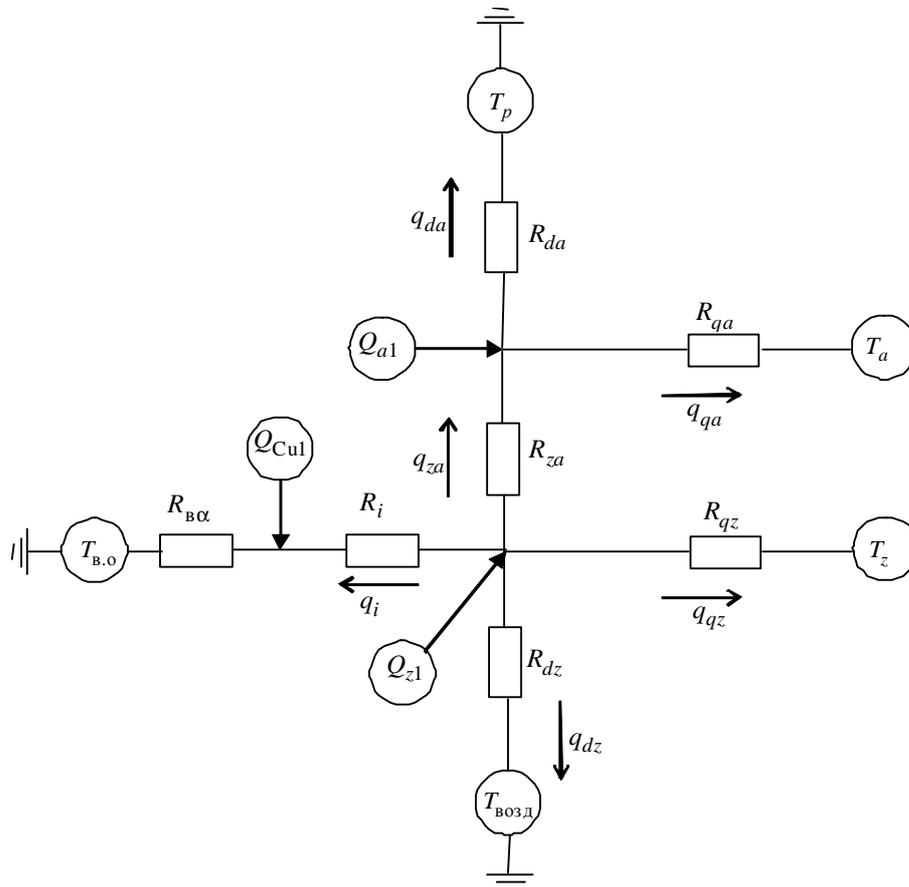


Рис. 3

Полученные в результате расчета данные (скорость и расход охлаждающей воды) используются для определения среднего и максимального превышений температур активных частей генератора над температурой охлаждающей воды. Тепловой расчет производится с помощью эквивалентных тепловых схем для стационарной задачи. Процесс теплопроводности трактуется как результат преодоления тепловым потоком  $q$  термического

сопротивления элемента машины и теплового сопротивления конвекции. Так, суммарное сопротивление элемента в одном направлении:

$$R = \frac{\delta}{2\lambda_{Me}bh} + \frac{1}{\alpha bh},$$

где  $\delta$  – толщина элемента, через которую проходит тепловой поток;  $b, h$  – ширина и высота элемента;  $\lambda_{Me}$  – коэффициент теплопроводности.

При составлении тепловой схемы предполагается следующее движение тепла: потери в зубцах статора  $Q_{z1}$  распределяются в четырех направлениях – вдоль листов к расточке статора ( $q_{dz}$ ), поперек листов ( $q_{qz}$ ), вдоль листов к спинке статора ( $q_{za}$ ) и через изоляцию к обмотке ( $q_i$ ). Потери, выделившиеся в ярме статора  $Q_{a1}$ , вместе с потоком, поступившим от зубцов  $q_{za}$ , движутся в направлении вдоль листов к наружной поверхности ( $q_{da}$ ) и поперек листов к охлаждающей воде ( $q_{qa}$ ). Потери из обмотки  $Q_{Cu1}$  отводятся водой в каналах.

Другие принятые обозначения на схеме: тепловые сопротивления:  $R_i$  – изоляции обмотки статора в сердечнике,  $R_{в\alpha}$  – с поверхности меди к воде,  $R_{qa}$  – ярма в аксиальном направлении, включает тепловое сопротивление с поверхности стали к воде,  $R_{qz}$  – зубцов в аксиальном направлении, включает тепловое сопротивление с поверхности стали к воде,  $R_{da}$  – ярма в радиальном направлении,  $R_{dz}$  – зубцов в радиальном направлении;  $R_{za}$  – на пути потока из зубца к ярму; подогрев:  $T_{в.о}$  – воды в обмотке статора;  $T_a$  – воды в области ярма;  $T_z$  – воды в области зубцов;  $T_{возд}$  – воздуха в зазоре.

На основании тепловой схемы замещения (рис. 3) составляется система уравнений теплового баланса:

$$\begin{cases} \Delta T_{Cu} = R_{в\alpha}(Q_{Cu1} + q_i) + T_{в.о}; \\ \Delta T_a = R_{da}q_{da} + T_p = R_{qa}(Q_{a1} + q_{za} - q_{da}) + T_a; \\ \Delta T_z = R_{dz}q_{dz} + T_{возд} = R_{qz}(Q_{z1} - q_i - q_{za} - q_{dz}) + T_z; \\ \Delta T_z - \Delta T_a = R_{za}q_{za}; \\ \Delta T_z - \Delta T_{Cu} = R_i q_i, \end{cases}$$

из которой выражаются превышения температуры меди  $\Delta T_{Cu}$ , сердечника  $\Delta T_a$  и зубцов  $\Delta T_z$  над температурой охлаждающей воды.

В рассчитываемой системе водой в каналах обмотки полностью отводится тепло, выделяющееся в проводниках, и незначительное количество тепла, поступающее в обмотку из зубцов. Превышение температуры воды на сливе из обмотки, согласно расчету, – 20 °С. Среднее превышение температуры зубцов над температурой входящей воды составило 45.7 °С, температуры спинки статора над температурой входящей воды – 39 °С.

Предлагаемая система эффективна для охлаждения крупного турбогенератора мощностью 1000 МВт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов И. Ф. Анализ распределения статического давления в схемах вентиляции электрических машин // Электросила. 1976. № 31. С. 110–113.
2. Филиппов И. Ф. Основы теплообмена в электрических машинах. Л.: Энергия, 1974.

*I. F. Filippov, E. A. Shamarina*

### *ALTERNATIVE WATER COOLING SYSTEM OF TURBINE GENERATOR CORE*

*With the increase of unit capacity of turbine generators there was a question about the application of a complete water cooling system, as the most effective. At the present time coolers for cooling turbine generator stator with a complete water-cooling system are used. Coolers are between packs and connected by hoses. Such a system is not sufficiently reliable. In this regard, it is proposed an alternative cooling system, excluding the large number of hoses.*

**Turbine generator stator, cooling water, coolers between the packs**



УДК 681.883.67.001.24

*С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко*

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КПД ШИРОКОПОЛОСНОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ**

*Рассмотрен широкополосный пьезоизлучатель в виде пьезопластины с согласующим слоем. В качестве акустической нагрузки выбрана водная среда. На основе применения аппарата эквивалентных схем пьезопреобразователей получены выражения, определяющие полный (акустоэлектрический) КПД преобразователя и излучаемую им акустическую мощность с учетом механических и диэлектрических потерь в материале пьезокерамики и механических потерь в материале согласующего слоя. Предложенный математический метод расчета КПД широкополосного преобразователя с потерями может оказаться полезным при проектировании пьезоаппаратуры различного назначения.*

**Пьезопреобразователь, КПД, механическая добротность, тангенс угла диэлектрических потерь, согласующий слой, частотная характеристика, ширина полосы пропускания**

Одним из важнейших параметров, которые характеризуют эффективность работы пьезопреобразователя, является коэффициент полезного действия (КПД). Чем выше КПД, тем эффективней работает излучатель. В большинстве случаев определение КПД осуществляется на частотах вблизи резонанса, т. е. в предположении о том, что на других частотах излучаемая акустическая мощность мала, вследствие чего КПД не имеет существенного значения для характеристики свойств преобразователя. В то же время, для преобразователей, работающих в широкой полосе частот, данный параметр может так же представлять интерес, особенно в диапазоне, соответствующем полосе пропускания. Анализ научно-технической литературы показывает, что данному вопросу уделено недостаточное внимание [см. лит.]. Особенно слабо он отражен в исследованиях КПД широкополосного преобразователя с учетом механических и диэлектрических потерь в активном материале и механических потерь в материале слоя (если широкополосность излучателя достигается за счет применения согласующего слоя). Данным обстоятельством объясняется интерес авторов к проведению исследования, результаты которого частично представлены в настоящей статье.

Рассмотрим излучатель, представляющий собой пьезопластину с согласующим четвертьволновым слоем. Возбуждающее напряжение обозначим через  $U$ . В качестве акустической нагрузки выберем воду. Эквивалентная схема данного преобразователя изображена на рис. 1. Часть схемы, которая расположена слева от линии  $a-a$ , относится к пьезопластине. Другая часть схемы, расположенная справа от линии  $a-a$ , относится к согласующему слою. Будем обозначать через  $Z$  полные акустические импедансы, причем

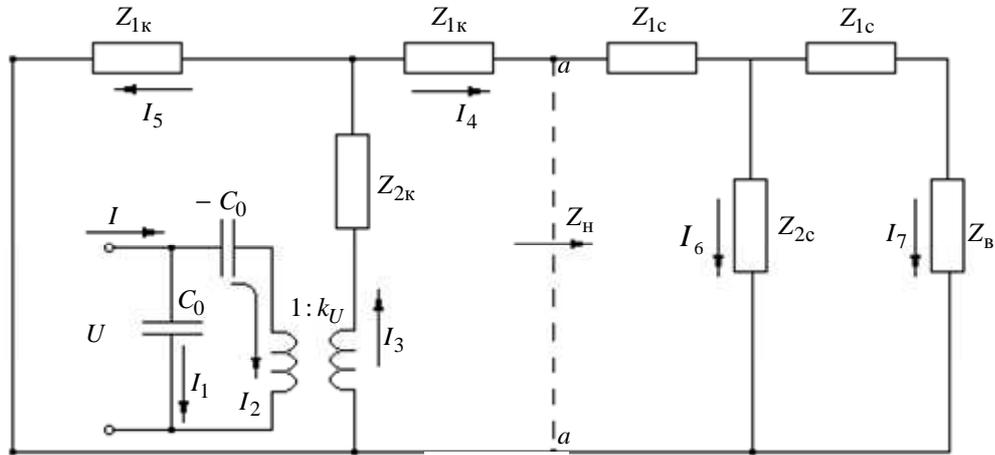


Рис. 1

договоримся, что нижний индекс «к» будет относиться к пьезокерамике, а индексы «с» и «в» – к согласующему слою и водной среде соответственно. Отметим, что в представленной на рис. 1 схеме не учитываются потери в пьезокерамике и в материале согласующего слоя. При этом на рисунке приняты следующие обозначения:  $Z_{1k} = j(\rho_k c_k) S \operatorname{tg} k_k l_k / 2$ ;

$$Z_{2k} = \frac{\rho_k c_k S}{j \sin k_k l_k}; \rho_k - \text{плотность пьезокерамики}; c_k = (c_{33D} / \rho_k)^{1/2} - \text{скорость звуковых}$$

волн при колебаниях пьезопластины по толщине;  $c_{33D}$  – модуль жесткости при постоянной электрической индукции  $D$ ;  $k_k = \frac{\omega}{c_k}$  – волновое число;  $l_k$  – толщина пьезопластины;

$$S - \text{площадь грани пластины, покрытой электродом}; Z_{1c} = j(\rho_c c_c) S \operatorname{tg} \frac{k_c l_c}{2};$$

$$Z_{2c} = \frac{\rho_c c_c S}{j \sin k_c l_c}; c_c - \text{скорость продольных волн в согласующем слое}; k_c = \omega / c_c - \text{волновое}$$

число;  $l_c$  – толщина слоя;  $Z_B = (\rho_v c_v) S$ ;  $\rho_v$  и  $c_v$  – плотность воды и скорость звука в ней соответственно. Площадь  $S$  для граней пьезопластины и согласующего слоя будем считать одинаковой. Договоримся, что материал согласующего слоя изотропен. Коэффициент электромеханической трансформации  $k_U = e_{33} S / l_k$ , где  $e_{33}$  – пьезоконстанта; электрическая емкость заторможенной пьезопластины  $C_0 = \epsilon_0 \epsilon_{33u3} S / l_k$ ;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\epsilon_{33u3} = \epsilon_{33u}$  – диэлектрическая постоянная при постоянной деформации.

В пьезопластине будем учитывать механические потери на внутреннее трение и электрические потери в диэлектрике. В согласующем слое будем учитывать механические потери. Названные потери могут быть учтены путем введения комплексных модулей уп-

ругости, т. е. введением в рассмотрение комплексных скоростей звуковых волн, комплексных волновых чисел, комплексных акустических импедансов и комплексных диэлектрических проницаемостей.

Аналогично тому, как это принято в теории электрических цепей, будем обозначать комплексные величины точкой над буквами, обозначающими определенные физические величины. Тогда можем записать:

$$\dot{Z}_k = Z_k \left( 1 + j \frac{1}{2Q_k} \right); \quad \dot{Z}_c = Z_c \left( 1 + j \frac{1}{2Q_c} \right); \quad \dot{C}_0 = C_0 (1 - j \operatorname{tg} \delta),$$

где  $Q_k$  – механическая добротность пьезокерамики;  $Q_c$  – механическая добротность материала согласующего слоя;  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь.

Механические импедансы на схеме-аналоге являются тригонометрическими функциями от волновых толщин пьезокерамики ( $k_k l_k$ ) и согласующего слоя ( $k_c l_c$ ). С учетом комплексности можно написать (в предположении, что  $(1/2Q) \ll 1$ ):

$$\left( \dot{k}_k l_k \right) = \frac{\omega l_k}{c_k \left( 1 + j \frac{1}{2Q_k} \right)} = k_k l_k (1 - j/(2Q_k)); \quad \left( \dot{k}_c l_c \right) = \frac{\omega l_c}{c_c \left( 1 + j \frac{1}{2Q_c} \right)} = k_c l_c (1 - j/(2Q_c)).$$

Для волновых аргументов введем следующие обозначения:  $x = k_k l_k$ ;  $k_c l_c = \alpha x$ , где  $\alpha = k_c l_c / x$  – коэффициент, характеризующий отношение волновой толщины согласующего слоя к волновой толщине пьезопластины. Тогда можно написать, что

$$\dot{x} = x (1 - j/(2Q_k)); \quad \dot{\alpha} x = \alpha x (1 - j/(2Q_c));$$

$$\dot{Z}_{1k}(x) = \frac{jZ_k \left( \operatorname{tg} \left( \frac{x}{2} \right) - j \operatorname{th} \left( \frac{x}{4Q_k} \right) \right)}{1 + j \operatorname{tg} \left( \frac{x}{2} \right) \operatorname{th} \left( \frac{x}{4Q_k} \right)}; \quad \dot{Z}_{2k}(x) = \frac{Z_k}{j \left( \sin x \operatorname{ch} \left( \frac{x}{2Q_k} \right) - j \cos x \operatorname{sh} \left( \frac{x}{2Q_k} \right) \right)};$$

$$\dot{Z}_{1c}(x) = \frac{jZ_c \left( \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha x}{2} \right) - j \operatorname{th} \left( \frac{\alpha x}{4Q_c} \right) \right)}{1 + j \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha x}{2} \right) \operatorname{th} \left( \frac{\alpha x}{4Q_c} \right)}; \quad \dot{Z}_{2c}(x) = \frac{Z_c}{j \left( \sin \alpha x \operatorname{ch} \left( \frac{\alpha x}{2Q_c} \right) - j \cos \alpha x \operatorname{sh} \left( \frac{\alpha x}{2Q_c} \right) \right)}.$$

Эквивалентную схему, изображенную на рис. 1, можно использовать для расчета характеристик преобразователя с учетом потерь в материалах, если сделать замены  $Z_{1k}$ ,  $Z_{2k}$ ,  $Z_{1c}$ ,  $Z_{2c}$ ,  $C_0$  на  $\dot{Z}_{1k}$ ,  $\dot{Z}_{2k}$ ,  $\dot{Z}_{1c}$ ,  $\dot{Z}_{2c}$ ,  $\dot{C}_0$  соответственно.

Найдем входной импеданс  $\dot{Z}_H$  (по линии  $a-a$ ) согласующего слоя, нагруженного на импеданс  $Z_B$ :

$$\dot{Z}_H = \dot{Z}_{1c} + \frac{\dot{Z}_{2c} (\dot{Z}_{1c} + Z_B)}{\dot{Z}_{2c} + \dot{Z}_{1c} + Z_B}.$$

Тогда схема, приведенная на рис. 1, примет вид, представленный на рис. 2, где импедансы и токи обозначены символами с точками. Найдем импеданс, подключенный к точкам (*bb*):

$$\dot{Z}_{bb} = \frac{(\dot{Z}_{1к} + \dot{Z}_H) \dot{Z}_{1к}}{2\dot{Z}_{1к} + \dot{Z}_H}.$$

К концам вторичной обмотки трансформатора присоединен импеданс  $\dot{Z}_M = \dot{Z}_{2к} + \dot{Z}_{bb}$

В дальнейшем будем полагать параметр  $k_U$  вещественным. Это предположение можно считать справедливым ввиду малости мнимой части [1] и отсутствия зависимости  $k_U$  от частоты.

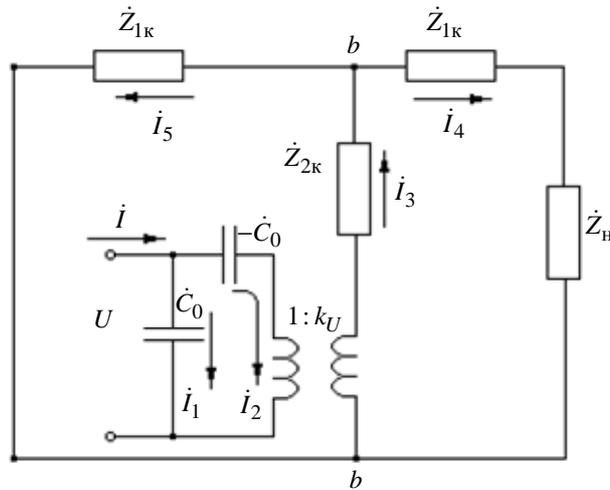


Рис. 2

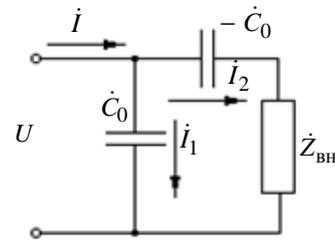


Рис. 3

Импеданс, внесенный в первичную обмотку трансформатора,  $\dot{Z}_{вн} = \dot{Z}_M / k_U^2$ .

Схема, целиком приведенная к электрической стороне, представлена на рис. 3. Можно определить входное электрическое сопротивление преобразователя:

$$\dot{Z}_{эл. вх} = \frac{\frac{1}{j\omega \dot{C}_0} \left( -\frac{1}{j\omega \dot{C}_0} + \frac{\dot{Z}_M}{k_U^2} \right)}{\frac{\dot{Z}_M}{k_U^2}}.$$

После некоторых алгебраических преобразований данное выражение для  $\dot{Z}_{эл. вх}$  может быть представлено в виде  $\dot{Z}_{эл. вх} = \frac{1}{\omega_0 \dot{C}_0} \left( \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{k_U^2}{\omega_0 \dot{C}_0} \frac{1}{\dot{Z}_M} \right)$ , где  $\gamma = \omega / \omega_0$ ;  $\omega_0$  – частота антрирезонанса пластины.

Проведением ряда преобразований можно получить, что

$$\frac{k_U^2}{\omega_0 \dot{C}_0} = \frac{\beta^2 \dot{Z}_к}{\pi} \frac{1}{(1 - j \operatorname{tg} \delta) \left( 1 + j \frac{1}{2Q_k} \right)},$$

где  $\beta$  – коэффициент электромеханической связи пьезокерамики. Окончательно получаем

$$\dot{Z}_{\text{эл. вх}} = \frac{1}{\omega_0 C_0} \frac{1}{1-j \operatorname{tg} \delta} \left( \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2}{\pi} \frac{\dot{Z}_{\text{к}}}{\dot{Z}_{\text{м}}} \frac{1}{(1-j \operatorname{tg} \delta) \left(1+j \frac{1}{2Q_{\text{к}}}\right)} \right)$$

Определим полный ток через преобразователь

$$\dot{I} = \frac{U}{\dot{Z}_{\text{эл. вх}}} = U (\omega_0 C_0) (1-j \operatorname{tg} \delta) \left/ \left( \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2}{\pi} \frac{1}{(1-j \operatorname{tg} \delta) \left(1+j \frac{1}{2Q_{\text{к}}}\right)} \frac{\dot{Z}_{\text{к}}}{\dot{Z}_{\text{м}}} \right) \right.$$

Введем обозначение  $A = \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2}{\pi} \frac{\dot{Z}_{\text{к}}}{\dot{Z}_{\text{м}}} \frac{1}{(1-j \operatorname{tg} \delta) \left(1+j \frac{1}{2Q_{\text{к}}}\right)}$ . Тогда можно написать

$$\dot{Z}_{\text{эл. вх}} = \frac{1}{\omega_0 C_0} \frac{1}{1-j \operatorname{tg} \delta} A; \quad \dot{I} = U (\omega_0 C_0) (1-j \operatorname{tg} \delta) \frac{1}{A}.$$

Потребляемая электрическая мощность

$$\begin{aligned} W_{\text{эл}} &= |\dot{I}|^2 \operatorname{Re} Z_{\text{вх}} = U^2 (\omega_0 C_0)^2 |1-j \operatorname{tg} \delta|^2 \frac{1}{|A|^2} \operatorname{Re} \left( \frac{1}{\omega_0 C_0} \frac{1}{1-j \operatorname{tg} \delta} A \right) = \\ &= U^2 (\omega_0 C_0) \left| \frac{1-j \operatorname{tg} \delta}{A} \right|^2 \operatorname{Re} \left( \frac{A}{1-j \operatorname{tg} \delta} \right). \end{aligned}$$

Теперь найдем ток  $\dot{I}_2$ , протекающий через  $\dot{Z}_{\text{вн}}$ :

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_2 (1 + \dot{I}_1 / \dot{I}_2), \quad \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{Z}_{\text{вн}} + j \frac{1}{\omega_0 \dot{C}_0}}{1};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}}{1 + \dot{I}_1 / \dot{I}_2} = \dot{I} \frac{1}{\dot{Z}_{\text{вн}} j \omega_0 \dot{C}_0} = \dot{I} \frac{1}{j \gamma \omega_0 \dot{C}_0 \dot{Z}_{\text{вн}}}.$$

Полная механическая энергия  $W_{\text{мех}} = |\dot{I}_2|^2 \operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{вн}} = |\dot{I}|^2 \left| \frac{1}{j \gamma \omega_0 \dot{C}_0 \dot{Z}_{\text{вн}}} \right|^2 \operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{вн}}$ .

Используя ранее полученное выражения для  $\dot{I}$ , можно записать выражение для  $W_{\text{мех}}$ :

$$W_{\text{мех}} = U^2 \frac{1}{|A|^2} \frac{1}{\gamma^2} \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{вн}}}{|\dot{Z}_{\text{вн}}|^2}.$$

Преобразуем выражение  $\frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{BH}}}{|\dot{Z}_{\text{BH}}|^2}$ :

$$\dot{Z}_{\text{BH}} = \frac{\dot{Z}_{\text{M}}}{k_U^2}; \operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{BH}} = \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{M}}}{k_U^2}; |\dot{Z}_{\text{BH}}|^2 = \frac{|\dot{Z}_{\text{M}}|^2}{k_U^4}.$$

Тогда  $\frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{BH}}}{|\dot{Z}_{\text{BH}}|^2} = k_U^2 \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{M}}}{|\dot{Z}_{\text{M}}|^2}$ . Теперь выражение для  $W_{\text{мех}}$  можно записать в виде

$$W_{\text{мех}} = U^2 (\omega_0 C_0) \frac{1}{|A|^2} \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2 Z_{\text{К}}}{\pi} \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{M}}}{|\dot{Z}_{\text{M}}|^2}.$$

Электромеханический КПД

$$\eta_{\text{мэ}} = \frac{W_{\text{мех}}}{W_{\text{эл}}} = \left( \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2 Z_{\text{К}}}{\pi} \left| \frac{1}{1 - j \operatorname{tg} \delta} \right|^2 \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_{\text{M}}}{|\dot{Z}_{\text{M}}|^2} \right) / \operatorname{Re} \left( \frac{A}{1 - j \operatorname{tg} \delta} \right).$$

Перейдем теперь к определению излучаемой акустической мощности:

$$W_{\text{а}} = |\dot{i}_7|^2 Z_{\text{В}}.$$

Пересчитаем ток  $\dot{i}_2$  в механический контур схемы-аналога:  $\dot{i}_3 = \frac{\dot{i}_2}{k_U}$ . Ток  $\dot{i}_3$  является

полным током через пластину  $\dot{i}_3 = \dot{i}_4 + \dot{i}_5$ . Кроме того,  $\frac{\dot{i}_4}{\dot{i}_5} = \frac{\dot{Z}_{1\text{К}}}{\dot{Z}_{1\text{К}} + \dot{Z}_{\text{H}}}$ ;  $\dot{i}_3 = \dot{i}_4 \left( 1 + \frac{\dot{i}_5}{\dot{i}_4} \right)$ .

Отсюда следует, что  $\dot{i}_4 = \dot{i}_3 \frac{1}{1 + \dot{i}_5/\dot{i}_4} = \dot{i}_3 \frac{\dot{Z}_{1\text{К}}}{2\dot{Z}_{1\text{К}} + \dot{Z}_{\text{H}}}$ .

Ток  $\dot{i}_4$  является током на входе согласующего слоя. При этом

$$\dot{i}_4 = \dot{i}_6 + \dot{i}_7 = \dot{i}_7 \left( 1 + \frac{\dot{i}_6}{\dot{i}_7} \right);$$

$$\frac{\dot{i}_6}{\dot{i}_7} = \frac{\dot{Z}_{1\text{с}} + Z_{\text{В}}}{\dot{Z}_{2\text{с}}}; \dot{i}_7 = \dot{i}_4 \frac{1}{1 + \frac{\dot{i}_6}{\dot{i}_7}} = \dot{i}_4 \frac{1}{1 + \frac{\dot{Z}_{1\text{с}} + \dot{Z}_{\text{В}}}{\dot{Z}_{2\text{с}}}} = \dot{i}_4 \frac{\dot{Z}_{2\text{с}}}{\dot{Z}_{1\text{с}} + \dot{Z}_{2\text{с}} + \dot{Z}_{\text{В}}};$$

$$\dot{i}_4 = \frac{U \omega_0 C_0}{k_U} \frac{1}{A} \frac{1}{j\gamma} \frac{\beta^2}{\pi} \frac{\dot{Z}_{\text{К}}}{\dot{Z}_{\text{М}}} \frac{\dot{Z}_{1\text{К}}}{2\dot{Z}_{1\text{К}} + \dot{Z}_{\text{H}}};$$

$$\dot{i}_7 = \frac{U \omega_0 C_0}{k_U} \frac{1}{A} \frac{1}{j\gamma} \frac{\beta^2}{\pi} \frac{\dot{Z}_{\text{К}}}{\dot{Z}_{\text{М}}} \frac{\dot{Z}_{1\text{К}}}{2\dot{Z}_{1\text{К}} + \dot{Z}_{\text{H}}} \frac{\dot{Z}_{2\text{с}}}{\dot{Z}_{1\text{с}} + \dot{Z}_{2\text{с}} + \dot{Z}_{\text{В}}}.$$

Таким образом, выражение для акустической мощности может быть записано следующим образом:

$$W_a = |i_7|^2 Z_B = \frac{U^2 (\omega_0 C_0)^2}{k_U^2} \frac{1}{|A|^2} \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^4}{\pi^2} \left| \frac{\dot{Z}_K}{\dot{Z}_M} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{2C}}{\dot{Z}_{1C} + \dot{Z}_{2C} + \dot{Z}_B} \right|^2 Z_B;$$

для электрической мощности –

$$W_{эл} = U^2 (\omega_0 C_0) \left| \frac{1 - j \operatorname{tg} \delta}{A} \right|^2 \operatorname{Re} \left( \frac{A}{1 - j \operatorname{tg} \delta} \right);$$

для акустоэлектрического КПД –

$$\eta_{аэ} = \frac{W_a}{W_{эл}} = \frac{\frac{Z_B}{Z_K} \frac{1}{\gamma^2} \frac{\beta^2}{\pi} \left| \frac{\dot{Z}_K}{\dot{Z}_M} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{2C}}{\dot{Z}_{1C} + \dot{Z}_{2C} + \dot{Z}_B} \right|^2}{|1 - j \operatorname{tg} \delta|^2 \operatorname{Re} \left( \frac{A}{1 - j \operatorname{tg} \delta} \right)}.$$

Определим также и акустомеханический КПД:

$$W_{мех} = |i_2|^2 \operatorname{Re} \dot{Z}_{BH} = |i_2|^2 \frac{\operatorname{Re} \dot{Z}_M}{k_U^2}.$$

Излучаемая акустическая мощность  $W_a = |i_7|^2 Z_B$ . Соотношения между токами:

$$i_3 = \frac{i_2}{k_U}; \quad i_4 = \frac{i_2}{k_U} \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H}; \quad i_7 = \frac{i_2}{k_U} \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H} \frac{\dot{Z}_{2C}}{\dot{Z}_{1C} + \dot{Z}_{2C} + \dot{Z}_B};$$

$$W_a = \frac{|i_2|^2}{k_U^2} \left| \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{2C}}{\dot{Z}_{1C} + \dot{Z}_{2C} + \dot{Z}_B} \right|^2 Z_B;$$

акустомеханический КПД

$$\eta_{ам} = \frac{W_a}{W_{мех}} = \left| \frac{\dot{Z}_{1K}}{2\dot{Z}_{1K} + \dot{Z}_H} \right|^2 \left| \frac{\dot{Z}_{2C}}{\dot{Z}_{1C} + \dot{Z}_{2C} + \dot{Z}_B} \right|^2 \frac{Z_B}{\operatorname{Re}(\dot{Z}_M)}.$$

Таким образом, в настоящей работе теоретически решена задача, позволяющая определить акустоэлектрический КПД пластинчатого преобразователя, имеющего согласующий слой и излучающего сигнал в водную среду, в широкой полосе частот с учетом механических и диэлектрических потерь в пьезокерамике и механических потерь в материале согласующего слоя. Предложенный метод может быть использован при решении задач, возникающих при проектировании пьезоаппаратуры различного назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (контракт № 13.G25.31.0054).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пьезокерамические преобразователи: Справочник / В. В. Ганопольский, Б. А. Касаткин, Ф. Ф. Легуша и др. Л.: Судостроение, 1984. 256 с.

*S. I. Konovalov, A. G. Kuz'menko*

### *TO THE QUESTION ON DETERMINING OF EFFICIENCY OF THE BROADBAND PIEZOELECTRIC TRANSDUCER IN VIEW OF MECHANICAL AND DIELECTRIC LOSSES*

*A broadband piezoelectric transducer as a piezoplate with matching layer is considered. The water medium is chosen as acoustical load. On the basis of application of the theory of equivalent circuits of piezoelectric transducers the formulas determining the efficiency of the transducer and acoustical power radiated by it in view of mechanical and dielectric losses in a material of piezoelectric ceramics and mechanical losses in a material of matching layer. The offered mathematical computational method of an efficiency of the broadband transducer with losses can appear the useful at developing of piezoelectric equipment of various assignment.*

**Piezoelectric transducer, efficiency, mechanical quality factor, dielectric loss, matching layer, frequency response, bandwidth**

УДК 531.383

*Д. П. Лукьянов, С. Ю. Шевченко,  
Е. П. Филиппова, А. С. Кукаев, Д. В. Сафронов*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ПРИ ПОСТРОЕНИИ МИКРОАКСЕЛЕРОМЕТРА НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ<sup>1</sup>**

*Рассматриваются назначение тонкопленочных покрытий и способы их нанесения при разработке микроэлектромеханических систем (МЭМС). Приводятся результаты моделирования методом конечных элементов консоли чувствительного элемента микроакселерометра с нанесенными тонкими пленками. Оцениваются значения напряжений, относительных удлинений и смещений консоли с тонкими пленками различной площади под действием ускорения.*

**Тонкие пленки, поверхностная акустическая волна (ПАВ), микромеханический акселерометр (ММА), метод конечных элементов (МКЭ)**

**Особенности планарной технологии.** Планарные 2D-технологии используют для изготовления твердотельных микроакселерометров на ПАВ. Основным элементом этих микросенсоров являются линии задержки и резонаторы. Простота кинематической схемы и высокий уровень конструктивной интеграции создают предпосылки для повышения точностных характеристик, уменьшения общих габаритов и существенного уменьшения общей стоимости их производства.

Особенностью планарной технологии является ее универсальность. Технологический процесс состоит из трех повторяющихся операций (химическая обработка, термическая обработка и фотолитография). Самые разнообразные полупроводниковые приборы и интегральные схемы можно создавать изменением только комплекта фотошаблонов и режимов термических процессов.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

**Применение тонких пленок в микромеханических системах.** Тонкие металлические пленки используют в микромеханических системах для реализации на поверхности объектов элементов различного назначения, например, отражателей и встречно-штыревых преобразователей (ВШП). Из них, в свою очередь, состоят ПАВ-резонаторы, являющиеся датчиками первичной информации различных микросенсоров, например микроакселерометров на поверхностных акустических волнах.

Для большинства изделий на ПАВ в качестве металла для тонких пленок используют золото или алюминий. Последний характеризуется низким удельным сопротивлением, небольшой плотностью и хорошей стойкостью к воздействию окружающей среды. Толщина покрытия обычно составляет 0,05...0,3 мкм. При напылении слоя золота на кристаллические подложки адгезия недостаточна, поэтому часто используют подслоя хрома. Существуют различные способы получения пленок: химическое осаждение из газовой среды, гальваническое осаждение из растворов солей металлов, термическое окисление поверхности, ионное распыление [1].

**Принцип построения преобразователей на ПАВ.** Преобразователи на поверхностных акустических волнах строятся в основном по схеме с частотным выходом. Основу частотных преобразователей составляет автогенератор, в качестве частото задающего элемента которого используется линия задержки или резонатор.

Для возбуждения и детектирования ПАВ в пьезоэлектриках применяют системы из двух вложенных одна в другую металлизированных гребенок (ВШП), изображенных на рис. 1, а. С их помощью осуществляется как преобразование электрического сигнала в акустическую волну, так и ее обратное преобразование в электрический сигнал. Для изготовления ВШП применяют фотолитографический метод. Каждая из решеток электродов характеризуется периодом (шагом)  $d$ , шириной  $a$  и длиной  $L$  электродов. В общем случае эти параметры могут меняться по длине решетки [2].

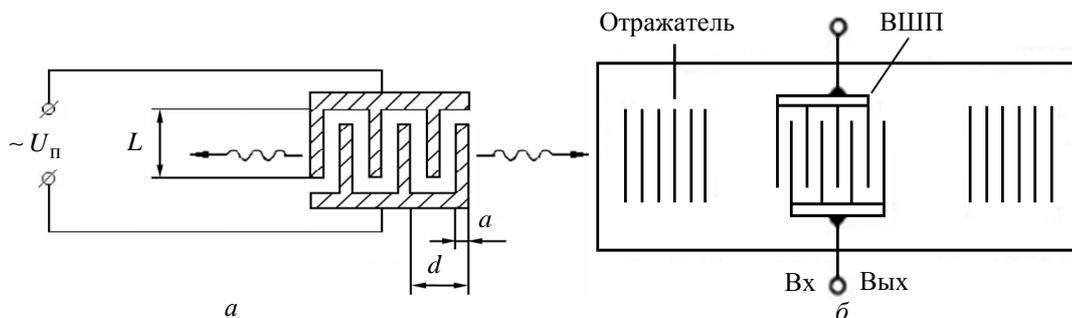


Рис. 1

При подаче между двумя решетками переменного напряжения с частотой  $f$  через обратный пьезоэффект на поверхности подложки возникают периодически меняющиеся по знаку в пространстве механические напряжения, приводящие к возбуждению поверхностной волны.

Резонатор на ПАВ должен содержать минимум два отражателя, предотвращающие утечку энергии из резонансной полости, и ВШП, с помощью которого осуществляется ввод энергии в полость и ее съем (рис. 1, б).

**Структура и принцип действия микроакселерометра на ПАВ.** На рис. 2 представлен чувствительный элемент (ЧЭ) микроакселерометра, где 1 – консоль; 2 – инерционная масса; 3 – отражатели ПАВ-резонатора; 4 – встречно-штыревой преобразователь. В этой статье будут исследоваться деформации консоли 1, которая входит в состав чувствительного элемента.

При воздействии ускорения  $a$  консоль  $1$ , нагруженная инерционной массой  $2$ , испытывает деформации изгиба. При этом происходит растяжение и сжатие оппозитных поверхностей пластины.

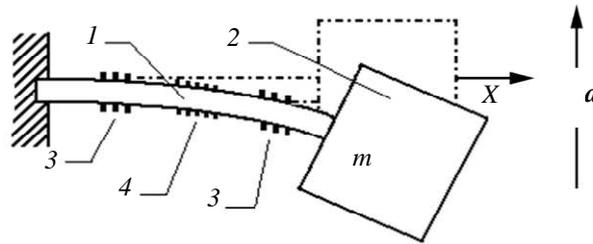


Рис. 2

Возникающие поверхностные напряжения изменяют упругие модули и плотность, геометрические размеры материала в поверхностном слое. Как показано в работе [3], при деформациях растяжения время распространения ПАВ по поверхности пластины увеличивается как за счет ее геометрического удлинения, так и за счет уменьшения фазовой скорости, вариации которой определяются изменением модулей упругости (их уменьшением). На оппозитной стороне пластины имеют место деформации сжатия, которые приводят к противоположному по знаку приращению времени распространения ПАВ.

Обобщенная структурная схема дифференциального ПАВ-микроакселерометра показана на рис. 3.

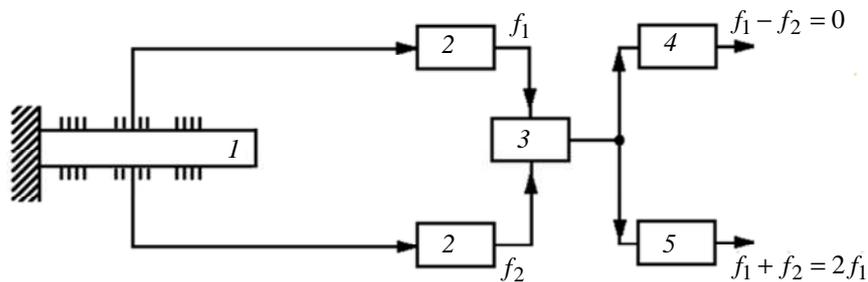


Рис. 3

ЧЭ акселерометра состоит из пьезоэлектрической консоли  $1$ , один конец которой нагружается инерционной массой  $m$ . На оппозитных сторонах консоли ЧЭ размещены два ПАВ-резонатора, каждый из которых является частотоподающим элементом автогенераторов  $2$  с частотами  $f_1$  и  $f_2$ . Выходы каждого из них подключены к смесителю  $3$ , где формируются сигналы комбинационных частот  $f_1 - f_2$  и  $f_1 + f_2$ , выделяемые фильтрами суммарной и разностной частоты ( $4$  и  $5$  соответственно). Разностная частота оказывается пропорциональна действующему ускорению, а суммарная может быть использована для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов и, прежде всего, температуры, через канал автоподстройки частот генераторов (на рисунке не показан).

В данной статье рассматриваются результаты моделирования консоли чувствительного элемента микроакселерометра на ПАВ при нанесении на ее поверхности пленок различной топологии. Для моделирования используется программный комплекс ANSYS Workbench, в основе вычислений которого лежит метод конечных элементов (МКЭ).

**Метод конечных элементов (МКЭ).** Согласно методу конечных элементов, модель конструкции сложной формы подразделяется на более мелкие части (конечные элементы) сравнительно простой формы, в пределах которых ищется приближенное решение. Результатом такого моделирования обычно является поле напряжений и смещений в целой конструкции [4].

К основным этапам МКЭ относятся [5]: 1) идентификация задачи, присвоение ей имени; создание чертежа конструкции и нагрузок; 2) создание геометрии модели, пригодной для данного метода; 3) разбиение модели на сетку конечных элементов; 4) приложение к модели граничных условий (закрепление на границе или граничные нагрузки); 5) численное решение системы уравнений (автоматически); 6) анализ результатов.

Метод конечных элементов может значительно уменьшить затраты при разработке новых изделий, так как позволяет существенно сократить объемы дорогостоящих стендовых испытаний или даже полностью от них отказаться. Кроме того с помощью метода конечных элементов можно в сравнительно короткие сроки оценить характеристики равных вариантов конструкций и выбрать наилучший.

**Результаты моделирования чувствительного элемента микроакселерометра.** На рис. 4 приведена геометрическая модель консоли чувствительного элемента микроакселерометра (рассматривается консоль без инерционной массы). Параметры материалов и геометрические размеры модели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Объект моделирования	Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-10}$ , Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона, $\nu$	Геометрические размеры, мм
Консоль	Пьезокварц ST-среза	2649	5,8	0,23	$8,5 \times 3,5 \times 0,35$
					$11 \times 3,5 \times 0,35$
Металлизация	Золото	19300	7,9	0,41	$8,5 \times 3,5 \times 0,00025$
	Алюминий	2700	7,0	0,32	$8,5 \times 3,5 \times 0,00025$

Один конец консоли (точка А, рис. 5) жестко фиксируется, что соответствует ее закреплению в корпусе ММА. В качестве внешнего воздействия задается равномерно распределенное ускорение свободного падения  $g$ , которое направлено ортогонально поверхности консоли.

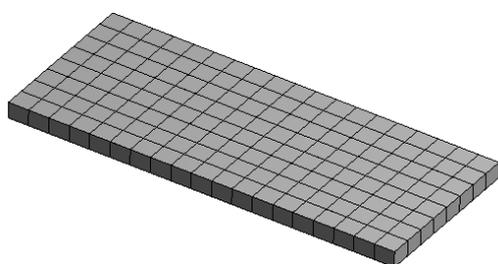


Рис. 4

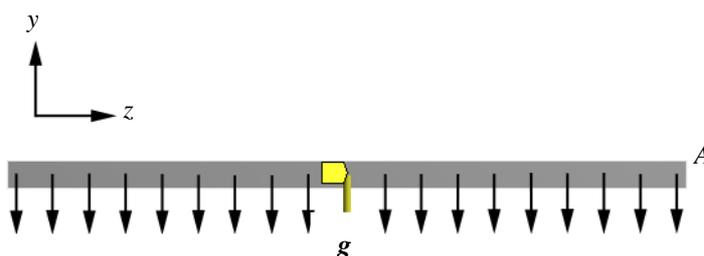
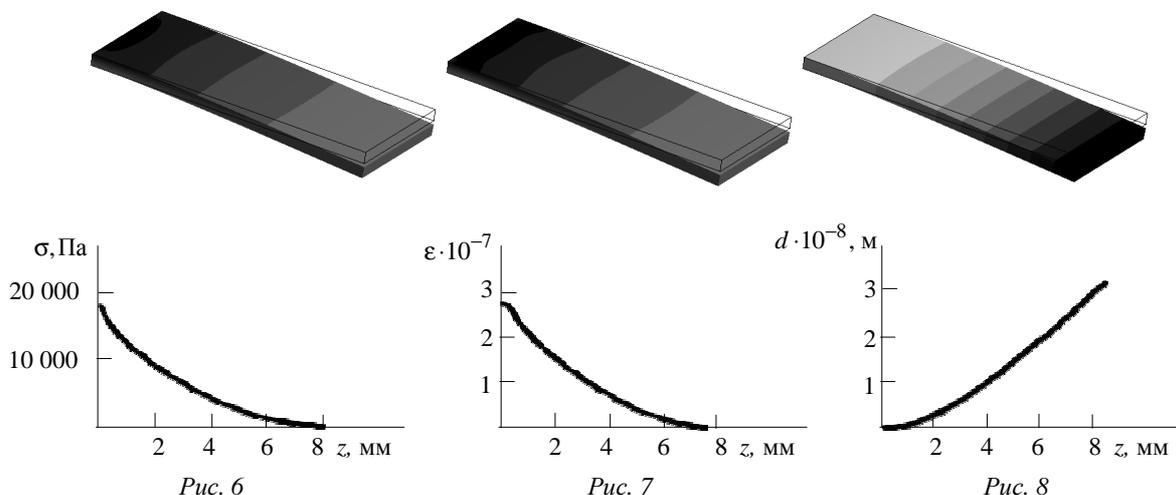


Рис. 5

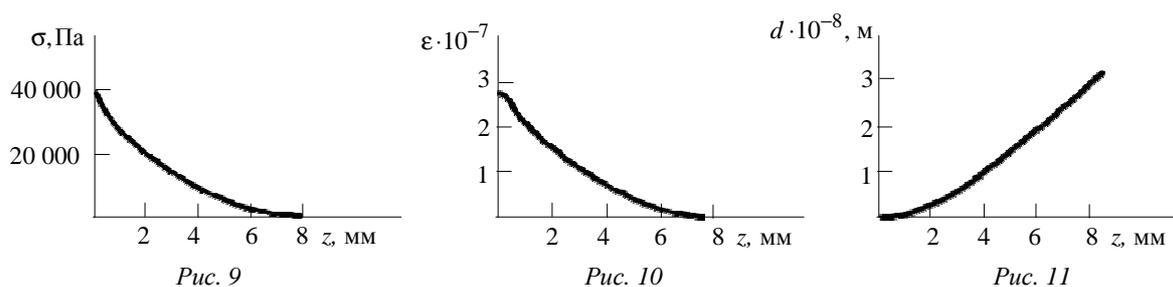
Под действием ускорения  $g$  консоль испытывает деформации изгиба, а на ее поверхности возникают напряжения, которые вызывают деформации растяжения-сжатия на ее оппозитных сторонах. Это, в свою очередь, приводит к удлинению и укорочению слоев поверхности консоли.

В процессе математического моделирования исследуются зависимости напряжений, относительных удлинений слоев упругого подвеса и смещений подложки чувствительного элемента ММА от измеряемого ускорения. Распределение напряжений, относительных удлинений и смещений вдоль длины консоли (по оси  $z$ ) представлено на рис. 6–8 соответственно.



Нормальные напряжения и относительные удлинения слоев поверхности консоли неоднородно распределены по ее длине и принимают максимальные значения в месте заделки (рис. 6, 7). График распределения смещений вдоль длины консоли также носит неоднородный характер, при этом сами значения изменяются от 0 (в месте заделки) до 28 нм (на незакрепленном крае).

На следующем этапе на всю площадь поверхности подложки наносится слой металлизации (золота). Построение сетки консоли проведено с шагом 0,1 мм, сетки напыления – с шагом 0,05 мм. Данные для расчетов приведены в табл. 1. Распределения напряжений, относительных удлинений и смещений вдоль длины консоли с односторонним напылением (по оси  $z$ ) представлены на рис. 9–11 соответственно.



Из графиков видно, что распределения носят неоднородный характер. Значение напряжения при одностороннем напылении превышает значение напряжения без напыления примерно в два раза (см. табл. 2).

Рассматривается несколько вариантов нанесения металлизации:

1. На одну сторону консоли: а) металлизация не закрепляется в точке задела; б) металлизация закрепляется в точке задела (для увеличения жесткости конструкции).

2. На две стороны консоли: а) металлизация не закрепляется в точке задела; б) металлизация закрепляется в точке задела.

Таблица 2

Оцениваемый параметр	Консоль (без металлизации)	Консоль с односторонней металлизацией		Консоль с двусторонней металлизацией	
		Металлизация не закреплена	Металлизация закреплена	Металлизация не закреплена	Металлизация закреплена
$\sigma_{\max}$ , Па	18 592	36 682	32 763	32 517	32 607
$\sigma_{\min}$ , Па	-18 675	-18 633	-18 634	-26 833	-26 886
$\epsilon_{\max} \cdot 10^{-7}$ , м/м	2,8546	2,9114	2,9111	2,9232	2,9239
$\epsilon_{\min} \cdot 10^{-7}$ , м/м	-2,8788	-2,7907	-2,7911	-2,8786	-2,8539
$d_{\max} \cdot 10^{-8}$ , м	2,803	2,8066	2,8075	2,814	2,814
$d_{\min} \cdot 10^{-8}$ , м	0	0	0	0	0

При этом также оцениваются величины напряжений, удлинений и смещений вдоль длины консоли. Максимальные и минимальные значения этих величин приведены в табл. 2.

Значения нормальных напряжений в сечении с координатой  $z$  и относительных удлинений слоев на поверхности консоли могут быть вычислены по формулам

$$\sigma = \frac{6ma(l-z)}{bh^2}, \quad \epsilon = \frac{6ma(l-z)}{bh^2E}, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина консоли;  $a$  – измеряемое ускорение;  $l$  – длина;  $h$  – поперечный размер сечения консоли;  $E$  – модуль упругости.

По данным, приведенным в табл. 2, можно сделать вывод, что при одностороннем напылении значения максимальных напряжений больше, чем при двустороннем, а значения максимальных относительных удлинений, наоборот, меньше. При этом максимальные значения смещений и удлинений наблюдаются у консоли с двусторонней металлизацией с закреплением, что вызвано увеличением ее массы (на 0,144 мг). Масса консоли без напыления составляет 28 мг.

В результате моделирования получаем следующие значения собственных частот колебаний консоли (табл. 3).

Таблица 3

Частота, Гц	Консоль (без металлизации)	Консоль с односторонней металлизацией	Консоль с двусторонней металлизацией
$f_1$	3703,1	3712	3707,2
$f_2$	18 783	19 086	19 060
$f_3$	22 986	23 141	23 112

Значения собственных частот  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  для разных вариантов металлизации мало отличаются, следовательно, наличие напыления слабо влияет на изменение собственных частот. Три первые формы колебаний выглядят одинаково для всех рассмотренных случаев, поэтому проиллюстрирован только один из них. На рис. 12 приведены первая, вторая и третья формы колебаний для консоли с односторонней металлизацией.

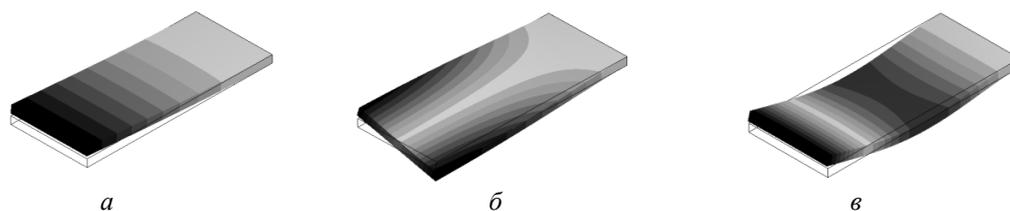


Рис. 12

Ниже рассматривается модель консоли с металлизацией в области расположения ПАВ-резонатора и оцениваются неоднородности распределения напряжений и удлинений вдоль его длины. Возникновение таких неоднородностей приводит к изменению межэлектродных расстояний для ВШП и отражателей, что вызывает приращение собственной частоты резонатора.

Резонансная частота невозмущенного резонатора определяется по формуле

$$f_0 = u_0 q / 2l, \quad (2)$$

где  $l$  – расстояние между центрами ВШП,  $q \gg 1$  – целое число,  $u_0$  – невозмущенное значение фазовой скорости ПАВ.

**Результаты моделирования консоли с двусторонней металлизацией в области расположения ПАВ-резонатора.** На поверхности подложки размещается одноходовый ПАВ-резонатор, состоящий из ВШП и двух отражателей, в качестве материала которых используются золото или алюминий. При моделировании не учитывается полная структура ВШП, а принимается упрощенная модель. Данные, используемые для моделирования, приведены в табл. 1.

Металлизация нанесена на обе стороны консоли. Рассматриваются два случая напыления области, занимаемой ВШП и отражателями: как единое целое (рис. 13, а); поделена на три части: крайние части соответствуют отражателям, средняя – ВШП (рис. 13, б).

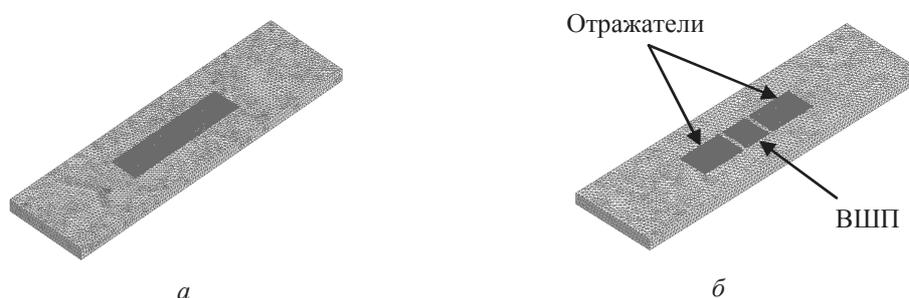


Рис. 13

Максимальные и минимальные значения моделируемых параметров приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оцениваемый параметр	Область расположения ПАВ-резонаторов			
	Поделена на три части		Представлена как цельная пластина	
	<i>Резонаторы выполнены</i>			
	из золота	из алюминия	из золота	из алюминия
$\sigma_{\max}$ , Па	31 832	31 795	31 628	31 795
$\sigma_{\min}$ , Па	-31 787	-31 749	-31 824	-31 749
$\epsilon_{\max} \cdot 10^{-7}$ , м/м	4,8961	4,8903	4,8148	4,8903
$\epsilon_{\min} \cdot 10^{-7}$ , м/м	-4,9010	-4,8952	-4,8431	-4,8952
$d_{\max} \cdot 10^{-8}$ , м	7,9106	7,9027	7,9097	7,9027
$d_{\min} \cdot 10^{-8}$ , м	0	0	0	0

По данным о распределении удлинений вдоль длины резонатора на основании формулы (2) можно вычислить приращение собственной частоты резонатора при действии ускорения на консоль микроакселерометра. При исходных данных  $q = 400$  и  $u_0 = 3158$  м/с получаем значение приращения частоты резонатора  $\Delta f = 76$  Гц.

На рис. 14 слева, в центре и справа показаны первая, вторая и третья формы колебаний консоли соответственно.

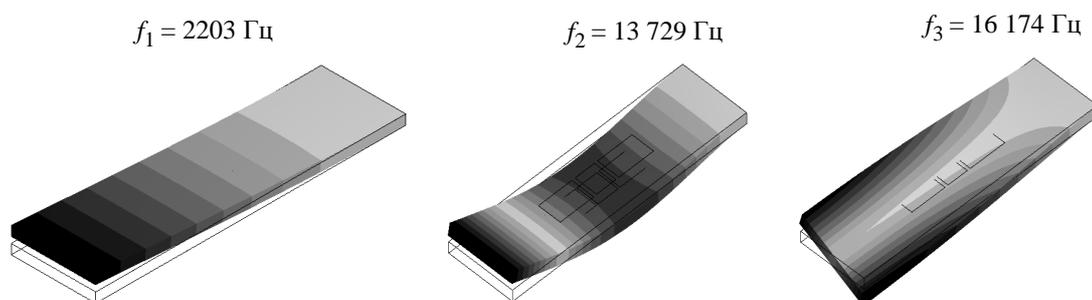


Рис. 14

В программе ANSYS Workbench было выполнено моделирование воздействия ускорения на консоль ЧЭ микроакселерометра на ПАВ. По его результатам проведена оценка величин напряжений, относительных удлинений и смещений консоли с напылением, возникающих при действии ускорения. Получены значения собственных частот чувствительного элемента микроакселерометра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2007.
2. Макаров В. М., Малов В. В., Карпеев Д. В. Частотные датчики механических величин на ПАВ-структурах // Сегнето- и пьезоматериалы и их применение. Материалы семинара МДНТП. М.: 1978. С. 59–62.
3. Разработка и оптимизация схемы построения микроакселерометра на поверхностных акустических волнах. Ч. 1 / Д. П. Лукьянов, М. М. Шевелько, С. Ю. Шевченко и др. // Гироскопия и навигация, 2005. № 2 (49). С. 79–95.
4. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. М.: Едиториал УРСС, 2003. 272 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.

*D. P. Loukianov, S. Yu. Shevchenko, E. P. Filippova, A. S. Kukaev, D. V. Safronov*

#### *SIMULATION OF THIN-FILM STRUCTURES FOR CONSTRUCTION OF MICROACCELEROMETER ON SURFACE ACOUSTIC WAVES*

*Appointment of thin-film coatings and methods of their plotting are considered by development of microelectromechanical systems (MEMS). Results of simulation by a finite-element method of the console of a sensitive element of micromechanical accelerometer with sputtered thin films are presented. Values of stress, elongations and displacements of the console, coated with thin films with different areas of coating, under the influence of acceleration are estimated.*

**Thin films, surface acoustic wave (SAW), micromechanical accelerometer (MMA), finite-element method (FEM)**

## НАГРУЗОЧНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕРЖНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ФАЗИРОВАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СЕКЦИЙ

Для стержневого преобразователя с двумя независимо возбуждаемыми пьезоактивными секциями анализируется характер изменения их полной входной проводимости и ее активной и реактивной составляющих по сравнению со случаем синфазного возбуждения преобразователя. Рассматриваются различные варианты фазированного возбуждения, обеспечивающего полную компенсацию тыльного излучения преобразователя, широкополосное излучение во фронтальном направлении (до 2 окт), увеличение уровня излучения путем противофазного возбуждения секций. Для всех режимов работы преобразователя приводятся результаты расчетов коэффициента полезного действия.

**Стержневой преобразователь, частотные характеристики, входная проводимость, уровень излучения, электрическая нагрузка**

В работах [1] и [2] рассматривались возможности построения широкополосных и безэкранных однонаправленных стержневых преобразователей с фазированным возбуждением двух секций. При этом анализировались различные варианты возбуждения секций пьезостержня, обеспечивающие указанные режимы работы преобразователя как в случае решения задачи синтеза, когда формировались требуемые амплитудно-частотные (АЧХ) и фазо-частотные (ФЧХ) характеристики излучения, так и в случае решения задачи анализа, когда задавались сравнительно простые частотные зависимости для амплитуд и фаз возбуждающих электрических напряжений. Расчетная модель преобразователя показана на рис. 1. Здесь 1 и 2 – пьезоактивные секции, нагруженные внешними торцами на входные импедансы плоскопараллельных слоев  $Z_V$  и  $Z_W$ , имеющих площадь поперечного сечения соответственно  $S_V$  и  $S_W$ ; 3 – армирующая стяжка;  $z_{vS}$  и  $z_{wS}$  – удельные импедансы полу-

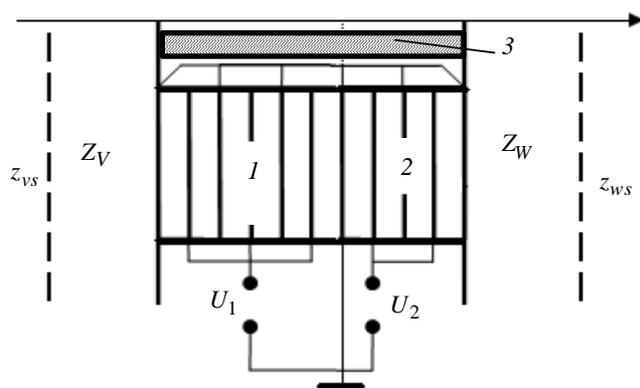


Рис. 1

безграничных сред, в которые происходит излучение;  $U_1 = U_{1m}e^{j\varphi_1}$  и  $U_2 = U_{2m}e^{j\varphi_2}$  – электрические напряжения, возбуждающие соответствующие по номеру пьезоактивные секции.

При разработке преобразователей с фазированным возбуждением секций определенным интересом представляет знание входных электрических импедансов пьезоактивных секций, являющихся нагрузкой для выходов соответствующих устройств, а также коэффициента полезного действия (КПД) преобразователя [3]. Для нахождения этих характеристик необходимо определить электрический ток, протекающий через каждую пьезоактивную секцию в отдельности. Используя результаты работ [1]–[4], с

учетом связи электрического тока с индукцией  $I = \int_{S_{эл}} \frac{\partial D_3(x, t)}{\partial t} dS$  и уравнений пьезо-

эффекта в случае гармонического возбуждения запишем выражение для тока, протекающего через пьезоактивную секцию с номером  $i$  ( $i = 1; 2$ ), в виде

$$I_i = -j\omega S \left\{ \frac{d_{33}}{dS_{33}^E} [\xi(p_i L) - \xi(p_{i-1} L)] + \varepsilon_{33}^U U_i (p_i - p_{i-1}) L \right\},$$

где  $\xi(p_i l)$  – упругое смещение торцов пьезоактивных секций;  $S$  и  $d$  – площадь поперечного сечения пьезостержня и межэлектродное расстояние соответственно;  $p_0 = 0$ ,  $p_1 = l_1 / L = p$  и  $p_2 = 1$ ;  $\varepsilon_{33}^U = \varepsilon_{33}^\sigma (1 - k_{33}^2)$  – диэлектрическая проницаемость;  $k_{33}$  – коэффициент электромеханической связи;  $d_{33}$  – пьезомодуль;  $S_{33}^E$  – упругая податливость. Тогда для преобразователя, содержащего две секции с параллельным соединением в них пьезокерамических шайб, полагая последовательно  $i = 1$  и  $i = 2$ , получим:

$$I_1 = -j\omega C_1 U_1 - j \frac{d_{33}^2 U_1 S}{\Delta z (S_{33}^E d)^2} \left\{ F_1 \sin p\psi \cos(1-p)\psi + F_2 [\sin \psi + (\cos p\psi - 2) \sin(1-p)\psi] + F_3 \sin(1-p)\psi \sin p\psi + j \sin \alpha_0 \psi [\cos \psi + (\cos p\psi - 2) \cos(1-p)\psi] - j 2\gamma_0 \frac{z_0}{z} \sin p\psi + \frac{U_2}{U_1} F \right\}; (1)$$

$$I_2 = -j\omega C_2 U_2 - j \frac{d_{33}^2 U_2 S}{\Delta z (S_{33}^E d)^2} \left\{ F_1 [\sin \psi + (\cos(1-p)\psi - 2) \sin p\psi] + F_2 \cos p\psi \sin(1-p)\psi + F_3 \sin(1-p)\psi \sin p\psi + j \sin \alpha_0 \psi [\cos \psi + (\cos(1-p)\psi - 2) \cos p\psi] - j 2\gamma_0 \frac{z_0}{z} \sin(1-p)\psi + \frac{U_1}{U_2} F \right\}; (2)$$

где  $\Delta = \frac{Z_V + Z_W}{zS} \left( \gamma_0 \frac{z_0}{z} \sin \psi \cos \alpha \psi + \sin \alpha \psi \cos \psi \right) - j \left( 1 + \gamma_0^2 \frac{z_0^2}{z^2} + \frac{Z_V Z_W}{z^2 S^2} \right) \sin \alpha \psi \sin \psi - j 2\gamma_0 \frac{z_0}{z} \times (1 - \cos \alpha \psi \cos \psi)$ ;  $F = F_1 [1 - \cos(1-p)\psi] \sin p\psi + F_2 \sin(1-p)\psi (1 - \cos p\psi) - F_3 \sin(1-p)\psi \sin - p\psi j \sin \alpha_0 \psi (1 - \cos p\psi) [1 - \cos(1-p)\psi] - j_0 \frac{z_0}{z} \gamma_0 [\sin \psi - \sin p\psi - \sin(1-p)\psi]$ ;  $F_1 = \frac{Z_V}{zS} \sin \alpha \psi + j \gamma_0 \times \frac{z_0}{z} \cos \alpha \psi$ ;  $F_2 = \frac{Z_W}{zS} \sin \alpha \psi + j \gamma_0 \frac{z_0}{z} \cos \alpha \psi$ ;  $\psi = kL$ ;  $p = l_1 / L$ ;  $F_3 = \left( \frac{Z_V}{zS} + \frac{Z_W}{zS} \right) \gamma_0 \frac{z_0}{z} \cos \alpha \psi - j \left( \frac{Z_V Z_W}{z^2 S^2} + \frac{z_0^2}{z^2} \gamma_0^2 \right) \sin \alpha \psi$ ;  $\alpha = c / c_0$ ;  $\gamma_0 = S_0 / S$ ;  $c$ ,  $c_0$  и  $S$ ,  $S_0$  – скорости звука и площади поперечного сечения соответственно пьезостержня и армирующей стяжки;  $C_1$  и  $C_2$  – электрические емкости заторможенных пьезоактивных секций с номерами  $i = 1$  и  $i = 2$ . Последнее слагаемое в фигурных скобках выражений (1) и (2) можно рассматривать как функцию, характеризующую взаимное влияние секций на значение электрического тока, протекающего через каждую из них.

Полную входную электрическую проводимость  $Y_i$  и  $\cos \varphi_i$ , определяющий угол сдвига  $\varphi_i$  между электрическим напряжением  $U_i$  и током  $I_i$ , для каждой пьезоактивной секции найдем по формулам:

$$Y_i = \frac{J_i}{U_i} = \operatorname{Re} Y_i + j \operatorname{Im} Y_i; \quad \cos \varphi_i = \frac{\operatorname{Re} Y_i}{\sqrt{(\operatorname{Re} Y_i)^2 + (\operatorname{Im} Y_i)^2}}. \quad (3)$$

Электроакустический коэффициент полезного действия  $\eta$  принято определять как отношение полной излучаемой акустической мощности к электрической мощности, потребляемой преобразователем. Для рассматриваемой модели преобразователя с фазированным возбуждением секций можно записать [3]:

$$\eta = \frac{W_V + W_W}{0.5 \left[ \operatorname{Re} (U_1 I_1^*) + \operatorname{Re} (U_2 I_2^*) \right]}, \quad (4)$$

где  $W_V = 0.5 \operatorname{Re} Z_{VS} \left| \dot{\xi}(0) K_V \right|^2$  и  $W_W = 0.5 \operatorname{Re} Z_{WS} \left| \dot{\xi}(L) K_W \right|^2$  – мощности излучения преобразователя во фронтальном и тыльном направлениях;  $I_{1,2}^*$  – величины, комплексно-сопряженные токам  $I_{1,2}$ ;  $K_V$  и  $K_W$  – коэффициенты передачи через плоскопараллельные слои с входными импедансами  $Z_V$  и  $Z_W$  [5]. При выполнении расчетов будем предполагать, что преобразователи имеют достаточную нагруженность (например, при их работе в составе антенны) и действительные части сопротивлений излучения соответственно равны  $\operatorname{Re} Z_{VS} \approx z_{VS} S_V$  и  $\operatorname{Re} Z_{WS} \approx z_{WS} S_W$ .

При расчете КПД следует учитывать потери энергии на внутреннее трение во всех составных частях преобразователя, электрические потери в пьезостержне, а также потери, обусловленные наличием элементов креплений, герметизации и акустической развязки. Последние виды потерь, ввиду специфики каждой реальной конструкции преобразователя, при выполнении расчетов не учитывались.

Формально потери на внутреннее трение в пьезостержне, армирующей стяжке и пассивных слоях можно учесть путем введения соответствующих комплексных волновых чисел [3]:

$$k + jk'; \quad k_0 + jk'_0; \quad k_{vq} + jk'_{vq}; \quad k_{wq} + jk'_{wq},$$

где  $k' = \frac{k}{2Q}$ ;  $k'_0 = \frac{k_0}{2Q_0}$ ;  $k'_{vq} = \frac{k_{vq}}{2Q_{vq}}$ ;  $k'_{wq} = \frac{k_{wq}}{2Q_{wq}}$  – коэффициенты затухания на единицу длины;  $Q$ ,  $Q_0$ ,  $Q_{vq}$ ,  $Q_{wq}$  – механические добротности материалов пьезостержня, армирующей стяжки, фронтальных и тыльных слоев. Нумерация слоев по  $q = 1; 2; \dots$  ведется от соответствующих полубесконечных сред с удельными импедансами  $z_{VS}$  и  $z_{WS}$ . Электрические потери учитываются при помощи введения комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{33}^\sigma (1 + j \operatorname{tg} \delta)$ , где  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь в материале пьезостержня.

Рассмотрим последовательно результаты расчетов по формулам (1)–(4) для различных вариантов фазированного возбуждения рассматриваемой модели преобразователя. Результаты расчетов АЧХ и ФЧХ излучения, формируемых преобразователем для рассматриваемых вариантов фазированного возбуждения, а также частотных зависимостей отношения амплитуд  $U_{21} = U_{2m} / U_{1m}$  и разности фаз  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  возбуждающих электрических напряжений могут быть получены на основании формул, приведенных в работах [1], [2]. Для удобства оценки полученных результатов расчета приведем их сопоставление со случаем синфазного возбуждения пьезостержня, т. е. когда  $U_{21} = 1$  и  $\Delta\varphi = 0$ . В данной статье ограничимся рассмотрением результатов расчетов для преобразователей с согласующими слоями, параметры которых определяются относительной волновой длиной  $a_{vq} = \psi_{vq} / \psi$  и удельным импедансом  $z_{vq}$ , где  $q$  – номер слоя. Использование хотя бы одного согласующего слоя является наиболее интересным вариантом для преобразователей с фазированным возбуждением секций с позиций формирования требуемых АЧХ и ФЧХ излучения.

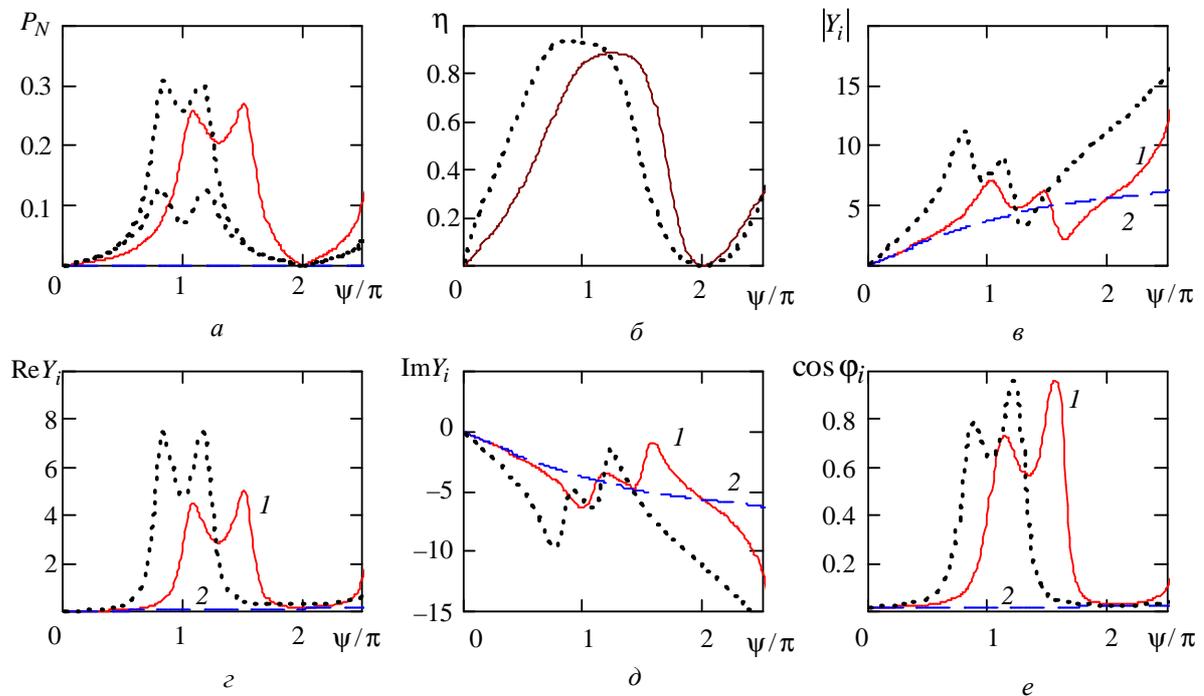


Рис. 2

На рис. 2 приведены результаты расчетов для двусторонне нагруженного на воду преобразователя с одним согласующим слоем ( $a_{v1} = 0.4$ ;  $z_{v1} = 5.5 \cdot 10^6$  Па · с/м) в случае полной компенсации тыльного излучения во всем рассматриваемом диапазоне частот [2]. Результаты расчета для токов и проводимостей здесь и в последующих примерах нормированы к величине  $d_{33}^2 S / z (S_{33}^E d)^2$ . Что касается АЧХ излучения, то здесь в качестве нормирующего выбрано значение уровня звукового давления, создаваемого синфазно возбуждаемым и односторонне нагруженным на воду пьезостержнем без пассивных накладок. Структурные параметры преобразователя:  $p = 0.5$ ;  $\gamma_V = S_V / S = 1$ ;  $\gamma_W = S_W / S = 1$ ;  $\gamma_0 = 0$ ;  $z = 25 \cdot 10^6$  Па · с/м;  $k_{33} = 0.6$ ;  $\text{tg } \delta = 0.02$ ;  $Q = 100$ ;  $Q_{v1} = 100$ . Пунктирные кривые на рис. 2 и в последующих примерах

расчетов соответствуют частотным зависимостям, получающимся при синфазном возбуждении пьезостержня, причем в данном случае для выравнивания максимумов АЧХ звукового давления выбрано значение. Нумерация других кривых соответствует номеру пьезоактивных секций. В рассматриваемом случае АЧХ звукового давления при синфазном возбуждении представлена двумя кривыми: большая по уровню соответствует излучению во фронтальном направлении, а меньшая – в тыльном.

Как видно, основные частотные зависимости при фазированном возбуждении несколько смещены в область высоких частот. При этом частотные зависимости  $|Y_1|$ ,  $\text{Re } Y_1$ ,  $\text{Im } Y_1$  и  $\cos \phi_1$  для первой секции пьезостержня качественно подобны аналогичным зависимостям для случая синфазного возбуждения, но заметно отличаются от таких же зависимостей для второй секции. Поскольку для рассматриваемого случая частотные зависимости  $|I_2|$  и  $U_{21}$  (фактически частотная зависимость для  $U_{2m}$ ) получаются подобными друг другу, но сдвинутыми по фазе почти на  $\pi/2$ , то зависимость от частоты модуля полной входной проводимости, особенно в области низких частот, для второй секции пьезостержня  $|Y_2| \approx \omega C_2$  (см. также ход кривых 2 для  $\text{Re } Y_2$  и  $\cos \phi_2$ ).

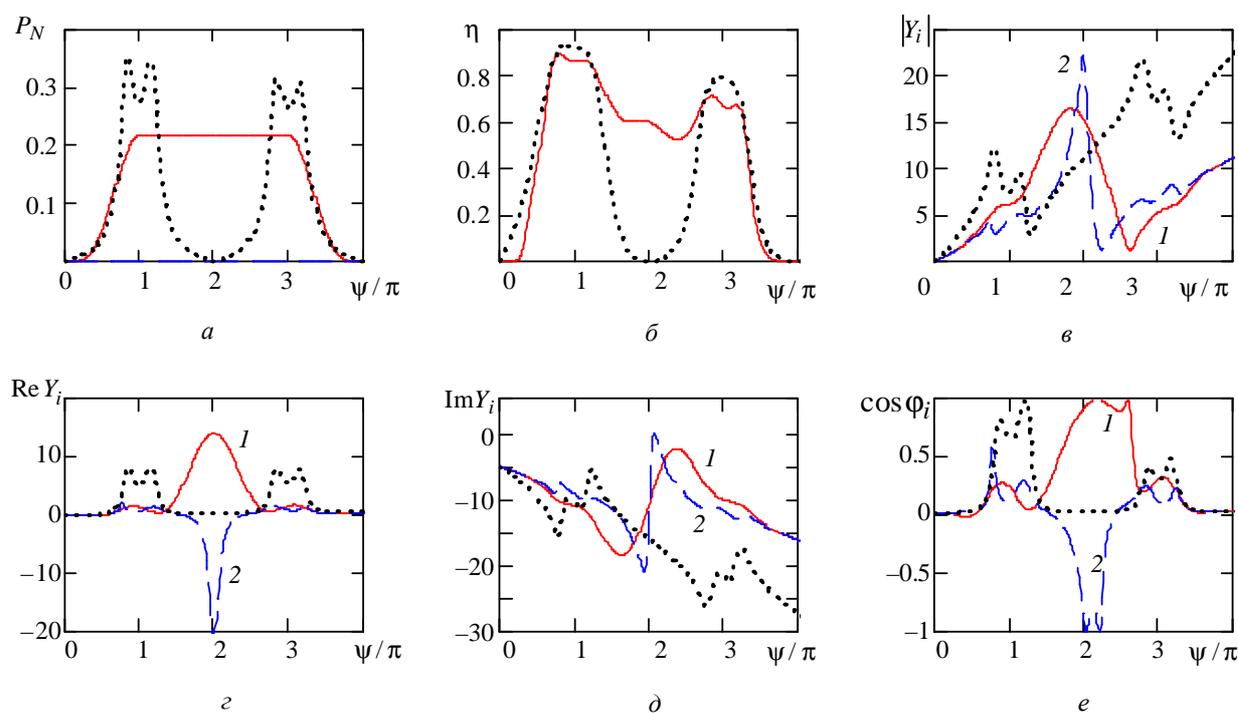


Рис. 3

На рис. 3 приведены результаты расчетов для односторонне нагруженного на воду преобразователя с одним согласующим слоем для варианта фазированного возбуждения, позволяющего обеспечивать равномерное излучение и линейность ФЧХ в широкой полосе частот [1]. Структурные параметры преобразователя соответствуют приведенным в предыдущем примере, но  $a_{v1} = 0.5$ . В данном случае фазированное возбуждение позволяет обеспечить полосу пропускания  $\Delta f / f \approx 2$  окт. В отличие от случая синфазного возбуждения, когда рассматриваемые частотные зависимости локализируются в области частот первой ( $\psi \approx \pi$ ) и третьей ( $\psi \approx 3\pi$ ) гармоник, при фазированном возбуждении основные изменения в частотных зависимостях  $|Y_i|$ ,

$\text{Re}Y_i$ ,  $\text{Im}Y_i$  и  $\cos\varphi_i$  преимущественным образом локализируются в области частот  $\psi \approx 2\pi$ . В этой же области частот зависимости  $\text{Re}Y_2$  и  $\cos\varphi_2$  принимают отрицательные значения, пьезоактивная секция не потребляет энергию от своего генератора, а благодаря взаимодействию начинает вырабатывать ее за счет влияния другой – первой пьезоактивной секции, тем самым частично компенсируя ее работу. В этой же области частот наблюдается снижение КПД преобразователя, обусловленное не только ростом потерь при увеличении частоты, но и изменением характера электрической нагрузки второй пьезоактивной секции.

Частотные зависимости для отношения амплитуд  $U_{21}$  и разности фаз  $\Delta\varphi$  возбуждающих электрических напряжений (см., например, работы [1], [2]), обеспечивающих показанные на рис. 2 и 3 АЧХ звукового давления, не являются простыми, хотя и могут быть реализованы при использовании современной микропроцессорной техники. Для варианта формирования широкополосной АЧХ звукового давления с использованием сравнительно простых аппроксимирующих частотных зависимостей  $U_{21} = 1.1 + 0.8\sin^2(\psi/2)$  и  $\Delta\varphi = -\pi(1 - \psi/2)$ ; на рис. 4 приведены результаты расчетов для односторонне нагруженного на воду преобразователя с одним согласующим слоем. Структурные параметры преобразователя здесь выбраны следующие:  $p = 0.5$ ;  $\gamma_V = 4$ ;  $\gamma_W = 1$ ;  $\gamma_0 = 0$ ;  $z = 25 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$ ;  $k_{33} = 0.6$ ;  $\text{tg } \delta = 0.02$ ;  $Q = 100$ ;  $Q_{v1} = 100$ ;  $a_{v1} = 0.25$ ;  $z_{v1} = 3 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$ . Базовый вариант сравнения при синфазном возбуждении пьезостержня выбран тем же, что и для рис. 2 и 3. В данном случае используемая аппроксимация приводит к появлению отрицательных значений в зависимостях  $\text{Re}Y_1$  и  $\cos\varphi_1$  в области частот  $\psi \approx 2\pi$  для первой пьезоактивной секции. Увеличению в этой области частот значений КПД в большей мере способствует использование согласующего четвертьволнового слоя ( $a_{v1} = 0.25$  для  $\psi = 2\pi$ ).

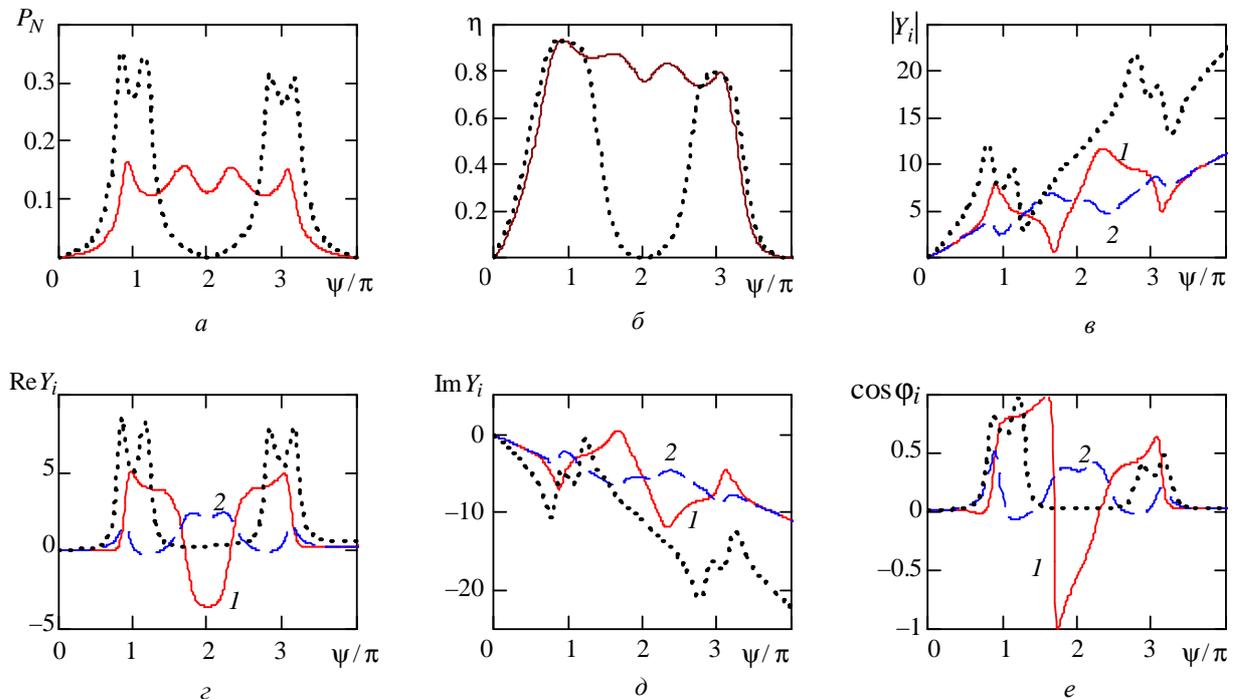


Рис. 4

Следует отметить, что при использовании аппроксимирующих частотных зависимостей для  $U_{21}$  и  $\Delta\varphi$ , а также при синфазном возбуждении пьезостержня максимальные значения  $\cos\varphi_i$  существенно зависят от значения коэффициента электромеханической связи  $k_{33}$ . Так, например, уменьшение значения  $k_{33}$  с 0.6 до 0.5 приводит к уменьшению значений  $\cos\varphi_i$  почти в 2 раза. Частотные зависимости других величин  $|I_i|$ ,  $|Y_i|$  и  $\eta$ , зависящие от  $k_{33}$ , также будут изменяться, но не так сильно. Причем, эти изменения носят в основном количественный характер: значения  $|I_i|$  и  $|Y_i|$  – увеличиваются при уменьшении  $k_{33}$ , а значения  $\eta$  – уменьшаются.

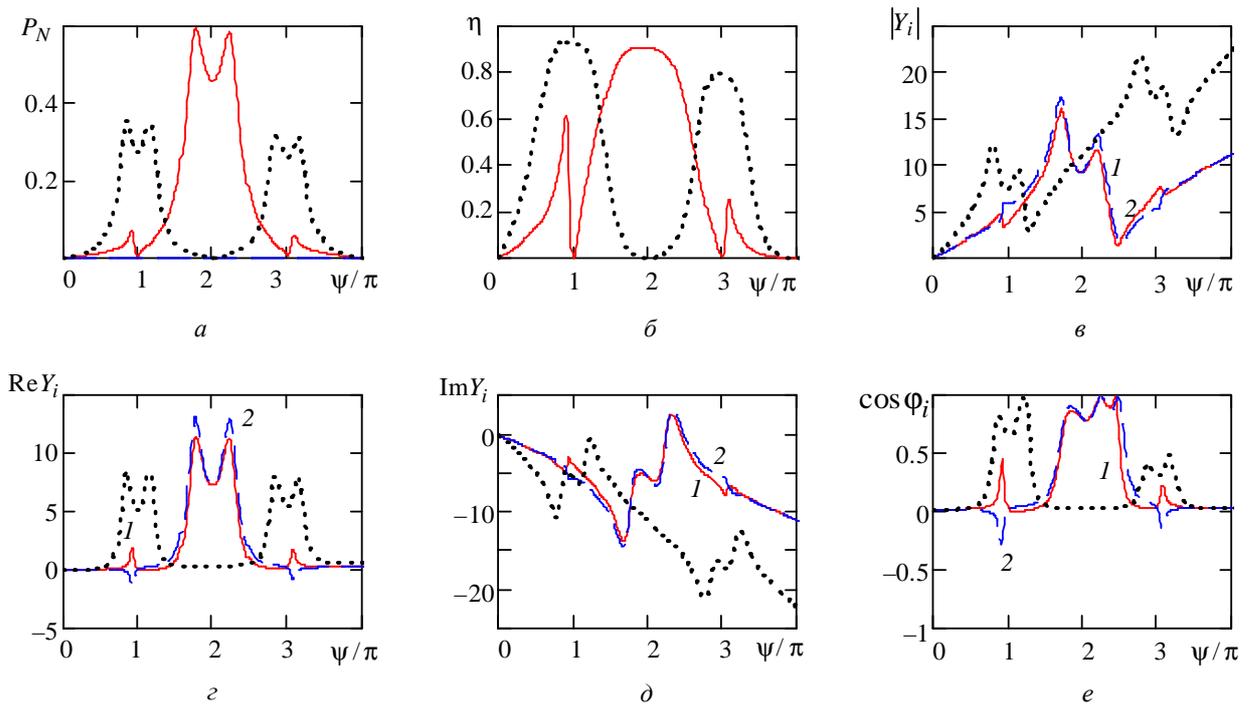


Рис. 5

На рис. 5 приведены результаты расчетов для односторонне нагруженного на воду преобразователя с одним согласующим слоем для варианта фазированного возбуждения, позволяющего увеличить уровень излучения путем противофазного включения пьезоактивных секций [6]. В этом случае, согласно используемой расчетной модели преобразователя, основные частотные зависимости локализуются в области частот  $\psi \approx 2\pi$ . Структурные параметры преобразователя здесь приняты следующие:  $p = 0.5$ ;  $\gamma_V = 1$ ;  $\gamma_W = 1$ ;  $\gamma_0 = 0$ ;  $z = 25 \cdot 10^6$  Па · с/м;  $k_{33} = 0.6$ ;  $\text{tg } \delta = 0.02$ ;  $Q = 100$ ;  $Q_{v1} = 100$ ;  $a_{v1} = 0.25$ ;  $z_{v1} = 6.5 \cdot 10^6$  Па · с/м. Как видно, частотные зависимости входных нагрузочных характеристик для обеих пьезоактивных секций в области основной АЧХ излучения преобразователя имеют похожий характер изменения. Причем ход кривых для модуля входной проводимости  $Y_i$  и ее составляющих качественно подобен случаю синфазного возбуждения всего пьезостержня, а в количественном плане – они имеют большие амплитуды изменения. Поскольку обе пьезоактивные

секции в области частот  $\psi \approx 2\pi$  являются близкими к полуволновым и включены в противофазе, то колебания их суммируются, что и приводит к увеличению уровня излучения почти в 2 раза.

Следует отметить, что многополуволновые преобразователи с противофазно включенными пьезоактивными секциями по сравнению с однополуволновыми имеют несколько меньшие значения КПД: на 3–4 % – для двухполуволновых преобразователей и на 6–7 % – для трехполуволновых.

Учет влияния армирующей стяжки приводит к появлению в области ее полуволнового резонанса резких узкополосных максимумов и минимумов в рассматриваемых частотных зависимостях нагрузочных характеристик и АЧХ излучения как при фазированном, так и при синфазном возбуждении. Однако, как это было показано в [3] путем расчетов, введение сравнительно низких значений добротности  $Q_0$  в значительной мере ослабляет этот эффект. Последнее обстоятельство находит свое экспериментальное подтверждение на примере АЧХ излучения [1]

Выполненные расчеты и представленные их примеры указывают на возможность практической реализации фазированного возбуждения стержневых преобразователей, которое позволяет обеспечить требуемые АЧХ и ФЧХ излучения. Вид рассмотренных входных нагрузочных характеристик во многом определяется параметрами собственной колебательной системы преобразователя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (контракт № 13.G25.31.0054).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б. Г. О возможности построения широкополосных стержневых пьезопреобразователей с фазированным возбуждением секций // Акуст. журн. 2009. Т. 55, № 3. С. 407–414.
2. Степанов Б. Г. О возможности построения безэкранных однонаправленных стержневых преобразователей с фазированным возбуждением секций // Акуст. журн. 2010. Т. 56, № 5. С. 699–705.
3. Степанов Б. Г. Коэффициент полезного действия стержневых преобразователей с фазированным возбуждением секций // Изв. ЛЭТИ. 1985. Вып. 355. С. 53–60.
4. Дианов Д. Б., Степанов Б. Г. К вопросу расчета частотных характеристик стержневого преобразователя с фазированным возбуждением его пьезосекций // Изв. ЛЭТИ. 1983. Вып. 325. С. 23–32.
5. Дианов Д. Б., Кузнецов В. М. Влияние переходных слоев на частотные характеристики стержневых пьезопреобразователей // Изв. ЛЭТИ. 1968. Вып. 63. С. 60–78.
6. Степанов Б. Г. Широкополосные многополуволновые преобразователи // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 8. С. 63–71.

*B. G. Stepanov, N. A. Zajtseva*

### *LOADING ELECTRIC CHARACTERISTICS OF ROD TRANSDUCERS WITH THE PHASED EXCITATION OF SECTIONS*

*For the rod transducer with two independently excited piezoelectric sections analyzed the character of change of the total input conductance and its active and reactive components in comparison with the case of in-phase excitation of the transducer. The different variations of the phased excitation are considered, which providing: full compensation of back radiation of the transducer, broadband radiation in the frontal direction (up to 2 octaves), increasing the radiation level by antiphase excitation sections. For all operating modes of the transducer results of calculations of efficiency are given.*

**Rod transducer, frequency characteristics, entrance conductivity, radiation level, electric loadin**

*Е. О. Грубо, П. Г. Королев,  
Н. В. Романцова, А. В. Утушкина*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ИСПРАВНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Рассмотрен подход к обеспечению метрологической исправности средств измерений, дающий выгоды как владельцу средства измерения, так и разработчику. Описаны алгоритмические и структурные решения, направленные на повышение метрологической надежности средств измерений.*

**Измерительный канал, метрологическая исправность, подконтрольная эксплуатация, регистратор параметров средства измерения**

**Метрологическое обеспечение средств измерений.** В рамках существующей системы метрологического обеспечения средств измерений в результате поверки устанавливается факт метрологического отказа, в то время как для обеспечения единства измерений процедура поверки должна его предупреждать. С другой стороны, имеются большие группы средств измерений, обеспечивающие высокую стабильность своих метрологических характеристик (МХ) в течение нескольких поверок подряд без нарушения установленных требований. Это указывает, во-первых, на нерациональное использование эталонов и, во-вторых, на необоснованность трудозатрат на поверочные работы [1]–[3]. Для разрешения этого противоречия ГОСТ Р 22.2.05–94 регламентирует прогнозирование возможных изменений нормируемых метрологических характеристик с целью определения срока следующей поверки.

Для определения интервала между поверками необходимо обладать достаточной информацией об изменении метрологических характеристик во времени. Модели дрейфа метрологических характеристик средств измерений, как правило, не определены из-за недостаточной длительности экспериментальных исследований и неполной контролируемости влияющих факторов.

В связи с этим возникает задача теоретического и экспериментального изучения вопросов метрологического обеспечения средств измерений как на этапе проектирования, так и в условиях эксплуатации реального объекта. Решение данной задачи направлено на исследование условий, закономерностей и тенденций, связанных с обеспечением метрологической надежности средств измерений, характеризующей снижением качества средств измерений за счет старения и износа, что приводит к увеличению метрологических отказов. Таким образом, с увеличением требований к качеству функционирования средств измерений возрастает необходимость метрологических исследований, оценивающих данное качество, т. е. ставится задача метрологического обеспечения, его выбора и обоснования, на всех этапах жизненного цикла средства измерения (СИ). Требования оперативности проведения метрологических испытаний, поверки и контроля (с целью получения необходимых статистических данных для построения модели дрейфа метрологических характеристик средств измерений), повышения достоверности их результатов и уменьшения временных затрат приводят к необходимости создания встроенных систем метрологического контроля.

Для того чтобы гарантировать метрологическую исправность СИ в течение межповерочного интервала (МПИ), причем назначенного оптимальным для пользователя, необходимо выполнение комплекса технических и организационных мероприятий:

- СИ должно быть оснащено подсистемой автоматической калибровки и протоколирования результатов калибровки – регистратором параметров средства измерения (РПСИ) [4];
- алгоритмы автоматической калибровки должны быть адаптируемы к изменениям параметров дрейфа характеристики преобразования [5];
- госповеритель должен иметь в своем распоряжении программные средства для извлечения результатов работы РПСИ и для их математической обработки совместно с результатами собственной поверки;
- госповеритель должен иметь право на установление МПИ для экземпляра СИ на основании обработки результатов работы системы автоматической калибровки и результатов собственной поверки.

Для повышения достоверности исследования временных изменений МХ СИ представляется целесообразным организовать автоматические процедуры по изучению метрологической надежности приборов в процессе их эксплуатации непосредственно у потребителей СИ, введя подконтрольную эксплуатацию в состав функций СИ [4]. С этой целью в состав СИ вводится подсистема внутреннего контроля временных изменений МХ. Данные, накопленные в течение МПИ, позволят дополнить процедуру поверки операцией прогнозирования временных изменений МХ.

**Подсистема встроенного метрологического контроля.** В состав функций подсистемы встроенного метрологического контроля временных изменений МХ входит:

- мониторинг компонентов прибора, влияющих на точность;
- формирование образцовых сигналов по выбранному алгоритму;
- вычисление поправок;
- регистрация отклонений, характеризующих деградацию компонентов измерительного канала;
- введение поправок;
- выдача зарегистрированных параметров по запросу.

Результаты работы подсистемы коррекции протоколируются в РПСИ, который является аналогом бортового самописца воздушного судна.

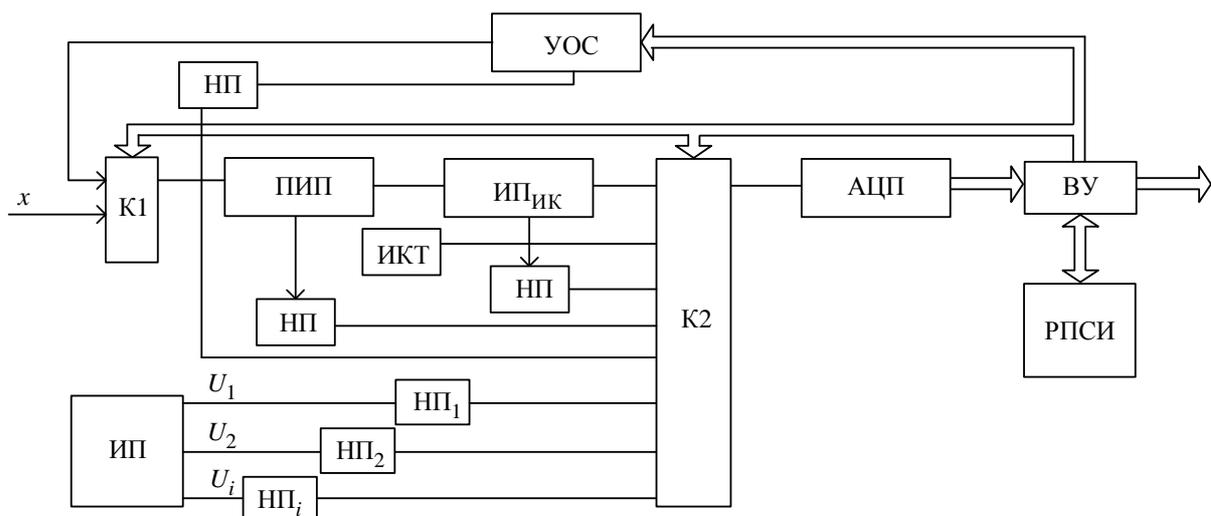


Рис. 1

На рис. 1 представлена структура СИ с подсистемой встроенного метрологического контроля:  $x$  – входной сигнал; К, К1 и К2 – коммутаторы; ПИП – первичный измерительный преобразователь;  $\text{ИП}_{\text{ИК}}$  – нормирующий преобразователь, входящий в состав основ-

ного измерительного канала; НП<sub>*i*</sub> – *i*-й нормирующий преобразователь подсистемы вспомогательных измерений; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ВУ – вычислительное устройство; УОС – устройство образцовых сигналов; ИП – источник питания; ИКТ – измерительный канал температуры; РПСИ – регистратор параметров средства измерения;  $U_1, U_2, \dots, U_i$  – напряжение в *i*-й точке.

Основную погрешность  $\Delta_o(t)$  следует разделить на составляющие по частотному спектру. Это связано с тем, что методы автоматической коррекции хорошо устраняют коррелированные составляющие погрешности, увеличивая при этом дисперсию некоррелированных составляющих в 2 раза [6], [7]. Существуют две группы составляющих погрешности:

а) погрешности, представляющие собой слабо коррелированные или вообще не коррелированные случайные функции времени:  $\dot{\Delta}_{o_{вч}}(t)$  – высокочастотная составляющая, обусловленная «шумом», и  $\dot{\Delta}_{o_q}$  – центрированная случайная величина, параметры которой остаются неизменными (коэффициент корреляции  $r_{\dot{\Delta}} \approx 0$ );

б) погрешности, представляющие собой сильно коррелированные случайные функции времени:  $\Delta_{o_s}(t)$  – систематическая составляющая и  $\dot{\Delta}_{o_{нч}}(t)$  – низкочастотная составляющая, обусловленная временным дрейфом комплектующих СИ (коэффициент корреляции  $r_{\dot{\Delta}} \approx 1$ ). Основную погрешность можно представить в виде

$$\Delta_o(t) = \bar{\Delta}(t) + \dot{\Delta}(t), \quad (1)$$

где  $\bar{\Delta}(t)$  – нестационарная случайная функция времени (коррелированная составляющая погрешности);  $\dot{\Delta}(t)$  – стационарная случайная центрированная эргодическая функция времени, имеющая нормальный закон распределения (некоррелированная составляющая погрешности).

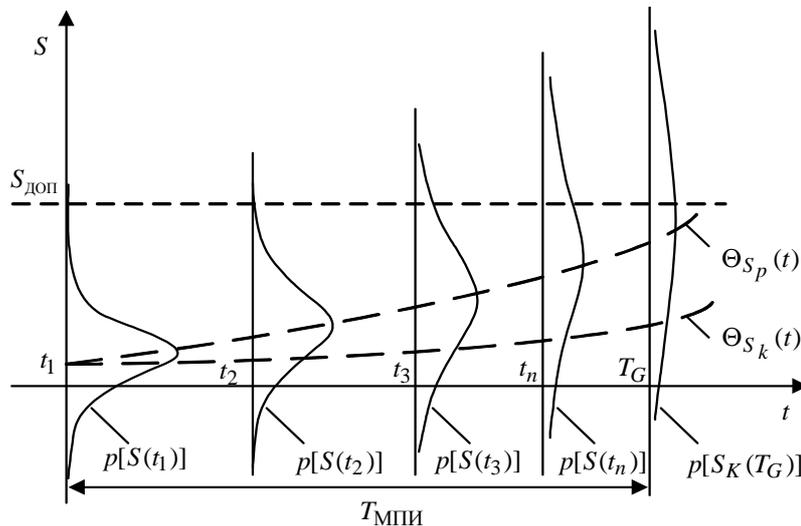


Рис. 2

На рис. 2 представлены кривые распределения плотностей вероятностей высокочастотной составляющей погрешности в различные моменты времени осуществления коррекции  $p[S(t_1)], p[S(t_2)], \dots, p[S(t_n)]$ , где  $S(t)$  – значение погрешности;  $\Theta_{S_p}(t)$  – аналитическая зависимость функции изменения во времени вероятностной характеристики некор-

ректированной погрешности;  $\Theta_{S_k}(t)$  – аналитическая зависимость функции изменения во времени вероятностной характеристики скорректированной погрешности, полученной в результате введения поверки;  $S_{\text{доп}}$  – допустимое значение погрешности;  $T_{\text{МПИ}}$  – межповерочный интервал.

Основной операцией автоматической коррекции является измерение погрешности и выработка соответствующего корректирующего значения. При этом реальная характеристика преобразования остается неизменной. Скорректированный результат измерения  $x_j^*$  входной величины  $x_j$  будет складываться из промежуточного результата измерений  $x_j^*$  и значения поправки  $z(x_j)$ , выбранной в зависимости от значения  $x_j$ :

$$x_j^* = x_j^* + z(x_j).$$

Для осуществления идеальной коррекции величина поправки должна быть равна основной погрешности СИ в заданной точке диапазона измерения с обратным знаком:

$$z(x_j) = -\Delta_0(x_j),$$

или

$$z(x_j) = -\sum_{i=1}^n b_i x_j^{i-1},$$

где  $b_i$  – коэффициенты аппроксимирующего полинома.

В зависимости от структурных, алгоритмических, схмотехнических и конструктивных решений построения основного измерительного канала СИ, а также условий применения и воздействующих дестабилизирующих факторов возможно несколько решений формирования и введения корректирующего воздействия. Рассмотрим случай, когда корректирующий сигнал формируется на входе первичного измерительного преобразователя (рис. 3).

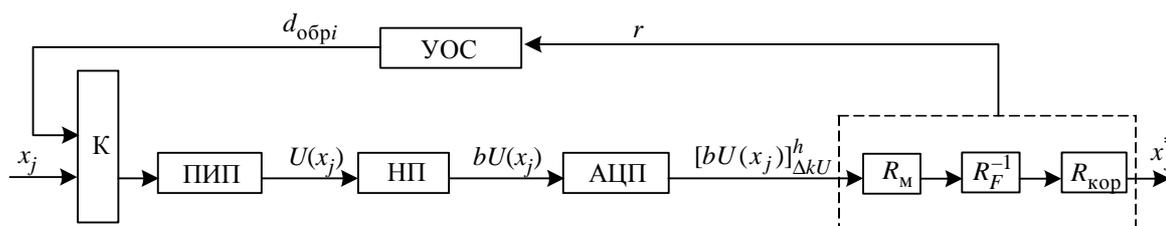


Рис. 3

На рис. 3  $U(x_j)$  – электрический сигнал на выходе первичного измерительного преобразователя;  $bU(x_j)$  – нормированное значение;  $[bU(x_j)]_{\Delta kU}^h$  – оцифрованное значение с учетом разрядности АЦП  $h$ ;  $\Delta kU$  – шаг квантования.

Алгоритм коррекции содержит следующие операции:

1. В режиме «Измерение» в соответствии с уравнением измерения фиксируется значение  $x_j^*$ , соответствующее текущему значению измеряемой величины  $x_j(t)$ :

$$x_j^*(t) = R_F^{-1} R_M R_{\text{АЦП}} R_{\text{НП}} R_{\text{ПИП}} x_j(t),$$

где  $R_{\text{ПНП}}$  – оператор первичного преобразования измеряемой величины;  $R_{\text{НП}}$  – оператор нормирующего преобразования;  $R_{\text{АЦП}}$  – оператор аналого-цифрового преобразования;  $R_{\text{М}}$  – оператор масштабирования;  $R_F^{-1}$  – оператор, реализующий обратное функциональное (градуировочное) преобразование.

2. В режиме «Калибровка» на вход измерительного канала при помощи идентификатора команд  $r$  (задание образцовых сигналов) последовательно подаются образцовые сигналы  $d_{\text{обр}i}$  от УОС. Номинальные значения образцовых сигналов определяются по нормальной характеристике преобразования (НХП)  $y_{\text{Н}}$ :

$$d_{\text{Н}i} = y_{\text{Н}}(d_{\text{обр}i}).$$

3. Образцовые сигналы  $d_{\text{обр}i}$  измеряются в соответствии с уравнением измерения:

$$d_{\text{обр}i}^*(t) = R_F^{-1} R_{\text{М}} R_{\text{АЦП}} R_{\text{НП}} R_{\text{ПНП}} d_{\text{обр}i}(t).$$

4. В результате формируется массив погрешностей:

$$\{\Delta_{\text{о}i}\} = \{d_{\text{обр}i}^*\} - \{d_{\text{Н}i}\}, \quad i = 1, \dots, m,$$

где  $m$  – число реперных точек.

5. Определяются параметры корректирующей функции:

$$z(x_j) = R_{\text{В}}\{b_i\},$$

где  $R_{\text{В}}$  – вспомогательный оператор вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома характеристики преобразования, определяется решением системы  $m$  уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n b_i d_1^{i-1} &= \Delta_{\text{о}}(d_1); \\ \sum_{i=1}^n b_i d_2^{i-1} &= \Delta_{\text{о}}(d_2); \\ &\dots; \\ \sum_{i=1}^n b_i d_m^{i-1} &= \Delta_{\text{о}}(d_m), \end{aligned} \right\}$$

где  $\Delta_{\text{о}}(d_1), \dots, \Delta_{\text{о}}(d_m)$  – значения погрешностей в реперных точках.

6. Поскольку  $\Delta_{\text{о}}$  (и ее характеристики) изменяется в диапазоне измерения, значение поправки выбирается в зависимости от входного значения  $x_j$  (определяется по функции обратной НХП  $x_j = y_{\text{Н}}^{-1}(x_j^*)$ ). Корректирующая функция находится по формуле:

$$R_{\text{кор}} = R_z z(x_j),$$

где  $R_{\text{кор}}$  – оператор введения коррекции погрешности;  $R_z$  – оператор выбора значения поправки.

7. Коррекция результата измерений с учетом поправки:

$$x_j^* = R_{\text{кор}} x_j^*(t). \quad (2)$$

Состав полной погрешности в соответствии с уравнением измерения (2) и составляющими погрешности (1) запишется в следующем виде:

$$\Delta x_j^* = \Delta_{н.о} x_j^* + \Delta_a x_j^* + \Delta_r x_j^* + \Delta_k x_j^*, \quad (3)$$

где  $\Delta_{н.о} x_j^*$  – неучтенный остаток основной погрешности;  $\Delta_a x_j^*$  – погрешность аппроксимации;  $\Delta_r x_j^*$  – погрешность подсистемы коррекции;  $\Delta_k x_j^*$  – погрешность квантования.

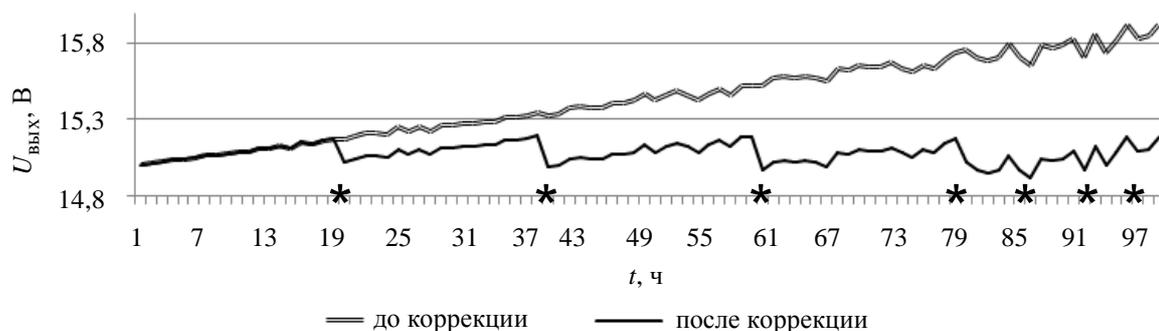


Рис. 4

На рис. 4 представлен график результата коррекции напряжения в случае дрейфа систематической и случайной составляющих погрешности. Двойная линия – результат измерения без коррекции, сплошная линия – с коррекцией, \* – моменты осуществления автокалибровочных измерений. При установлении дрейфа случайной погрешности частота выполнения многократных автокалибровок возрастает, что позволяет сохранять метрологическую характеристику СИ в пределах установленных допусков.

В случае наличия дрейфа случайной составляющей погрешности использование однократных измерений при выполнении автокалибровочных процедур приводит к увеличению дисперсии погрешности вдвое. Многократные измерения в процессе автокалибровки позволяют повысить эффективность коррекции погрешности СИ и за счет этого продлить период его метрологической исправности. Результаты моделирования показали, что использование алгоритмов коррекции, адаптирующихся к параметрам дрейфа, в зависимости от соотношений скорости нарастания случайной и систематической погрешностей повышает эффективность коррекции от 1,8 до 5 раз по отношению к алгоритмам коррекции с фиксированными параметрами [5].

Результаты были получены при выполнении научно-исследовательской работы «Создание интеллектуальной системы мониторинга и управления энергопотреблением с прогнозируемым метрологическим ресурсом в зданиях и сооружениях», проводимой в СПбГЭТУ (госконтракт № 16.516.11.6039).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев Б. Г., Лукашов Ю. Е. Справочное пособие для специалистов метрологических служб. М.: Изд-во стандартов, 2004.
2. Коррекция межповерочных интервалов в процессе эксплуатации образцовых средств измерений / А. П. Блинов, С. Ф. Левин, А. П. Антипов и др. // Измерительная техника. 1990. № 4. С. 8–11.
3. Кричевец А. М., Калицинский Ю. Р. Основные проблемы метрологического обеспечения ИИС // Измерительная техника. 1995. № 12. С. 12–13.
4. Алексеев В. В., Грубо Е. О., Королев П. Г. Принципы построения средств измерений с коррекцией составляющих полной погрешности // Приборы. 2010. № 7. С. 57–63.

5. Грубо Е. О., Королев П. Г., Утушкина А. В. Эффективность процедур коррекции метрологических характеристик средств измерений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. Вып. 6. С. 71–77.
6. Бромберг Э. М., Куликовский К. Л. Тестовые методы повышения точности измерений. М.: Энергия, 1978.
7. Земельман М. А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М.: Изд-во стандартов, 1972.

*Grubo E. O., Korolev P. G., Romantsova N. V., Utushkina A. V.*

***METROLOGICAL GOOD CONDITION MAINTENANCE OF MEASURING EQUIPMENT***

*The approach to ensure metrological good condition of measuring instruments, giving benefits to the owner of the means of measurement, and the developer. Describes the algorithmic and structural solutions to improve metrological reliability of measuring instruments.*

**Measurement channel, metrological good condition, controlled operation, recorder parameters measuring**



УДК 612.172.4 + 519.23

*Е. С. Якушенко*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРИОДОВ НОЧНОГО СНА ПРИ ХОЛТЕРОВСКОМ КАРДИОМОНИТОРИРОВАНИИ**

*Определение периодов ночного сна имеет важное клиническое значение. В данной работе исследовано применение статистических критериев для определения временных границ периодов ночного сна. Поиск временных границ осуществлялся на записях холтеровского кардиомониторирования длительностью от 1 до 30 суток. Был предложен метод для автоматического определения границ периодов ночного сна.*

### **Статистические критерии, холтеровское мониторирование ЭКГ, ночной сон**

В настоящее время появились холтеровские кардиомониторы, способные регистрировать ЭКГ-сигнал в течение месяца и более. Поэтому становятся востребованными методы для эффективного анализа продолжительных многосуточных записей ЭКГ.

Анализ был выполнен независимым экспертом – квалифицированным специалистом в области кардиологии. Результат анализа записей выражен в определении временных границ ночного сна по графикам ЧСС и физической активности пациента.

Для решения проблемы автоматического определения границ ночного сна было предложено применить метод, в основе которого лежит оценка вероятности случайного появления фрагмента тренда ЧСС с предварительно определенными значениями времени начала и продолжительности  $P_{\phi}$ . Известно, что среднее значение ЧСС ночью отличается от среднего значения ЧСС днем. Рис. 1 иллюстрирует недельный график тренда ЧСС, горизонтальными штрихами под графиком ЧСС обозначены области, соответствующие периодам ночного сна. На рисунке хорошо видно, что ЧСС во время сна ниже, чем во время бодрствования. Это связано с тем, что во сне преобладают сигналы парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, заставляющие водителя ритма сердца удлинять промежутки времени между своими разрядами, а днем преобладают сигналы симпатического отдела, которые укорачивают их [1]. Поэтому задачу определения границ ночного сна было предложено свести к задаче поиска фрагментов, обладающих наименьшей вероятностью случайного появления на фоне некоторой области, расположенной вокруг самого фрагмента тренда ЧСС.

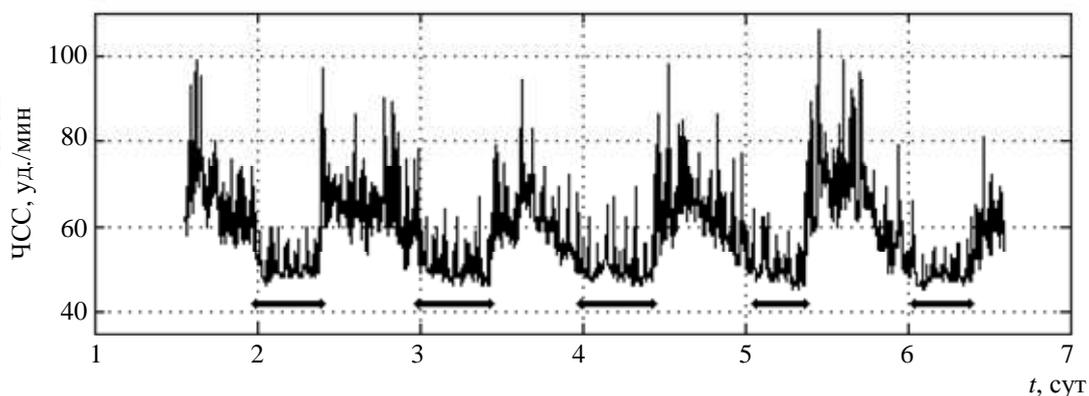


Рис. 1

Для оценки вероятности случайного появления определенного фрагмента было предложено применить функции, лежащие в основе статистических критериев, иначе именуемые статистиками критериев [2].

Для определения отрезков тренда ЧСС, которые обладали бы наименьшей вероятностью случайного появления, был выполнен последовательный расчет вероятности с использованием статистик критериев для всех возможных сочетаний значений времени начала и продолжительности фрагмента. Для расчета вероятности было выполнено сравнение выборки значений фрагмента с остальной частью тренда ЧСС, а также некоторой областью вокруг фрагмента. По результатам расчета была сформирована матрица значений вероятностей, строки которой соответствовали определенным значениям времени начала фрагмента, а столбцы – значениям продолжительности фрагмента. На рис. 2 изображен пример графика матрицы вероятностей, точками обозначены локальные минимумы, вертикальная ось  $P_{\phi}$  инвертирована. По матрице была выполнена процедура поиска фрагментов тренда ЧСС, обладающих наименьшей вероятностью случайного появления.

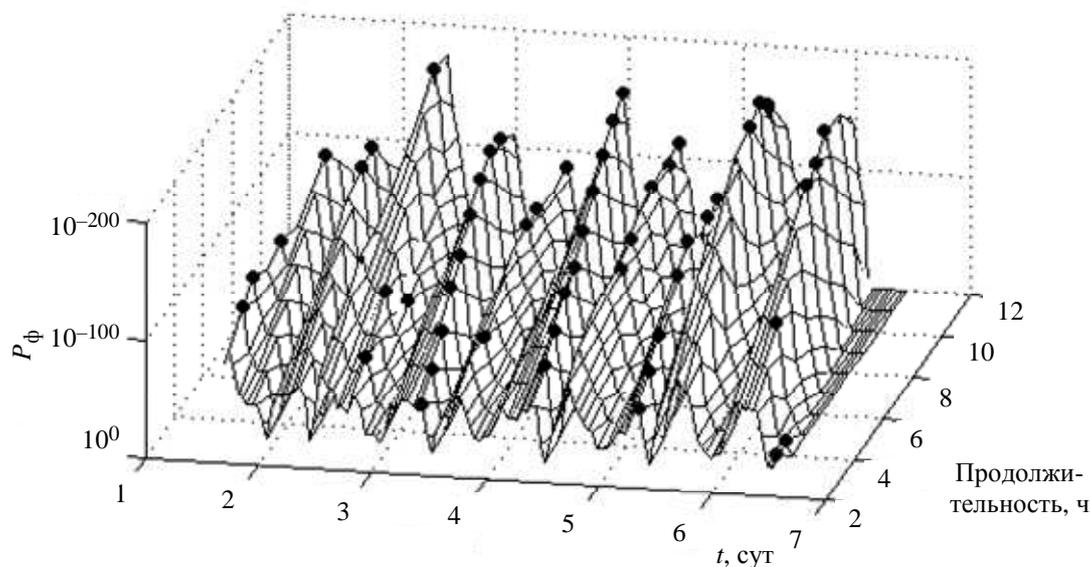


Рис. 2

Процедура поиска отличий фрагмента от некоторой области вокруг него была выполнена по следующим параметрам: по математическому ожиданию значения ЧСС, по эмпирическому закону распределения значений ЧСС и по площади перекрытия нормированных гистограмм.

Для нахождения вероятности случайного появления отличия фрагмента по математическому ожиданию был применен непараметрический критерий сдвига Манна–Уитни–Вилкоксона, который используется для проверки гипотезы о равенстве математических ожиданий двух выборок с неизвестными эмпирическими законами распределения [2].

Для нахождения вероятности случайного появления отличия фрагмента по закону распределения вероятности был применен двухвыборочный критерий согласия Колмогорова–Смирнова. Двухвыборочные критерии согласия применяются в том случае, когда перед исследователем встает вопрос: извлечены ли обе выборки из одной генеральной совокупности [2]? В критерии Колмогорова–Смирнова применяется статистика, представляющая расстояние между двумя эмпирическими функциями распределения [3].

Для выполнения поиска фрагментов, наиболее значимо отличающихся от остальной части тренда ЧСС, с использованием нормированных гистограмм вместо вероятности случайного наблюдения изменения использовался параметр «площадь перекрытия гистограмм».

Для выполнения процедуры нахождения по «матрице» фрагментов, обладающих наименьшей вероятностью случайного появления, был выполнен поиск локальных минимумов методом пошагового спуска по координатам осей [4]. Этот метод заключается в том, что поиск начинается с некоторой начальной точки, значение которой сравнивается со значениями соседних точек. Если вероятность в текущей точке наименьшая, то она принимается за локальный минимум, когда наименьшая вероятность соответствует соседней точке, то соседняя точка принимается за начальную и поиск переходит к следующей итерации. На рис. 2 видно, что график «матрицы» вероятностей имеет локальные минимумы котловинного характера, а линии уровня близки к эллипсам, оси которых почти параллельны осям координат времени начала и длины интервала. Это означает, что сходимость выбранного метода будет удовлетворительной [4]. Достоинство такого метода заключается в его простоте; недостаток заключается в том, что процесс поиска прекращается на первом обнаруженном локальном минимуме, в результате чего абсолютный минимум в некоторой области может быть не обнаружен. Для решения этой проблемы были исследованы значения шагов начальных точек по осям длительности и положения фрагмента, которые позволили бы алгоритму спуска по осям не останавливать процедуру поиска на незначительных минимумах и в то же время обнаруживать значимые минимумы применительно именно к решению поставленной задачи.

После обнаружения локальных минимумов было выполнено уточнение их положения в «матрице» вероятностей этим же методом пошагового спуска по осям путем последовательного уменьшения шага движения до значения, определяющего точность начальной точки и длины фрагмента, принятого равным 1 мин.

В результате был сформирован набор фрагментов, обладающих наименьшей вероятностью случайного появления на фоне некоторой области тренда ЧСС, расположенной вокруг самого фрагмента. За фрагменты сна были приняты те, среднее значение которых было меньше среднего значения ЧСС в области вокруг фрагмента, начинающейся ранее фрагмента на 12 ч и заканчивающейся позже фрагмента на 12 ч.

На рис. 3 представлен результат поиска фрагментов: тренд ЧСС и периоды сна, выделенные экспертом – горизонтальные линии (рис. 3, а); на рис. 3, б изображены фрагменты, обнаруженные алгоритмом. Фрагменты, принятые за периоды сна, изо-

бражены сплошными линиями, бодрствования – точечными линиями. Видно, что эти фрагменты группируются таким образом, что они соответствуют реальным периодам сна и бодрствования.

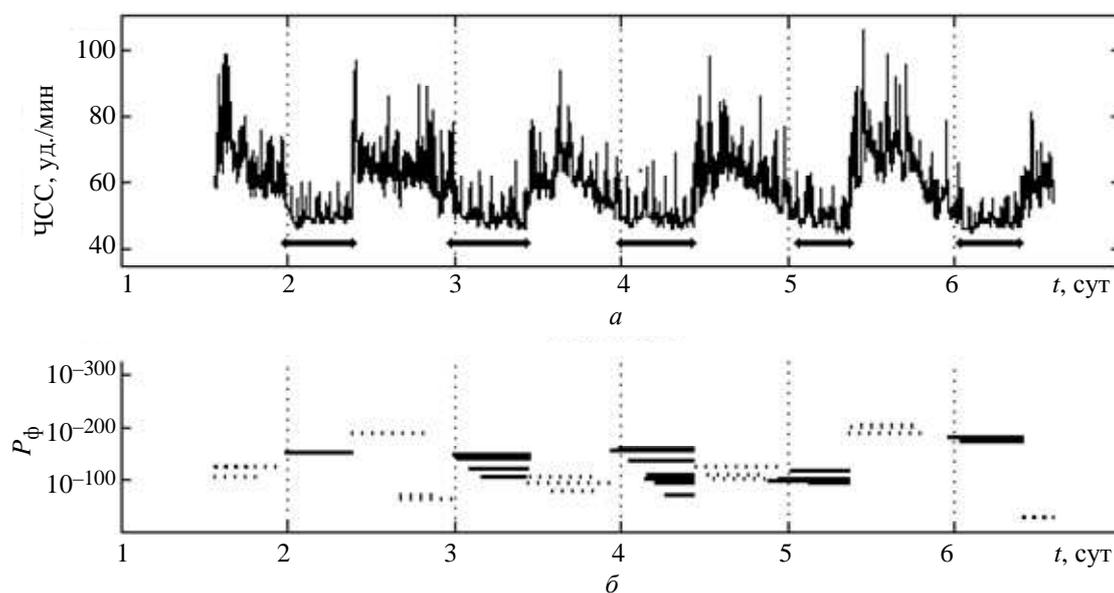


Рис. 3

В ходе исследования совокупности фрагментов, которые были обнаружены предложенной методикой, выяснилось, что фрагменты, обладающие наименьшей вероятностью случайного появления, соответствовали периодам снижения ЧСС вследствие сна, но при этом часть из них перекрывалась. Для того чтобы сделать вывод о том, какие значения принять за границы ночного сна, были исследованы подходы к интерпретации полученных результатов:

*Первый подход.* Запись делилась по суткам относительно времени 12:00. В каждом сутках искался один наименее вероятный фрагмент, среднее значение ЧСС которого было меньше среднего всех суток. Этот фрагмент и принимался за ночной сон.

*Второй подход.* По всей записи был выполнен поиск наименее вероятных фрагментов. Если фрагменты перекрывались на 50 % и более, они объединялись в результирующий фрагмент, представляющий собой подобие проекции фрагментов на одну ось времени. Этот фрагмент и принимался за ночной сон.

*Третий подход.* Аналогичен второму за тем исключением, что за ночной сон принимался не объединенный интервал, полученный из группы перекрывающихся фрагментов, а наименее вероятный фрагмент из группы.

Для исследования работы алгоритма и поиска наиболее подходящих для решения поставленной задачи параметров были рассчитаны показатели чувствительности и специфичности по методике, определяемой ГОСТ Р 50267.47–2004 («Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к амбулаторным электрокардиографическим системам»). В данном контексте чувствительность показывает, какую часть области ночного сна определяет исследуемый метод. Специфичность показывает, какая часть области, определенная алгоритмом как сон, в действительности соответствует периоду сна.

В ходе исследования выяснилось, что наилучшие результаты исследуемый метод показал при следующих параметрах: сравнение фрагментов выполнялось с остальной частью тренда; шаг движения положения окна 60 мин; изменение размера окна от 180 до 720 мин с шагом 60 мин; последующее уточнение размера и положения фрагмента с точностью до 1 мин.

В табл. 1–4 представлен результат, который показали исследуемые методы, основанные на использовании статистических критериев, при указанных выше параметрах.

Таблица 1

34 записи продолжительностью 1 сут							
Критерий		Колмогорова–Смирнова		Манна–Уитни–Вилкоксона		Площадь перекрытия гистограмм	
Показатель		Se	P	Se	P	Se	P
Метод интерпретации	1	0.974	0.877	0.987	0.838	0.956	0.864
	2	0.990	0.713	0.990	0.671	0.989	0.685
	3	0.973	0.847	0.986	0.807	0.958	0.828

Таблица 2

12 записей продолжительностью 7 сут							
Критерий		Колмогорова–Смирнова		Манна–Уитни–Вилкоксона		Площадь перекрытия гистограмм	
Показатель		Se	P	Se	P	Se	P
Метод интерпретации	1	0.816	0.883	0.812	0.875	0.408	0.933
	2	0.931	0.613	0.927	0.602	0.874	0.623
	3	0.849	0.794	0.826	0.783	0.436	0.755

Таблица 3

1 запись продолжительностью 30 сут							
Критерий		Колмогорова–Смирнова		Манна–Уитни–Вилкоксона		Площадь перекрытия гистограмм	
Показатель		Se	P	Se	P	Se	P
Метод интерпретации	1	0.972	0.859	0.947	0.896	0.378	0.872
	2	0.992	0.783	0.977	0.823	0.893	0.735
	3	0.976	0.843	0.940	0.860	0.377	0.716

Таблица 4

34 записи длит. 1 сут; 12 записей длит. 7 сут; 1 запись длит. 30 сут							
Критерий		Колмогорова–Смирнова		Манна–Уитни–Вилкоксона		Площадь перекрытия гистограмм	
Показатель		Se	P	Se	P	Se	P
Метод интерпретации	1	0.882	0.876	0.878	0.869	0.527	0.895
	2	0.957	0.664	0.951	0.653	0.904	0.657
	3	0.902	0.816	0.885	0.804	0.544	0.777

В ходе исследования выяснилось, что наилучший результат показал метод, основанный на критерии Колмогорова–Смирнова, метод с использованием критерия Манна–Уитни–Вилкоксона показал практически такой же результат, незначительно отличающийся в худшую сторону. Выяснилось, что чувствительность метода, основанного на площади перекрытия нормированных гистограмм, снижалась вместе с увеличением продолжительности записей. Из трех рассмотренных методов интерпретации обнаруженных фрагментов с использованием статистических критериев наилучший результат показали метод поиска одного наименее вероятного фрагмента в пределах конкретных суток (1-й подход) и метод поиска одного наименее вероятного фрагмента в объединенной группе (3-й подход). При 1-м подходе выше специфичность, а чувствительность ниже. При 3-м подходе наоборот – чувствительность выше, а специфичность ниже.

Для поиска временных границ, соответствующих ночному сну, наиболее подходит метод, основанный на критерии Колмогорова–Смирнова с интерпретацией полученных результатов с помощью 1-го и 3-го подходов.

Выяснилось, что в исследуемых методах значение специфичности ниже, чем значение чувствительности, другими словами алгоритм определяет период сна более широким, чем он есть на самом деле. Отчасти это объясняется тем, что на тренде ЧСС не наблюдаются резкие границы между периодами сна и бодрствования, которые плавно переходят друг в друга. Даже специалисту бывает трудно определить точные границы ночного сна по ЧСС. Довольно часто границы, установленные одним врачом, отличаются от границ, определенных другим врачом.

На следующем этапе работы планируется усовершенствовать предложенную методику путем применения дополнительно к обработке ЧСС анализа двигательной активности пациента, что позволит существенно уточнить границы периодов ночного сна. Также планируется осуществить дальнейший сбор многосуточных холтеровских записей ЭКГ для тестирования и исследования метода. Предполагается использовать данный алгоритм в программном обеспечении комплекса «Кардиотехника-04» («Инкарт», г. Санкт-Петербург) с целью обеспечения более эффективного анализа записей многосуточного холтеровского кардионаблюдения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаютин В. М., Лукошкова Е. В. Колебания частоты сердечбиений: спектральный анализ // Вестн. аритмологии. 12 апр. 2002 г. № 26. С. 10–21.
2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
3. Ллойд Э., Ледерман У. Справочник по прикладной статистике: В 2 т. Т. 2 / Пер. С. А. Айвазян, Ю. Н. Тюрин. М.: Финансы и статистика, 1990. 526 с.
4. Калиткин Н. Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.

*E. S. Yakushenko*

#### *INVESTIGATION OF METHOD FOR DETECTING NIGHT SLEEP PERIODS USING HOLTER ECG RECORDS*

*Determination of night sleep periods has important diagnostics significance. Application of statistical criteria for determination of confines of sleep and wakefulness was studied in this paper. Sleep confines search procedure was performed on Holter ECG monitoring records, which durations were from 1 till 30 days. Method for automatically determination of night sleep periods was suggested.*

**Statistical criteria, Holter ECG monitoring, night sleep period**



УДК 378.141.4

*И. В. Герасимов*

## **ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

*Предлагается новая концепция построения образовательно-профессиональных программ подготовки инженерных кадров в техническом университете, основанная на трансдисциплинарном системном подходе к познанию и полному цикле генерации и применения знания в инновационных решениях. Применение указанной концепции позволяет реализовать прагматическую модель компетентного специалиста с использованием онтологии, включающей словарь типов задач инженерной деятельности и обладающей гармоничным сочетанием обучения, образования и абилитации.*

**Трансдисциплинарность, инновации, инжиниринг, образовательная технология, образовательно-профессиональная программа, технологическая платформа**

В современных условиях социально-экономического развития Российской Федерации все больше осознается противоречие между исключительно высокими темпами обновления знаний и, как следствие, спросом на рынке образовательных услуг, с одной стороны, и возможностями высшей школы в рамках существующих образовательных технологий и выделяемых госбюджетных ресурсов оперативно готовить инженерные кадры высокого качества, с другой. Можем ли мы сегодня с уверенностью утверждать, что наш выпускник не только будет востребован современной экономикой, но и окажется конкурентоспособным, преуспеет в своей профессиональной деятельности?

Думаю, что многие из тех, кто занят в сфере высшего профессионального образования (ВПО), не смогут дать утвердительный ответ на поставленный в известном смысле риторический вопрос. Подтверждением могут служить результаты текущего анализа содержания образовательно-профессиональных программ (ОПП) и их реализации в современных условиях работы высшей школы. Продолжает увеличиваться разрыв между тем, что потенциально могут дать технологические достижения, и тем, что реализуется в повседневной образовательной практике. Очень важным также представляется тот факт, что после развала СССР в 1991 г. обозначился разрыв поколений между специалистами, работавшими в высокотехнологичных отраслях еще советской промышленности, и молодыми выпускниками, приходящими на производство, в науку и высшую школу в настоящее время.

**Научно-технологическая и образовательно-профессиональная среда для подготовки инновационно-ориентированных специалистов.** Основное внимание в настоящей статье уделяется обоснованию потребностей в модернизации профессиональной образовательной деятельности с привлечением модели развития и использования человеческих ресурсов (в качестве базовой) в условиях нового типа взаимоотношения науки и техники, инициирования и становления технологических платформ, широкого распространения инфокоммуникационных и когнитивных технологий нового поколения [1].

На первый план выходят мотивации и ценности в учебных задачах, роль и значение научно-технологической и образовательно-профессиональной среды для подготовки инновационно-ориентированных специалистов, поддерживающей полный цикл генерации, научного понимания, рационального объяснения, сопряжения и эксплуатации знания (рис. 1).

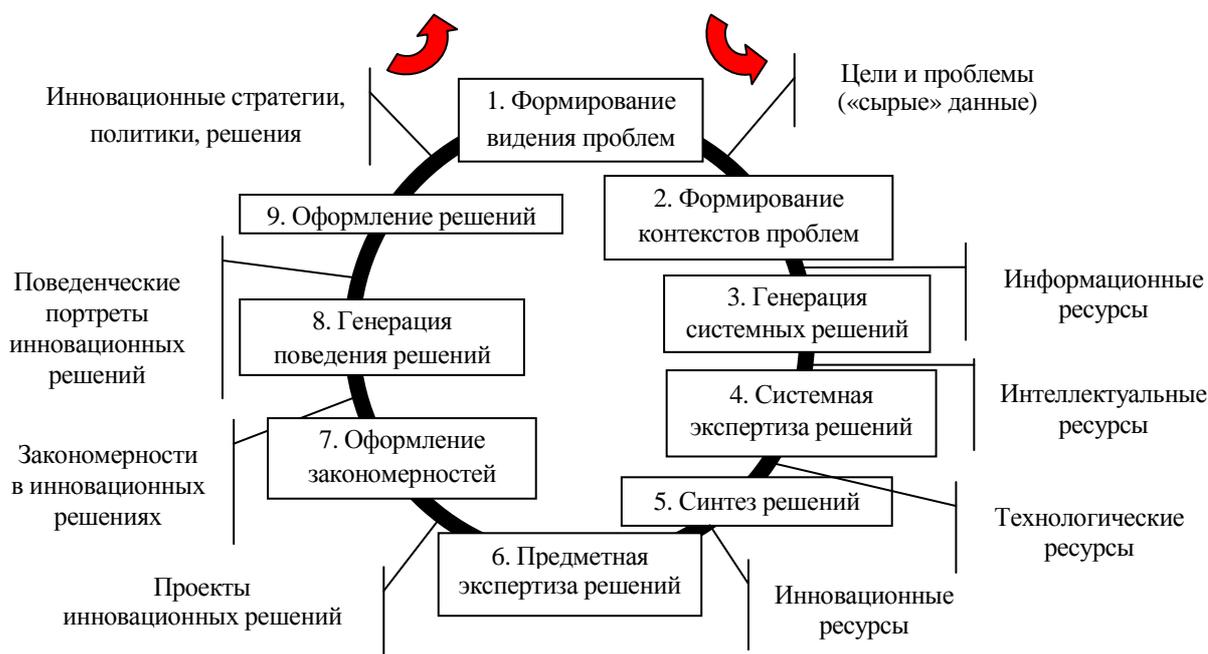


Рис. 1

«Само название высших институтов познания – университеты – напоминает нам, что с давних пор и на протяжении многих столетий универсальный характер знаний – единственное, к чему может быть полное доверие» [2].

Я придерживаюсь той точки зрения, что лучшие инновации – это сокращение рисков, а лучшие инвестиции – это сокращение затрат. Снизить риски и затраты – это, кроме всего прочего, означает точно понимать значение данных слов.

Ниже приводятся термины, используемые в ГОСТах 3-го поколения.

*Технологическая платформа (ТП)* – важный инструмент государственной научно-технической и инновационной политики, механизм частногосударственного партнерства и объединения усилий в области научно-технологического и инновационного развития российской экономики<sup>1</sup> [3]

<sup>1</sup> European Commission: CORDIS: European Technology Platforms (ETPs) Режим доступа: <http://cordis.europa.eu/technology-platforms/>. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы». Разд. «Технологические платформы». Режим доступа: <http://www.fcpr.ru/catalog.aspx?CatalogId=1193>.

Под ТП понимается коммуникационный инструмент, направленный на активизацию усилий по созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов (услуг), на привлечение дополнительных ресурсов для проведения исследований и разработок на основе участия всех заинтересованных сторон (бизнеса, науки, государства, гражданского общества), совершенствование нормативно-правовой базы в области научно-технологического и инновационного развития.

*Квалификация* – это степень подготовленности к какому-нибудь виду труда, профессии, специальности, набор знаний по комплексу дисциплин, заложенных в стандарт.

*Компетенция* (прежде всего, профессиональная) – это способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении задач профессионального рода деятельности.

Это, по существу, знаменует сдвиг от преимущественно академических норм оценки к внешней оценке профессиональной и социальной подготовленности выпускника. Чтобы обучаемый стал профессионалом, необходимо выйти из пространства знаний в пространство деятельности и жизненных смыслов (рис. 2).

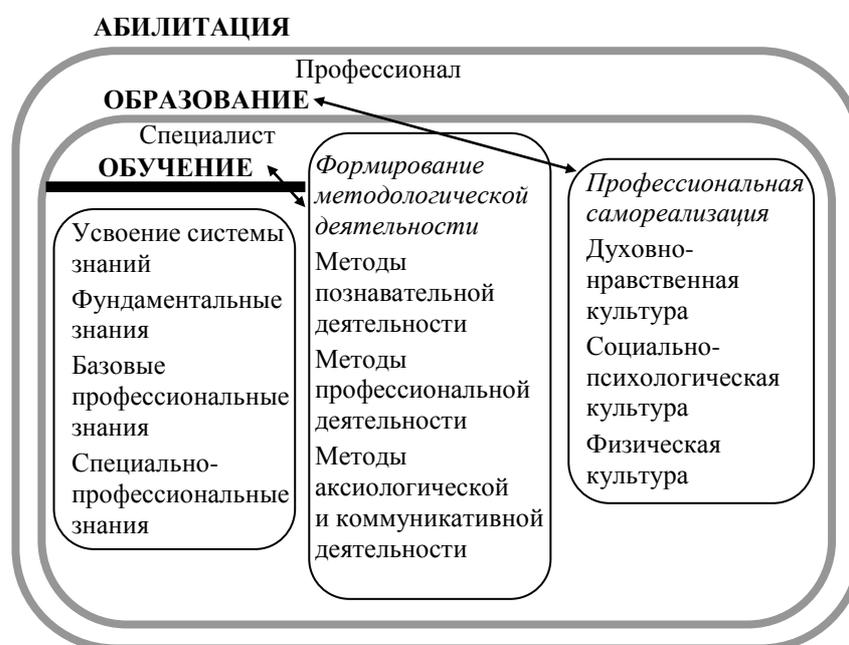


Рис. 2

*Технонаука (technoscience)* – принципиально новое явление в развитии современной науки, техники и технологий, суть которого заключается фактически в утверждении: целью научной деятельности сегодня является не столько объяснение мира и получение знания, так или иначе претендующего на истинность, сколько получение результата, который может быть воплощен в пользующуюся спросом технологию.

По мере осознания этого факта и зародились идеи соединения, конвергенции (взаимопроникновения) *нанобиоинфокогнитивных технологий*, стали разрабатываться стратегии их развития<sup>2</sup>. Сейчас это общемировой тренд развития науки.

<sup>2</sup> Ковальчук М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. Т. 6, № 1–2. Янв.-февр. 2011 г. Режим доступа: <http://www.kiae.ru/nbik01.pdf>.

*Инжиниринг* – это новый вид инженерной и экономической деятельности, базирующийся на понятии инновационного цикла высокотехнологичных (научеёмких) изделий<sup>3</sup>.

*Праксиология* (от греч. praktikos – «деятельный» + логия) – область социологических исследований, которая изучает методикy рассмотрения различных действий или совокупности действий с точки зрения их эффективности.

*Форсайт* (от англ. foresight – «взгляд в будущее») – это инструмент формирования приоритетов и мобилизации большого количества участников для достижения качественно новых результатов в сфере науки и технологий, образования<sup>4</sup>, экономики, государства и общества. По результатам форсайт-проектов создаются дорожные карты. Является одним из важнейших инструментов инновационной экономики.

**Когнитивный подход к конструированию ОПП.** Когнитология изучает познавательную деятельность. Сущность когнитивного подхода к конструированию интеллектеёмких объектов состоит в следующих утверждениях [4]:

– любые процессы обработки информации должны рассматриваться в терминах знаний, понятий и категорий, которыми обладает индивидуум (или информационная система) в настоящий момент;

– структура знаний и понятий человека (или информационной системы) опосредует все процессы получения, восприятия и передачи информации.

Процедуры восприятия и продвижения учебной информации чрезвычайно сложны. Имеет место эффект многократного возврата к началу этих процессов, к первым эмоциональным реакциям, к анализу стимулов, побудивших обучаемого обратить внимание именно на этот блок информации. По сути дела, это рекурсивный процесс прояснения воспринимаемого блока информации. Причем он сопровождается либо падением интереса, либо резким его возрастанием и ускорением темпа усваивания информации. Данное положение принимается в современной педагогике в полном согласии с эпистемологией<sup>5</sup> [5].

Научная, проектная и производственная деятельность взаимосвязаны. Любые достижения науки благодаря проектной и производственной деятельности материализуются, доходят до общества и потребителя в виде научеёмких изделий. В таком контексте претерпела изменение и эволюция собственно науки как поставщика новых знаний. Ключевую роль играют междисциплинарные проекты, предъявляющие к науке требования более глубокого и интенсивного проникновения в суть законов природы и общества (в сравнении с дисциплинарным подходом) (рис. 3 [6]).

Рассмотрим трансдисциплинарный системный подход. Во всех областях существует разрыв между высокой степенью сложности многих проблем и объективно скромной способностью людей преодолевать высокую сложность. Причем в больших системах эту преграду создает уже не только количественная (число элементов и их разнообразие), но и структурная (взаимосвязи элементов) сложность. А если к этому добавить сложность логических зависимостей и изменчивость моделей!

---

<sup>3</sup> Количество цифровых данных в мире ежегодно увеличивается на 60 %, открывая возможности к ускорению развития разных сфер деятельности.

<sup>4</sup> Применение методологии форсайта в контексте развития ВПО подробно рассмотрено в [1].

<sup>5</sup> Интеллект, в широком смысле этого слова, изучается эпистемологией.

В контексте затронутой проблемы сложности подчеркнем, что цель системного подхода – такое расчленение объекта на части, что каждая часть в отдельности и все вместе могут быть разумно проинтерпретированы. Другими словами, *целью системного подхода можно считать описание объекта исследования.*

Таким образом, сложность и системность не являются сопоставимыми понятиями, поскольку сложность относится к объекту исследования (число элементов и их отношения), а *системность – к способу описания объекта исследования*<sup>6</sup>.

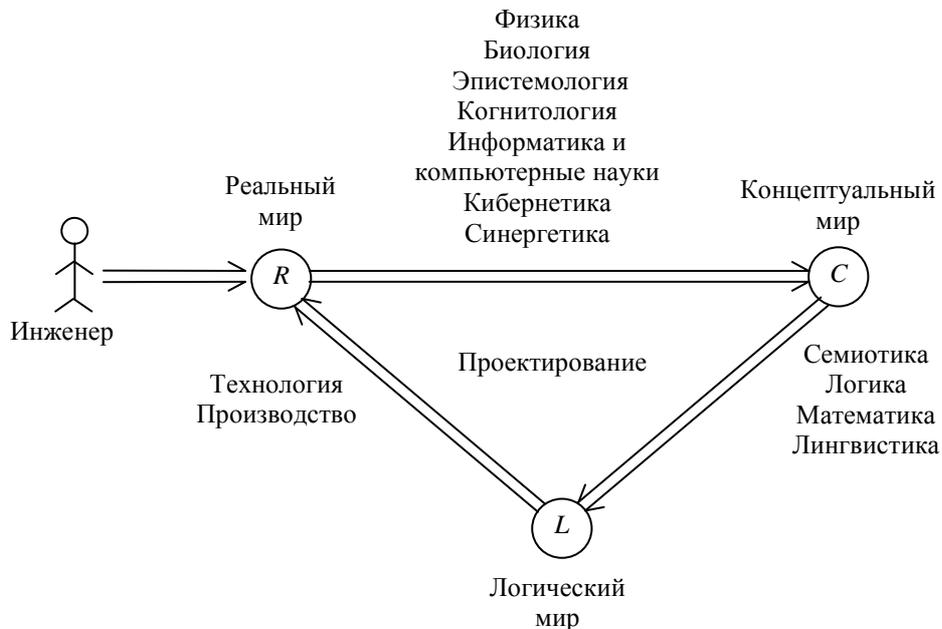


Рис. 3

В этой связи заслуживает внимания введенный Жаном Пиаже термин *трансдисциплинарность* (1969): «После этапа междисциплинарных исследований, – писал он, – следует ожидать более высокого этапа – трансдисциплинарного, который не ограничивается междисциплинарными отношениями, а разместит эти отношения внутри глобальной системы, без строгих границ между дисциплинами»<sup>7</sup>.

В качестве примеров наиболее часто употребляемых толкований термина «трансдисциплинарность» можно привести следующие:

- в первом значении «трансдисциплинарность» понимается как «*декларация*»;
- во втором – как высокий уровень образованности, разносторонности, универсальности знаний *конкретного человека*;
- в третьем – как «*правило исследования окружающего мира*»;
- в четвертом – как «*принцип организации научного знания*», открывающий широкие возможности взаимодействия многих дисциплин при решении комплексных проблем природы, техники и общества.

<sup>6</sup> Изложенная трактовка системного подхода позволяет определить его место и роль в *автоматизации инженерной деятельности на основе знаний.*

<sup>7</sup> Активное обсуждение трансдисциплинарности в мировой науке началось с середины 80-х гг. XX в. Однако в силу своего семантического потенциала этот термин до сих пор не получил своего исчерпывающего толкования.

Следует отметить, что трансдисциплинарность в четвертом значении позволяет ученым официально выходить за рамки своей дисциплины, *не опасаясь быть обвиненными в дилетантстве*.

В этой связи нельзя не обратить внимание на слова выдающегося австрийского физика Э. Шредингера: «Расширение и углубление разнообразных отраслей знания в течение последних 100 с лишним лет поставило нас перед странной дилеммой. С одной стороны, мы чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы свести в единое целое все до сих пор известное, а, с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более чем одной небольшой специальной частью науки. Я не вижу выхода из этого положения (чтобы, при этом, наша основная цель не оказалась потерянной навсегда), если только кто-то из нас не рискнет взяться за синтез фактов и теорий, хотя наше знание в некоторых областях неполно и получено из вторых рук и хотя мы можем подвергнуться опасности показаться невеждами» [2].

**Высшее профессиональное образование: сопряжение противоречивого.** Целью структуризации и формализации знаний является построение метаописания предметной области задачи. При этом инженер имеет дело с тремя мирами (см. рис. 3). Физика поставляет знания о вещественно-полевых объектах реальности; кибернетика абстрагируется от материи и концентрируется на управлении, коммуникации, организации; синергетика – на самоорганизации; информатика и компьютерные науки – на информационных процессах.

Структура и содержание знаний, получаемых в техническом университете, должны обеспечить нашему выпускнику мобильность на рынке интеллектуального труда и подготовленность к продолжению профессионального образования [6], [7].

Применительно к конкретному вузу как звену системы высшего профессионального образования закономерно возникает вопрос обеспечения такого уровня компетентности выпускников, который гарантировал бы им успешную деятельность за счет эффективного использования информационного (знаниевого) ресурса.

В самом широком контексте – это достижение уровня информационной культуры, диктуемого условиями жизни в обществе, основанном на знаниях (информационном обществе).

Задачи профессиональной деятельности и соответствующие им компетенции выражают самостоятельные результаты на трех уровнях: Деятельность, Действие, Операция, что находит отражение в *праксиологической модели компетентного специалиста* [6]. Четыре важнейших аспекта этой модели заслуживают внимания: когнитивный, коммуникативный, технологический, прикладной [6].

*Задачи* профессиональной деятельности и соответствующие им *компетенции* выражают некоторое действие, направленное на объект профессиональной деятельности, позволяя ввести в рассмотрение онтологию, связанную со словарем типов задач, содержащем такие понятия, как «анализ», «проектирование», «разработка», «обслуживание» и т. п.

Понятие *задача* является необходимым элементом рассмотрения любой образовательной технологии и лежащей в ее основе теории. В этой связи рассмотрение математических исчислений самих по себе недостаточно. Их необходимо рассматривать вместе с классами задач, для решения которых они необходимы.

Принципиально важным при конструировании ОПП является предложение рассматривать парадигму предмета деятельности как идеальную среду, находясь в которой, специалисты, общаясь между собой, обмениваются знаниями, оперируют с ними, создавая образ предмета,

некую систему взглядов, образ мышления, выполняют междисциплинарные проекты. Процесс создания парадигмы и является главной задачей тех, кто добывает новое фундаментальное знание, которое впоследствии воплощается в пользующуюся спросом образовательную технологию и способствует созданию принципиально новых образцов инновационной техники и технологий, нацеленных на социально значимый результат.

Для того чтобы трансдисциплинарность стала доступной и понятной научно-педагогической общественности и студентам вузов, ее следует представить в виде самостоятельного научного направления, обладающего своим предметом исследований и концепцией, философским подходом и языком, единицами измерения и моделями действительности, методами анализа информации и методикой анализа риска принимаемых решений.

В таком контексте трансдисциплинарность позволит осуществить общенаучную классификацию и систематизацию научных знаний. После такой обработки дисциплинарные знания становятся полностью адаптированными к их совместному использованию в решении проблемы модернизации образовательно-профессиональных программ, удовлетворяющих требованиям инновационной экономики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов И. В. Роль и значение технологических платформ при формировании нового поколения научно-технической элиты России // Материалы XVIII Междунар. науч.-метод. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. Т. 1. С. 9–10.
2. Шредингер Э. Современное состояние квантовой механики // Успехи химии. 1936. Т. 5–3. С. 390–442.
3. Роль и значение европейских технологических платформ для формирования содержания магистерской образовательной программы «Управление информационными системами и ресурсами» / И. В. Герасимов, С. А. Кузьмин, А. С. Новосельский, А. Р. Ишметьев // Материалы XIV Междунар. науч.-метод. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. С. 29–30.
4. Хакен Г., Португали Дж. Синергетика, межуровневые нейронные сети и когнитивные карты // Синергетика и психология. 2004. Вып. 3. С. 129–154.
5. Герасимов И. В. Эпистемологические аспекты информатики // Изв. Белорус. инженер. акад. 2003. № 1 (15)/1. С. 79–86.
6. Основания технологии комплементарного проектирования наукоемких изделий / И. В. Герасимов, С. А. Кузьмин, Л. Н. Лозовой, А. В. Никитин; Под общ. ред. И. В. Герасимова и А. В. Никитина. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
7. Методические рекомендации для руководителей УМО ВУЗов Российской Федерации. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2005.

*I. V. Gerasimov*

#### *TRANSDISCIPLINARITY OF EDUCATIONAL PROFESSIONAL PROGRAMS OF ENGINEERING STAFF TRAINING IN TECHNICAL UNIVERSITY*

*The paper is devoted to the new concept of educational professional program construction for engineering staff training in technical university. This concept is based on transdisciplinary system approach to cognition and full cycle of knowledge generation and application in innovative solutions. Application of this concept provides to realize the competent specialist praxiological model with application of ontology. This ontology includes the engineering activity tasks types vocabulary and has harmonic convergence with training, education and habilitation.*

**Transdisciplinarity, innovations, engineering, educational technology, educational professional program, technological platform**



# **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

---

УДК 338.242

*Е. В. Давыденко*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ В КОНТЕКСТЕ ОБЩЕМИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ**

*Посвящена проблемам модернизации российской экономики и построения инновационной модели. Данные проблемы рассматриваются в контексте интеграции РФ в мировую экономику. Автор анализирует современные тенденции глобальной экономики, выступающие экзогенным фактором инновационного развития экономик и, соответственно, повышения их конкурентоспособности на мировой арене. Особое место отведено изучению проводимых в РФ мероприятий по усилению инновационности экономики страны.*

### **Модернизация, инновации, конкурентоспособность, мировая экономика, Россия**

В настоящее время все страны в той или иной степени оказались вовлеченными в процесс перехода к новым условиям хозяйствования, обусловленными тенденциями постиндустриализации и информатизации. Начавшаяся в 80-х гг. XX в. компьютерно-информационная революция послужила толчком к новому технологическому витку, получившему название «новая экономика» или «экономика знаний».

Существуют разные трактовки понятия «новая экономика». Так, согласно взглядам Н. Д. Кондратьева, новая экономика – это новый экономический цикл, который начинается с научно-технической революции и знаменует переход от индустриального этапа (ок. 1800–1950 гг.) к постиндустриальному этапу развития экономики (прибл. 1950–2050 гг.). В этой связи новую экономику можно охарактеризовать как совокупность отраслей, состоящую из сектора услуг и современных высокотехнологичных отраслей и услуг, таких как микроэлектроника, программное обеспечение, информационно-коммуникационные технологии – в частности Интернет, облачные, лазерные технологии, космонавтика, биотехнологии, возобновляемая энергетика и т. д. Так, с 2002 по 2010 гг. доля услуг в структуре мировой экономики повышалась в среднем ежегодно на 2,7 % и к концу 2010 г. составляла уже 63,2 % от мирового производства [[www.meso Eurasia.org](http://www.meso Eurasia.org) // Кофнер Ю. Становление новой экономики в России – зарубежный опыт и национальная стратегия. 2012; [www.forbes.ru](http://www.forbes.ru)].

В научной среде доминирует другое, более глубокое определение «новой экономики». Стоит отметить, что данное явление изучалось разными учеными и ей давали разные названия: ноосфера (российский ученый В. Вернадский), общество знания, сетевое общество (американский марксист М. Кастельс), информационное общество (японский социолог Е. Масуда), сверхиндустриальное общество (американский футуролог Э. Тофлер) и др. В целом, все формулировки сводятся к одному: в новой экономике нематериальные активы (теоретические знания, научно-технические разработки и прежде всего – инновации) становятся определяющим фактором производства – «знаниями». Основой новой экономики являются инновационные изменения как императив современной экономики.

Чтобы преуспеть на мировой экономической арене, добиться повышения конкурентоспособности (КСП) и усиления позиций на рынках высокотехнологичных отраслей, необходима трансформация российской экономики с учетом современных тенденций развития мировой экономики. К сожалению, на сегодняшний день позиции РФ в мировой экономике невысоки. Так, по данным 2011 г., РФ занимает 49-е место (из 59 стран) в рейтинге национальной КСП, 63-е место (из 142 стран) по индексу КСП глобальной экономики [www.forbes.ru], 62-е место по уровню технологического развития (между Коста-Рикой и Пакистаном), 70-е место по использованию IT-технологий, 21-е место по количеству запатентованных изобретений производства [www.Mr7.ru]. В этой связи важность проведения экономической модернизации, выхода на новый путь инновационного развития в России, не вызывает сомнений. Именно инновации могут стать толчком для развития и усиления имиджа РФ на экономической и политической арене, тем фундаментом производства, который, по мнению М. Портера [1], усиливает конкурентные преимущества стран. Не случайно разговоры о переходе России на инновационный путь развития так широко освещаются в прессе и обсуждаются в обществе. Для поиска национальной инновационной стратегии целесообразным представляется изучить опыт зарубежных стран и адаптировать его к отечественным реалиям.

Несмотря на наличие ряда конкурентных преимуществ и предпосылок для внедрения новой экономики, Россия достаточно серьезно отстает от других стран в переходе в пятый научно-технологический уклад. К позитивным факторам инновационного развития России следует отнести:

- высокий научный потенциал, унаследованный со времен СССР;
- быстрые темпы проникновения информационных технологий (Интернет);
- значительное число исследователей, приходящихся на душу населения;
- систему образования и науки.

Среди негативных факторов можно выделить:

- высокую степень монополизации экономики;
- упадок российской науки;
- нехватку новых кадров, соответствующих духу времени;
- невысокий уровень внедрения результатов НИОКР (по данным Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, в экономическом обороте в РФ находится 0,4 % результатов НИОКР против 70 % в промышленно развитых странах) [2]. При этом более 70 % всех изобретений в РФ направлено на поддержание в

большинстве своем устаревших видов оборудования и технологий. В 2010 г. доля предприятий в РФ, осуществляющих технологические инновации, – 7,9 %, число выданных патентов составляет всего 152,4 ед. на миллион человек [www.gks.ru.] (в США – 345,81) [3];

- слабую государственную политику по поддержке и стимулировании инноваций;
- низкую степень экономической свободы;
- высокий уровень коррупции и экономической преступности [3] и т. д.

Остановимся на характеристике отдельных ключевых проблем, тормозящих становление инновационной модели в РФ.

На сегодняшний день одной из основных проблем является тот факт, что предприятия, научно-техническая сфера, элементы инновационной инфраструктуры функционируют отдельно, независимо друг от друга. Печально, что реальный сектор не ориентирован на использование результатов отечественных НИОКР, а уровень инновационной активности в промышленности крайне низок – 9,7 % в 2007 г. (для сравнения: во Франции – 46 %, в Германии – 66 %) [4].

Одним из ключевых условий формирования конкурентоспособной экономики является повышение профессионального уровня рабочей силы страны. В последние годы наблюдается значительное ослабление кадрового потенциала российской науки. Численность персонала, занятого в НИОКР, в 1995–2006 гг. снизилась на 23,9 %, а количество исследователей уменьшилось за аналогичный период на 34,9 %. В 2007 г. на 10 тыс. занятых в РФ приходилось всего 69 исследователей (для сравнения: в Финляндии – 166 чел.) [www.gks.ru.].

Пытаясь вывести страну на инновационный путь развития, правительство инициировало в 2007 г. программу по модернизации российской экономики, которая включает в себя 10 основных задач:

1. *Приватизация крупных государственных компаний*, предполагающая значительное сокращение списка стратегических предприятий, и в то же время повышение эффективности и инновационности самих компаний. К концу 2010 г. госкомпании должны были разработать корпоративные стратегии инновационного развития. Всего с заданием справились 9 из 22 корпораций. На эти компании приходилось 1000 тыс. зарегистрированных патентов в 2010 г., из них международных – только 5 (для сравнения: одна IBM зарегистрировала в 2010 г. 5 тыс. патентов) [5].

2. *Создание совместного фонда* с привлечением национальных государственных и частных, а также прямых иностранных инвестиций, который будет ориентирован на развитие высокотехнологичных отраслей. Здесь же можно поприветствовать инициативу создания венчурных фондов.

3. *Развитие финансового сектора*. С этой целью с 1 января 2011 г. в России был отменен налог на доходы от реализации ценных бумаг при осуществлении долгосрочных инвестиций. Максимально расширяя возможности для финансовых институтов, планируется в перспективе превратить Москву в мировой финансовый центр.

4. *Развитие интеграционных процессов* по созданию единого экономического пространства от Лиссабона до Владивостока, вступление России в ВТО и присоединение к Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

5. Создание *инновационного центра «Сколково»* – русской «силиконовой долины». «Сколково» является научно-технологическим комплексом по разработке и коммерциализации инновационных технологий. В комплексе будут обеспечены особые экономические условия для компаний, работающих в приоритетных отраслях модернизации экономики России: телекоммуникации и космонавтика, медицинская техника, энергоэффективность и возобновляемая энергетика, информационные технологии, а также ядерные технологии [www.rusnano.com].

6. *Энергетический сектор как основа инноваций*, в том числе за счет прямых иностранных инвестиций, для привлечения которых разрешается частичная либерализация данной сферы.

7. *Стремление к трансферту иностранных технологий* (экзогенная модернизация). Примером тому может служить закупка у Франции с последующим совместным строительством военных кораблей «Mistral» [www.mesoeurasia.org // Кофнер Ю. Становление новой экономики в России – зарубежный опыт и национальная стратегия. 2012]. В частности, по расчетам экспертов Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, для модернизации российской экономики может потребоваться приобретать за рубежом до 60 % современных технологий [2].

8. Развертывание *широкополосного доступа к Интернету* по всей России, что создаст для иностранцев возможности для построения и ведения нормального бизнеса.

9. *Привлечение зарубежных специалистов* путем автоматического признания дипломов ведущих мировых вузов и облегчения миграционного законодательства для высококвалифицированного персонала.

10. *Масштабные инфраструктурные проекты*, в том числе спортивные, основанные на частно-государственном партнерстве. Примерами можно назвать Казанскую универсиаду (2013) и Сочинскую зимнюю Олимпиаду (2014).

Вышеупомянутая программа по модернизации лежит в основе принятой в 2008 г. «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г.», которая предполагает повышение удельного веса добавленной стоимости в инновационном секторе от 11,1 % в 2010 г. до 17 % к 2020 г., приведя к его доминированию над другими отраслями, чтобы к 2020 г. страна могла войти по объему экономики в пятерку ведущих стран мира [www.mesoeurasia.org // Кофнер Ю. Становление новой экономики в России – зарубежный опыт и национальная стратегия. 2012].

Для реализации государственной программы по модернизации к настоящему времени были предприняты следующие шаги:

1. Учреждение в 2009 г. *Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России*. Основными задачами комиссии являются рассмотрение вопросов, касающихся выработки государственной политики в области модернизации и технологического развития экономики России; координация деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, предпринимательского и экспертного сообществ в области модернизации и технологического развития экономики России; определение приоритетных направлений, форм и методов государственного регулирования в целях модернизации и технологического развития экономики страны [www.mesoeurasia.org // Кофнер Ю. Становление новой экономики в России – зарубежный опыт и национальная стратегия. 2012].

2. Обозначены ключевые сферы модернизации российской экономики, а именно: космонавтика (Роскосмос), оборонно-промышленный комплекс (Рособоронэкспорт, Сухой, Уралвагонзавод), атомная промышленность (Росатом), возобновляемая энергетика (Русгидро, Хевел), нанотехнологии (Роснано), авиационная промышленность (ОАК), судостроение, микроэлектроника, автомобильная промышленность (е-Авто, КамАЗ); финансовый сектор (Сбербанк, ВТБ, ММВБ-РТС), ИКТ (МТС, Вымпелком, Глонасс), программное обеспечение (НКК, 1С). Например, лишь за 2010–2011 гг. «Роснано» запустила 13 новых заводов по производству наукоемкой продукции [[www.rusnano.com](http://www.rusnano.com)].

3. *Активизирована деятельность Федерального космического агентства России*, в частности, проекты «Луна-Глоб», «Фобос-грунт», «Венера-Д», «Марс-500», а также создание к 2018 г. нового космодрома «Восточный» в Амурской области. Интересно отметить, что до 2016 г. американских астронавтов будет доставлять на Международную космическую станцию исключительно Роскосмос. Тем не менее, ситуация в отрасли неидеальна. Причинами упадка являются невысокая загруженность предприятий отрасли (лишь около 30 %), старение основных фондов, низкий контроль качества производимых деталей, потеря кадрового потенциала.

Кроме того, можно отметить и другие инициативы и мероприятия Правительства РФ по формированию и реализации инновационной стратегии. Тем не менее, этого пока недостаточно как качественно, так и количественно, чтобы вовремя вывести Россию на инновационный путь развития. Проводимая в России инновационная политика в целом остается неэффективной, о чем свидетельствуют макроэкономические индикаторы и позиции страны в международных рейтингах. Так, в последние годы не более 10 % экономического роста в стране обеспечивалось за счет увеличения производства в высокотехнологичных отраслях (в развитых странах этот показатель составляет около 60 %).

В настоящее время развитие инноваций в России находится на зачаточной стадии. Программы инновационного развития строятся в основном в духе декларативности и рекомендаций. Среди основных проблем можно выделить отсутствие в РФ четко сформулированной системной концепции по модернизации с привязкой к достижению определенных нормативов, отсутствие в стране института экспертов в области создания инновационных моделей, отсутствие механизмов стимулирования предприятий в процессах производственной кооперации и международного сотрудничества и т. д. То, что мы наблюдаем в последнее время, – это точечное создание отдельных элементов инновационной инфраструктуры: технопарков, технологических и научных центров, различных фондов, в том числе венчурных, финансирование которых ограничивается или даже сворачивается.

Глобальные тенденции мирового развития подтверждают, что единственный путь повышения КСП на мировом рынке и равноправного участия в международном разделении труда – это модернизация экономик и перевод их на инновационные рельсы развития. Интеллектуальный капитал становится главной составляющей, формирующей экономическое благополучие страны и ее КСП на международной арене. В этой связи перед Россией стоит грандиозная и одновременно сложная задача – в короткие сроки при отсутствии многих условий построить эффективно функционирующую, не уступающую западным аналогам инновационную модель. Данная цель на практике может быть решена лишь в том случае, когда формирование экономики инноваций станет центральным вектором государственной политики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портер М. Конкуренция. М.: Вильямс, 2006.
2. Власкин Г. А. Инвестиционно-технологическое взаимодействие России и Евросоюза в условиях кризиса // Новости науки и технологий. 2009. № 4. С. 18.
3. Лукьянова А. Ю. Проблемы инновационного развития России // Актуальные вопр. экономики и управления: материалы междунар. науч. конф. М.: РИОР, 2011 (www.moluch.ru).
4. Давыденко Е. В. Становление инновационной модели развития российской экономики как результат глобального экономического кризиса // Ученые записки МБИ. СПб.: МБИ, 2010.
5. Эксперт. 7–13 февр. 2011. № 5 (739). С. 6.

*E. V. Davydenko*

### *THE MODERNIZATION OF THE RUSSIAN ECONOMY THROUGH THE GLOBAL TENDENCIES*

*The article is devoted to the problems of modernization in the Russian economy and the creation of the innovative model. These problems are considered through the integration of Russia into the world economy. The author analyses the modern tendencies of the global economy that are the external factors of innovative creation of the economics enhancing the competitiveness on the world arena. The author pays special attention to the analysis of the steps for increasing of innovations in the Russian economy.*

**Modernization, innovation, competitiveness, world economy, Russia**

УДК 658.5.012.7

*И. В. Павловская, С. А. Степанов*

## **МЕТОД ОЦЕНКИ РАНЖИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Предлагается метод оценки ранжирующих измерительных систем, состоящий из совокупности инструментов оценки и алгоритма выбора подходящего инструмента. Данный метод оценки отличается универсальностью применения при оценке РИС: он позволяет выявлять все важные статистические свойства РИС, применяется для обоих типов РИС, а также применим в большинстве практических ситуаций.*

**Оценка измерительных систем, альтернативные характеристики, ранжирующие измерения**

Повышение качества продукции и услуг возможно только за счет повышения стабильности производящих их процессов, которое, в свою очередь, тесно связано с измерениями ключевых характеристик качества. Результаты измерений характеристик дают почву для принятия обоснованных управленческих решений о необходимости вмешательства в процессы. Любые измерения обладают некоторой степенью неопределенности. Поэтому потребность специалистов в получении качественных данных для анализа приводит к необходимости оценки и учета неопределенности измерений через проведение оценки измерительных систем (ИС).

Однако существует целый класс ИС, для которых существующие способы оценки лишь частично подходят для универсального практического применения или не подходят совсем. Такие ИС, имеющие широкое распространение в промышленности и сфере услуг, применяются в случаях, когда характеристики продукции или процесса подвергаются контролю, не связанному с численными измерениями. Этот класс измерительных систем называют ранжирующими. Актуальность проведения оценки ранжирующих измерительных систем (РИС) описана в литературе [1]–[6]. Данная оценка становится наиболее актуальной, когда основные функциональные характеристики продукции могут быть измерены только ранжированием. Например, запах духов или вкус чая. Таким образом, проведение оценки ранжирующих измерительных систем имеет большую значимость в управлении качеством. Это обосновало необходимость разработки метода оценки РИС.

На основании анализа литературных источников и практической информации об использовании РИС были сформулированы общие требования к методу оценки РИС. Данные требования включают, с одной стороны, необходимость оценки основных статистических свойств РИС, с другой – возможность применения метода в большинстве ситуаций на практике. Таким образом, метод оценки РИС должен позволять:

- 1) оценивать пригодность измерительной системы, являющуюся обратным значением от вероятности ошибки;
- 2) оценивать краткосрочный компонент изменчивости РИС: смещение и сходимостъ;
- 3) оценивать долгосрочный компонент изменчивости: стабильность РИС при переходе от «кабинетных» испытаний к работе в производственном процессе;
- 4) подходить для оценки обоих типов РИС;
- 5) использоваться при неизвестном опорном значении для образца, а также при неизвестном опорном решении (решении эксперта).

Проведенный анализ существующих инструментов оценки РИС показал, что ни один из них не соответствует всем предъявленным требованиям. Более того, даже совокупность этих инструментов нельзя считать полной и универсальной для проведения оценки РИС. Для выполнения требований существующая совокупность должна быть дополнена инструментами, применяемыми:

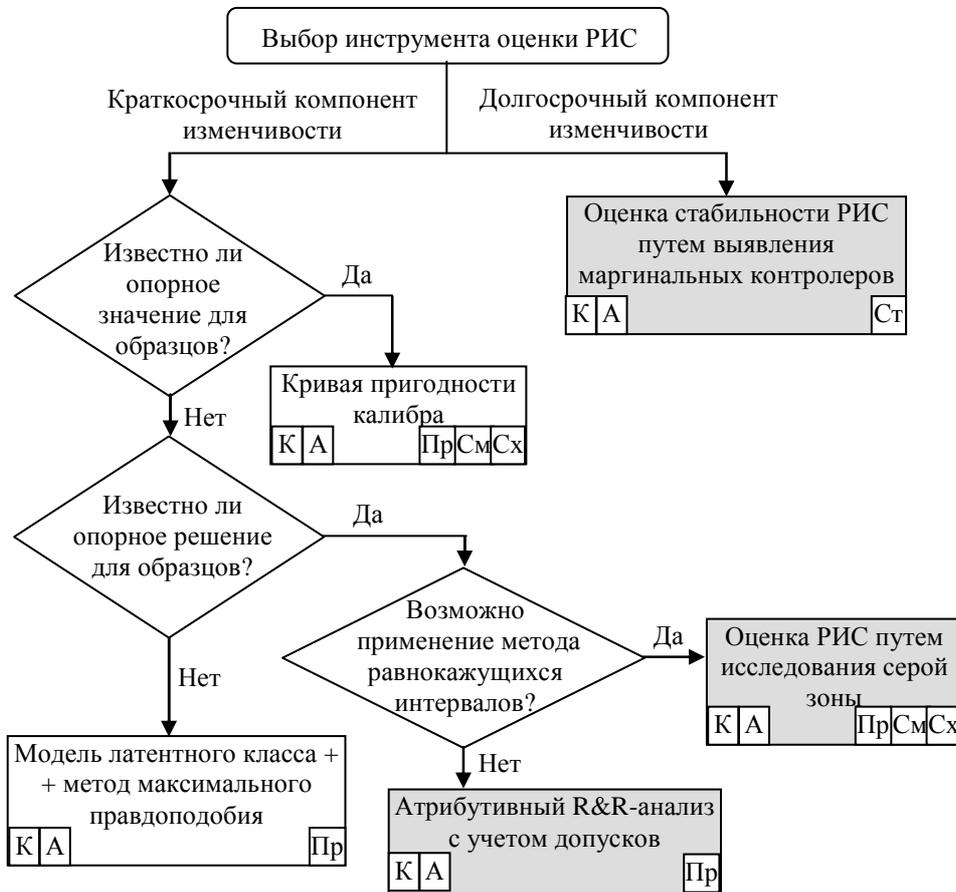
- для автоматических РИС;
- оценки стабильности РИС;
- оценки типа изменчивости при неизвестном опорном значении части.

В рамках проведенного исследования такие инструменты были разработаны. Кроме того, был разработан практический алгоритм выбора подходящего инструмента для оценки РИС. На рисунке представлен данный алгоритм, где серым цветом отмечены инструменты, разработанные в рамках исследования. На рисунке для каждого инструмента отмечены статистические свойства РИС, которые позволяют выявлять данный инструмент, а также типы РИС, к которым он применим. Для статистических свойств использованы следующие обозначения: «Сх» – сходимостъ, «См» – смещение, «Ст» – стабильность, «Пр» – пригодность. Типы РИС представлены буквами «К» и «А», обозначающими РИС, где в качестве измерительного прибора используются органы чувств контролеров и автоматические РИС соответственно.

Алгоритм выбора инструмента разделен на два блока: оценка краткосрочного компонента изменчивости измерительной системы и долгосрочного.

Первым условием при выборе инструмента для исследования краткосрочной изменчивости РИС является возможность определения опорного значения (количественного) для образцов. Если существует такая количественная измерительная система, при помощи которой можно определить опорное значение для образцов в целях проведения оценки РИС, то предлагается использование инструмента «Кривая пригодности калибра». Использование данного подхода позволяет оценить вероятность совершения ошибки в классификации образца, обратное от нее значение пригодности РИС, а также характер возникающих ошибок (вызванных смещением или сходимостью РИС).

Для применения кривой пригодности калибра важно подобрать образцы, значение характеристики качества которых будет представлять собой весь диапазон значений, возможных в данном технологическом процессе, и определить для каждого из них количественное значение характеристики качества при помощи инструментальной ИС.



Многочисленные измерения образцов при помощи исследуемой РИС позволят выявить для каждого из них вероятность принятия. Эта информация, с использованием несложных формул, позволяет определить смещение и сходимость, которые характеризуют изменчивость настройки и изменчивость разброса соответственно.

Данный подход прост в применении, предоставляет возможность графической интерпретации результатов, а главное, позволяет получить наиболее полную информацию о статистических свойствах РИС и, соответственно, разработать наиболее адекватные корректирующие действия в случае, если пригодность РИС не устраивает владельца процесса или потребителя. Главным недостатком, значительно уменьшающим область применения инструмента, является необходимость определения опорного значения для образцов. В случаях когда это не представляется возможным, предлагается перейти к следующему условию.

Второе условие для выбора инструмента оценки РИС касается наличия эксперта, способного определить опорное решение для образцов. Если такого эксперта не существует, то решения, принимаемые РИС относительно образцов, невозможно проверить, так как не известно не только истинное, но и действительное значение измеряемой величины. В таких случаях предлагается использование инструмента «Модель латентного класса»,

который позволяет оценить пригодность измерительной системы без определения опорного значения и решения для выбранных образцов – только на основании многократных измерений образцов измерительной системой. Данный инструмент оценки РИС признается многими исследователями этого вопроса как один из наиболее приемлемых [2], [3], [5], [6].

Данный инструмент базируется на следующем предположении. Если образцы будут измерены при помощи РИС  $m$  раз, то результаты измерений будут представлять собой случайную величину  $X_m(Y)$ , имеющую распределение Бернулли. Истинное значение образцов не известно и представляет собой случайную величину  $Y$ , которая также будет иметь распределение Бернулли. Предполагается, что в случайной величине  $X_m$  помимо явной переменной (оценка, присвоенная образцам РИС) существует скрытая (латентная) переменная, являющаяся истинным значением измеряемой величины. При этом каждая из этих переменных считается независимой величиной. Поэтому эксперимент важно организовать таким образом, чтобы при повторных измерениях одного и того же образца решения РИС были независимы друг от друга.

Для выявления скрытой случайной величины предлагается использовать метод максимального правдоподобия, т. е. метод оценивания неизвестного параметра путем максимизации функции правдоподобия. Подробное описание применения этого метода для задач оценки РИС можно найти в [3]. Зная скрытую переменную, представляющую истинное значение измеряемых образцов, становится возможным вычислить такие статистические свойства РИС, как пригодность и вероятность ошибки.

Минусами этого подхода, отмечаемыми в [6], является необходимость проведения большого числа измерений для более точной оценки, а также трудоемкость применения алгоритма метода максимального правдоподобия. В качестве значительных минусов подхода также можно отметить невозможность оценки таких статистических свойств РИС, как смещение и сходимость.

Однако возможность использования модели латентного класса при отсутствии опорных решений для образцов является его существенным плюсом и делает незаменимым в некоторых производственных ситуациях. В случае если существует эксперт, который может определить опорное решение для образцов, предлагается использовать более простые в применении способы оценки РИС.

Еще один инструмент из совокупности разработан в рамках исследования и называется «Оценка РИС путем исследования „серой зоны“». Данный инструмент позволяет выявлять максимальное количество возможных статистических свойств РИС и для его применения не нужно выявления опорного значения для образцов. Применение данного подхода базируется на понятии «серой зоны» РИС, т. е. такого диапазона значений характеристики качества, при котором существует вероятность совершения ошибки при классификации образца. Для оценки смещения и сходимости РИС предлагается ввести понятие допустимой «серой зоны», т. е. такого диапазона значений характеристик качества, при которых ошибка о годности образца является допустимой с точки зрения потребителя. Смещение и сходимость РИС выявляются путем сравнения «серой зоны» РИС и допустимой «серой зоны». Если «серая зона» РИС шире, чем «се-

рая зона» допуска, значит сходимость РИС неприемлема. Смещение же «серой зоны» РИС относительно «серой зоны» допуска говорит о том, что РИС имеет тенденцию отклонять годные образцы или принимать непригодные. Однако такое сравнение допустимо только в случае, если образцы продукции, используемые для проведения оценки, ранжированы с применением метода равнокажущихся интервалов [7]. Данный метод позволяет ранжировать образцы таким образом, что для номеров рангов становятся возможными все математические преобразования, допустимые для интервальной шкалы.

Если природа характеристики качества не позволяет использовать метод равнокажущихся интервалов, предлагается использование «Атрибутивного R&R-анализа с учетом допусков». Атрибутивный R&R-анализ является довольно простым исследованием, которое состоит из подсчета количества ошибок, допущенных РИС при оценке образцов [4]. Под ошибкой контролера понимается любое решение, отличное от опорного решения, которое может быть решением эксперта или может быть получено при помощи количественной измерительной системы. В результате проведенной оценки может быть получен процент согласий контролера с опорным решением, т. е. его пригодность. В проведенном исследовании предложена модификация данного инструмента – введено понятия допуска. Предполагается, что ошибка РИС имеет разный вес для образцов, находящихся в «серой зоне», и для образцов, являющихся «точно негодными» или «точно годными». Однако при использовании атрибутивного R&R-анализа такие ошибки не разделяются и, если их суммарный объем составляет более 20 % испытаний, требуют разработки планов улучшений РИС. Однако в случае с ошибками контролера внутри серой зоны, где изменения характеристики незначительны для потребителя, все подобные улучшения являются переналадкой процесса измерений и способны привести к его полному разладу. Во избежание описанных переналадок необходимо ввести зону допуска, в рамках которой неверная классификация образца контроллером не будет расцениваться как ошибка. Таким образом, вмешательство в измерительную систему будет происходить только при действительно значительном ее разладе.

В рамках исследования также был разработан инструмент для *оценки стабильности*, как долгосрочного компонента изменчивости РИС. Данный инструмент позволяет оценивать долгосрочную изменчивость РИС за счет выявления различий в согласованности между контроллерами при проведении измерений в процессе. При помощи него можно выявить выбивающихся из системы, «маргинальных» контролеров, тяготеющих к искажениям данных о продукции и процессе. При проведении «кабинетных» испытаний по оценке РИС контролеры, которые знают, что находятся под наблюдением, проводят измерения тщательно. Поэтому ошибки измерений могут быть вызваны только их знаниями, навыками, физическими возможностями и т. д. Однако при рутинных измерениях в процессе появляются дополнительные причины изменчивости, связанные с дисциплиной, мотивацией и другими психологическими факторами, которые могут исказить результаты измерений. Данный инструмент может быть использован для выявления таких искажений у контролеров, работающих в одном и том же процессе в равных условиях.

Для сравнения контролеров по их долгосрочной составляющей изменчивости необходимо взять среднее значение результатов их измерений за длительный период и компенсировать его на краткосрочную составляющую изменчивости, полученную при «кабинетных испытаниях». Если проанализировать полученные результаты на контрольной карте Шухарта  $p$ -типа, то контролеры, которые окажутся за верхней и нижней границами карты, «выбиваются» из системы, являются «маргинальными». Контролеры, которые на контрольной карте оказываются выше верхней контрольной границы, признают дефектными больше изделий, чем их коллеги. Контролеры, которые оказываются ниже нижней границы, пропускают больше изделий, чем их коллеги. При использовании данного подхода важно помнить, что если контролер оказался «маргинальным», это не означает автоматически, что чаще ошибается он, чем его коллеги. Возможно, что именно он предоставляет результаты, наиболее приближенные к реальности. Информация, полученная по результатам данного исследования, является почвой для размышлений руководителя.

В данной статье предложен метод оценки РИС, состоящий из совокупности инструментов оценки и алгоритма выбора подходящего инструмента. Хотя каждый из приведенных инструментов обладает собственными недостатками и ограничениями, метод оценки является универсальным для проведения оценки РИС и может использоваться в большинстве практических ситуаций. Немаловажным достоинством метода является возможность оценки таких статистических свойств РИС, как смещение, сходимость и стабильность. Оценка данных свойств позволяет не только принимать решение о пригодности РИС, но и выявлять причины низкой пригодности и разрабатывать адекватные корректирующие меры. Систематическое применение метода оценки на предприятиях, использующих РИС для контроля процессов и продукции, в целом позволит улучшить эффективность использования таких систем для управления качеством продукции и процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство / пер. с англ.; 3-е изд., испр. Н. Новгород: ОООСМЦ «Приоритет», 2007.
2. Mawby, William D. Make your destructive, dynamic, and attribute system work for you. Milwaukee: American Society for Quality, 2006.
3. Wieringen Wessel N. van, Heuvel Edwin R. van den. A Comparison of Methods for the Evaluation of Binary Measurement Systems // J. of Quality Engineering. 2005. Vol. 17, № 4. P. 495.
4. Windsor, Samuel D. Attribute Gage R&R. Six Sigma forum Magazine, 2003.
5. Mast Jeroen de, Wieringen Wessel N. van. Measurement System Analysis for Bounded Original Data. Qual. Reliab. Engng. Int, 2004.
6. Danila Oana, Steiner Stefan H, MacKay R. Jock. Routine Assessment of Binary Measurement System, Business and Industrial Statistics Research Group Report, 2009.
7. Татарова Г. Г. Методология анализа данных в социологии (введение): учебник для вузов. М.: Notabene, 1999.

*I. V. Pavlovskaya, S. A. Stepanov*

#### *ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS METHOD*

*This article is proposing method for attribute measurement system analysis. Method consists of several approaches for measurement system evaluation and algorithm for choosing appropriate approach. This method allows assessing misclassification rate and finding repeatability and reproducibility of attribute measurements. Method could be used in most of practical situations for both types of attribute measurement systems.*

**Measurement systems evaluation, qualitative data, attribute measurements**

## **О ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРИЕМА В УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

*Рассматриваются вопросы, связанные с формированием системы управления процессом приема на различных уровнях, изложены проблемы функционирования системы управления процессом, сформулированы принципы построения системы.*

### **Система управления, принципы формирования системы управления, процесс приема в высшее учебное заведение**

Реформирование системы образования влечет за собой существенные изменения организации приема в вузы, базирующиеся на системном подходе. Прием в учреждения высшего профессионального образования представляет собой сложный и многофункциональный процесс, не ограничивающийся конкурсным отбором лиц, наиболее подготовленных к освоению образовательных программ, как это определено в нормативных документах Минобрнауки (например, в законе об образовании). Процесс приема в широком смысле необходимо понимать как совокупность скоординированных действий (решений, мероприятий) на всех уровнях системы управления приемом для достижения запланированного результата. Для формирования, а в последствии для повышения эффективности функционирования системы управления приемом необходимо четко определить структуру элементов, задействованных в процессе, их связи и взаимосвязи, за счет которых возникает синергетический эффект, функции и задачи каждого из элементов, подчиненных единой цели – обеспечения отбора наиболее соответствующих по уровню компетенций на входе в образовательную программу абитуриентов.

Рассмотрим подход, изложенный в законе об образовании<sup>1</sup> и определяющий систему образования как трехуровневую [гл. III]. Ст. 37 классифицирует органы управления образованием на: «...федеральные (центральные) государственные органы управления образованием; федеральные ведомственные органы управления образованием; государственные органы управления образованием субъектов РФ... Местные (муниципальные) органы управления образованием могут создаваться по решению соответствующих органов местного самоуправления». По аналогии с используемым подходом систему управления процессом приема можно также представить как трехуровневую.

Федеральный уровень государственного управления представлен Минобрнауки, которое на основании стратегических целей и задач развития экономики страны и кадрового обеспечения отраслей народного хозяйства осуществляет разработку и контроль реализации государственной политики и нормативно-правовое регулирование процесса приема, а именно устанавливает:

- порядок приема в образовательные учреждения;
- перечень профессий и специальностей, по которым ведется профессиональная подготовка;
- перечень олимпиад школьников и порядок их проведения.

---

<sup>1</sup> Закон об образовании № 3266-1 от 10.07.1992, <http://минобрнауки.рф/>.

Минобрнауки осуществляет распределение контрольных цифр приема на основании открытого конкурса по заявкам от вузов, а также ограничивает количество образовательных учреждений высшего профессионального образования, в которые поступающий гражданин вправе подать заявления, и количество направлений подготовки (специальностей), по которым он вправе участвовать в конкурсе в каждом учебном заведении. Кроме того, министерство осуществляет координацию и контроль деятельности других уровней системы управления приемом в вузы.

Региональный уровень системы управления приемом представлен системой органов власти каждого из субъектов Российской Федерации, сфера деятельности которых лежит внутри границ соответствующего региона. Региональный уровень осуществляет контрольно-надзорные функции за процессом приема в рамках полномочий, предоставленных субъектам РФ с учетом хозяйственных интересов каждого конкретного региона.

Следующий уровень – это уровень образовательного учреждения. В сфере компетенции и ответственности каждого учебного заведения находятся вопросы организации процесса приема внутри вуза с четким соблюдением Порядка приема и других нормативных документов Минобрнауки (приказов, распоряжений, писем, перечней). Каждое учебное заведение высшего профессионального образования на основании нормативной документации федерального уровня формирует локальные документы вуза:

- правила приема, которые подлежат ежегодному рассмотрению, корректировке и утверждению высшим органом управления вузом – ученым советом вуза. Правила приема содержат следующие разделы: прием документов, вступительные испытания, зачисление;
- перечень направлений подготовки (специальностей), на которые вуз объявляет прием, и предметов, по которым учитываются результаты ЕГЭ;
- порядок организации приема по направлениям подготовки (специальностям);
- льготы, предоставляемые победителям и призерам олимпиад школьников различного уровня.

Также каждое образовательное учреждение высшего профессионального образования организует размещение этой информации на своем официальном сайте в сети Интернет, во исполнение требований Минобрнауки.

Таким образом, система управления приемом реализуется на трех уровнях: федеральном, региональном и уровне образовательного учреждения. Для эффективного функционирования системы управления процессом приема необходима согласованная деятельность всех элементов системы, подчиненность единой цели. Функции каждого уровня управления процессом приема должны быть определены и зафиксированы в нормативных документах структур, на которые возлагается ответственность по организации и контролю процесса приема в вузы. При этом действия должны быть направлены на достижение запланированного результата – цели системы.

В настоящее время под таким результатом автором понимается обеспечение подготовки специалистов по ряду технических направлений подготовки. Президентом России объявлены 38 приоритетных направлений<sup>1</sup>, по которым Минобрнауки три последних года увеличивает контрольные цифры приема. Так, из справки к протоколу заседания коллегии Минобрнауки от 25.01.2011 г.: «За период с 2004 по 2011 гг. наблюдается рост контроль-

---

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 03.11.2011 № 1944-р, <http://минобрнауки.рф/>.

ных цифр приема по таким укрупненным группам специальностей и направлений подготовки, как: «Информационная безопасность» (на 63 %), «Автоматика и управление» (на 98,6 %), «Информатика и вычислительная техника» (на 21,1 %).

Но при реализации запланированного результата возникают объективные проблемы. Рассмотрим подробнее ситуацию, сложившуюся в Санкт-Петербурге. Прием на указанные направления подготовки осуществляется на основании результатов ЕГЭ по трем предметам: математика, русский язык и физика или информатика. При этом по данным официального информационного портала ЕГЭ в 2011 г. всего 29 % выпускников Санкт-Петербурга сдавали ЕГЭ по физике и 12 % по информатике<sup>1</sup>. И этот процент выше, чем по России. Причинами низкого процента выпускников, выбравших необходимые для поступления в технические вузы предметы, является низкий уровень подготовки школьников по перечисленным дисциплинам, а иногда отсутствие преподавания их в школах из-за отсутствия учителей-предметников.

Проблема усугубляется сложной демографической ситуацией, связанной с сокращением выпуска из общеобразовательных учреждений. На рис. 1 изображена диаграмма планируемого выпуска учащихся 11-х классов общеобразовательных школ (по данным Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга<sup>2</sup>). В 2011 г. число бюджетных мест дневного отделения государственных высших учебных заведений Санкт-Петербурга (27,4 тыс. мест) превысило число выпускников 11-х классов общеобразовательных учреждений Санкт-Петербурга.

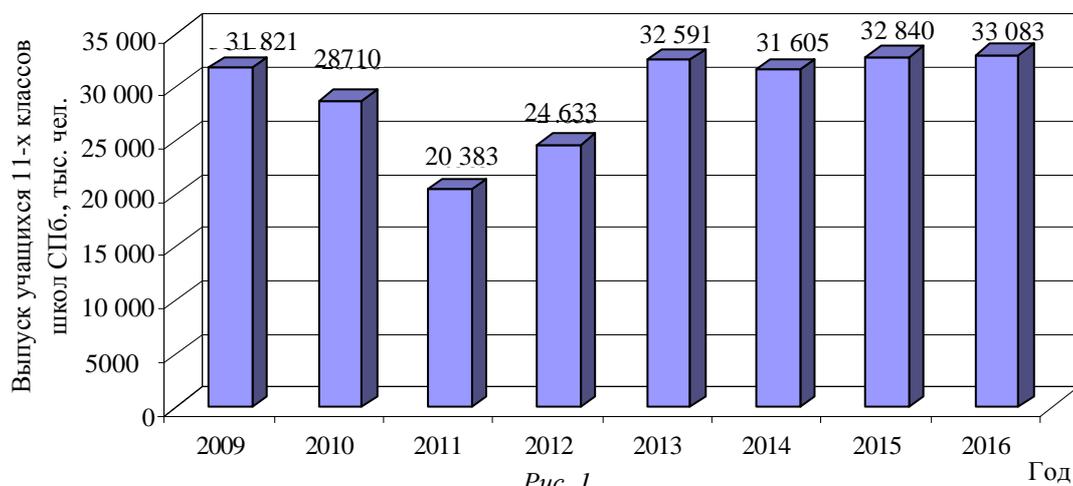


Рис. 1

На уровне каждого учреждения высшего профессионального образования проводится ежегодная системная работа по привлечению абитуриентов. Ведется активная профориентационная работа со школьниками, организуются экскурсии на кафедры и учебно-научные лаборатории, проводятся олимпиады не только для одиннадцатиклассников, но и для школьников старших классов. Вузы заинтересованы в укреплении связи со школами, в связи с этим проводятся семинары для администраций школ, ознакомительные профориентационные практики для учащихся 10-х классов школ.

<sup>1</sup> Официальный информационный портал ЕГЭ, [www.ege.edu.ru](http://www.ege.edu.ru).

<sup>2</sup> «Итоги работы Комитета по науке и высшей школе в 2011 году и основные задачи на 2012 год», <http://knvsh.gov.spb.ru/>.

Но отдельно взятому вузу технического профиля не под силу справиться с возникшими трудностями. Конкретные меры для решения проблем организации процесса приема необходимо выработать на всех обозначенных в статье уровнях системы управления приемом.

На федеральном уровне это должно проявляться в непосредственной связи государственных целей ежегодного приема абитуриентов с задачами кадрового обеспечения народного хозяйства, вытекающими из стратегических целей развития экономики, ее важнейшего звена – социальной сферы, включающей образование.

Основная задача системы управления приемом в вузы регионального уровня в современных условиях – это создание и реализация программ, благоприятствующих формированию в регионе контингента абитуриентов, ориентированных на получение высшего технического образования. Разрабатываемые программы должны быть основаны на учете целей и требований, заявленных на федеральном уровне, а также всей совокупности региональных особенностей (экономических, социальных, демографических).

Применительно к процессу приема это может означать:

- анализ потребностей рынка труда региона и разработку перспективных планов удовлетворения потребности в квалифицированных кадрах региона на 10–15 лет;
- формирование и активное проведение региональной политики по приему абитуриентов, включающей мотивационный механизм по привлечению абитуриентов и школьников для обучения на технических направлениях подготовки;
- разработку и контроль функционирования региональной информационной системы по приему в регионе.

Для Санкт-Петербурга, по мнению автора, необходимо на региональном уровне при участии вузов и организаций сформировать программу, основанную на анализе объективно полученных данных от предприятий в перспективной потребности в квалифицированных кадрах, направленную на привлечение школьников к образованию технического профиля.

Эффективное функционирование системы управления процессом приема невозможно без определения и реализации основных принципов ее функционирования, к которым автор относит следующие:

1. Принцип системного подхода, означающий необходимость всестороннего рассмотрения управления процессом приема как целостным множеством элементов в совокупности отношений и связей между ними, т. е. воздействия на все элементы управляемой системы.
2. Принцип обоснованности решений, принимаемых на каждом из трех уровней системы управления приемом в вузы, означающий, что эффективные решения об организации процесса приема базируются на данных и информации, по результатам проведенных исследований, научного прогноза, логического анализа и опыта.
3. Принцип неукоснительного соблюдения требований и эффективного функционирования системы управления приемом: для уровня образовательного учреждения и регионального уровня – это соблюдение требований всех нормативных документов министерства, для Минобрнауки – соблюдение сроков утверждения этой нормативной документации.
4. Принцип коллегиальности в выработке решений, т. е. всесторонняя проработка проблемы, учет мнений и опыта экспертов и профессионалов.
5. Принцип равенства условий для абитуриентов. Всех абитуриентов можно классифицировать на поступающих по результатам ЕГЭ и результатам вступительных испыта-

ний, проводимых вузом самостоятельно. Варианты заданий в одном случае разрабатываются на региональном уровне, а в другом – на уровне образовательного учреждения.

#### 6. Принцип единого информационного пространства.

Остановимся на реализации последнего принципа подробнее. Если раньше, говоря об автоматизации процесса приема, речь шла преимущественно об автоматизации на уровне высшего учебного заведения, то теперь автоматизировать процесс можно и нужно уже на государственном уровне. В этой связи Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки разрабатывается федеральная информационная система<sup>1</sup>, которая позволит решить комплекс задач. Во-первых, позволит осуществлять прием заявлений в вузы в электронном виде. Во-вторых, предоставит возможность комплексной проверки сведений, указанных в заявлении о приеме. В-третьих, информационная система повысит информативность проведения приема за счет создания для учреждений, абитуриентов и федеральных органов власти в сфере образования единого массива данных об организации и результатах проведения приема.



Рис. 2

В-четвертых, позволит отслеживать и контролировать возможность подачи заявления одним абитуриентом не более чем в пять вузов и на три направления подготовки в каждом.

В правилах формирования и ведения федеральной информационной системы<sup>2</sup> четко определены задачи и распределена ответственность за формирование массива данных, содержащихся в информационной системе, и сроков их внесения. Можно сказать, что федеральная информационная система представляет собой инструмент контроля за ходом и результатами процесса приема во все образовательные учреждения страны.

На рис. 2 представлена система управления процессом приема в учреждения высшего профессионального образования.

Таким образом, структурированная система управления процессом приема, основанная на шести рассмотренных принципах и реализуемая в едином информационном пространстве, формирует механизм управления процессом приема, адекватный целям, заявленным Правительством РФ, и социально-экономическим условиям, существующим в стране в настоящее время.

*E. A. Vishnyakova*

#### *ABOUT GENERATING SYSTEM OF ADMISSION TO THE UNIVERSITY OF HIGHER EDUCATION*

*In the article the author considered generating system of admission to the university of higher education on different levels, described the problems of the system functioning, formulated the principles of the system generating.*

#### **Management system, the principles of the system generating, process of admission to the University of higher education**

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ от 27.01.2012 № 36 «Об утверждении Правил формирования и ведения ФИС обеспечения проведения ЕГЭ и приема граждан в ОУ СПО и ОУ ВПО и региональных информационных систем обеспечения проведения единого государственного экзамена», <http://минобрнауки.рф/>.

<sup>2</sup> «Создание ФИС обеспечения проведения ЕГЭ и приема граждан в ОУ СПО и ОУ ВПО», Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки, <http://obrnadzor.gov.ru/>.



УДК 800.92:519.682

*П. А. Полухина*

### **ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ НЕОЛОГИЗМОВ В СОВРЕМЕННОМ АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**

*Посвящена анализу новых слов в современном английском языке – неологизмов. Отмечается сложность определения термина. Представлена классификация неологизмов. Рассматриваются основные наиболее продуктивные словообразовательные модели, используемые при создании неологизмов.*

#### **Неологизм, классификация неологизмов, словообразование, словообразовательная модель**

Появление неологизмов, прежде всего, вызвано необходимостью наименования новых реалий, объектов, явлений материальной и нематериальной действительности. Параллельно с наименованием отдельных элементов мира происходит также означивание процессов и событий, происходящих в нем. Наименования получают предметы, явления, процессы, качества и свойства, а также целые ситуации.

Вопрос о том, что же такое неологизм, до сих пор остается открытым. Термин «неологизм» трактуется по-разному разными лингвистами. Тем не менее существующие точки зрения о понятии «неологизм» объединяет то, что все они включают наличие определенных критериев при толковании термина. К ним относятся критерии времени и языкового пространства.

Спорным остается вопрос о классификации неологизмов. Лингвисты пытаются выделять разные группы неологизмов, выбирая в качестве дифференцирующего критерия различные параметры. Вслед за В. Г. Гаком разумно выделять три типа неологизмов: собственно неологизмы, трансноминации и семантические инновации. Собственно неологизмы представляют собой сочетание новой формы и нового значения. Согласно многим исследованиям данный вид неологизмов в последнее время превалирует в современных языках мира. Трансноминации – это такие неологизмы, которые передают значение, уже существующее в языке, новой языковой формой. Следующим видом неологизмов являются семантические инновации. Под ними понимаются новые значения уже существующих слов.

Несмотря на то, что неологизмы представляют собой новые единицы лексики, их образование происходит внутри общей системы языка. Их создание обусловлено различными законами, существующими в рамках конкретной языковой системы. Используется широкий арсенал материальных средств для моделирования и построения новых лексем. При создании неологизмов используются средства разных уровней: разнородные единицы объединяются в единое достаточно сложное целое.

Изучение неологизмов невозможно без обращения к процессу словообразования. Словообразование, согласно Е. С. Кубряковой, может быть определено как «область моделирования особых единиц номинации – производных» [1]. Под производным, в свою очередь, Е. С. Кубрякова понимает достаточно обширный пласт лексики, обладающей определенными характеристиками. В широком смысле можно толковать словообразование как особую подсистему языка, которая обладает совокупностью материальных средств, необходимых для моделирования новых единиц, кроме того, набором словообразовательных значений, выражаемых при помощи данных средств.

Также следует отметить и творческий характер словообразования, который проявляется в постоянном живом сочетании новых и старых единиц, переплетении универсального и индивидуального.

Таким образом, процесс возникновения неологизма представляет собой сложное многомерное действие, является некой иерархической организацией, которая формируется сложной сетью различных единиц и структур.

При изучении вопроса словообразования происходит обращение ко многим другим понятиям, таким как мотивация, словообразовательное правило, словообразовательное значение и др. Настоящее исследование нацелено на изучение способов словообразования, которые используются при создании неологизмов в современном английском языке.

Способ словообразования – некая крупная единица классификации, которая объединяет ряд типов, характеризующихся одним и тем же формантом, в отвлечение от конкретных материальных воплощений этого форманта в разных типах [2]. Способы словообразования представляют собой такие словообразовательные модели, которые являются продуктивными, апробированными обществом и бытующими в языке продолжительное время. Они оказывают сильнейшее влияние не только на то, как происходит наименование нового явления, но и на то, как неологизм будет воспринят и освоен современным человеком – носителем языка.

Существуют различные классификации способов словообразования. Одной из классических является классификация В. В. Виноградова. Он дает классификацию способов словообразования, исходя из того, единицы какого языкового уровня участвуют в нем. Он выделил морфологическое, морфолого-синтаксическое, лексико-синтаксическое, лексико-семантическое словообразование. В своей классификации неологизмов мы использовали классификацию Е. С. Кубряковой, которая выделяет словопроизводство, сложение, сращение, конверсию, аббревиацию.

**Словопроизводство** представляет собой такой способ словообразования, когда при создании неологизма используются минимальные строительные элементы языка – аффиксы. В основном аффиксальные единицы строятся в русле английских словообразовательных тра-

диций. Характер мотивации значения и морфологическая структура таких неологизмов укладываются в существующее стандартное представление о слове у носителей английского языка.

Словопроизводство может осуществляться с помощью префиксации или суффиксации:

1. *Префиксация*. Префиксы помещаются перед корнем, они семантически нагружены и могут влиять на семантику производной единицы. В последние десятилетия в разговорном английском языке чрезвычайно популярными стали такие префиксы, как *anti-*, *audio-*, *co-*, *de-*, *eco-*, *extra-*, *maxi-*, *mega-*, *multi-*, *over-*, *photo-*, *post-*, *pro-*, *pseudo-*, *sexo-*, *super-*, *tele-*, *ultra-*.

В связи с широким распространением и популяризацией технических новшеств многие префиксы, относимые к области технической терминологии, входят в общее употребление. Особого внимания требует префикс *e-*, который в качестве компонента сложного слова может быть присоединен к существительному, глаголу, а в последнее время также к прилагательному или к причастию. Более того, префикс *e-* выполняет не только «строительную» функцию, но и несет определенную смысловую нагрузку, обозначая процессы и явления, происходящие в виртуальном пространстве («...connected with the use of electronic communication, especially the Internet...») [3]. Некоторые неологизмы образуются путем прибавления префикса с сохранением исходной единицы. Например, **e-gossip**, **e-card**, **e-picture**, **e-painting**, **e-sig**, **e-mailable**. В других неологизмах наблюдается усечение исходной единицы: **e-quaintance** (an acquaintance made via the Internet), **e-municate** (to communicate through a computer). В слове *address* префикс *e-* заместил начальную букву и был присоединен к основе, образовав неологизм **eddress** (electronic mail address).

Таким образом, префикс *e-*, имеющий определенный семантический смысл, в настоящее время является одним из наиболее продуктивных при образовании неологизмов.

2. *Суффиксация*. Суффиксы помещаются за корнем слова. В количественном отношении суффиксальные единицы уступают префиксальным, но они более употребительны в повседневном общении. Большую часть неологизмов, образованных суффиксацией, можно маркировать пометой «сленг». В современном английском языке некоторые слова, образованные с помощью сленга, ограничены в употреблении рамками неофициального общения, преимущественно среди молодежи.

Одним из самых употребительных разговорных суффиксов продолжает оставаться суффикс *-ie*. Словарь *Oxford Advanced Learners Dictionary* дает следующее толкование суффикса *-ie*: «Used in nouns, showing affection» [3]. Нейтральное с точки зрения стилистики словосочетание «best friend» путем аффиксации преобразовалось в **bestie**. Существительное *present* также благодаря данному суффиксу приобрело эмоционально окрашенный неологизм **prezzie**.

Однако еще в словарях К. Барнхарта (1973, 1980) было отмечено, что суффикс *-y/-ie* развил новое значение – уничижительное, ироническое. Существительные в этом случае образуются по модели N + *-y* [4]. Доказательством данного нового значения служат неологизмы **tweenie** (teenager), **newbie** (newcomer), **Trekkie** (a Star Track fan).

Наблюдается заметное количество неологизмов прилагательных, созданных с помощью суффикса *-y*. Были зафиксированы неологизмы: **grody**, **chizzy**, **steezy**, **spazzy**, **scammy**. *Oxford Advanced Learners Dictionary* говорит, что суффикс *-y* в прилагательных имеет значение «full of; having the quality of», т. е. «имеющий какие-либо определенные качества» [3]. Несмотря на то, что носители языка наверняка отнесут подобные неологизмы к группе прилагательных именно благодаря суффиксу *-y*, определение значения таких прилагательных может вызывать определенные сложности.

Прилагательное **grody** зафиксировано словарем The Oxford Dictionary of New Words и имеет толкование «vile, revolting, grotty». В словаре также говорится, что неологизм появился еще в 60-е гг. XX в. и значение его со временем менялось. Этимология, а также главное мотивирующее слово приводятся лишь предположительно, вероятно, как уменьшительная форма gross или же сокращение от grotesque, в морфологической и фонетической формах приближающееся к grot, grotty [5]. Существительное scam («fraud») при использовании средств суффиксации было использовано в качестве основы для неологизма **scammy** («appearing to be a scam»).

Этимология других обозначенных неологизмов прилагательных, вероятно, требует глубокого творческого, даже метафорического подхода в силу того, что главные словообразующие единицы могут быть выделены лишь интуитивно, а также в настоящий момент не зафиксированы. Интернет-словари сленга современного английского языка дают следующие толкования: **steezy** – stylish, **spazzy** – often overly excited, **chizzy** – awesome, super.

В современном английском языке в качестве неологизмов были зафиксированы глаголы: **betterfy**, **funnify**, **oldify**. Суффикс -ify/-fy при присоединении к глагольной основе имеет значение «to make or become» [3]. Таким образом, словообразовательная модель, используемая при создании новых лексем, – это V + -ify/-fy. Не вызывает сложностей и лексическое значение неологизма: **betterfy** – to make better; **funnify** – to make someone or something appear funny; **oldify** – to cause to appear old.

**Словосложение** – это такой вид словообразования, при котором происходит морфологическое соединение двух или более основ. Специфической особенностью словосложения является соединительное значение, сводящееся к объединению значений, составляющих сложную основу мотивирующих основ в одно целостное сложное значение. Многие неологизмы, полученные в результате словосложения, относятся к повседневной жизни. В основе неологизма **hapcident** лежат лексемы happy, accident, значение же неологизма выводится из описания целой ситуации «an accident that brings happiness». Неологизм **friendaversery** появился путем сложения friend и anniversary, объединив значение «an anniversary marking the date of meeting a friend for the first time». К словосложениям также относятся: **mornoon** сложение morning и noon – the period of time between around 10 am and noon, late morning; **coffice** (coffee, office) – a coffee shop which is used by some customers as an office. Неологизмы появляются для обозначения новых предметов: **jeggings** – leggings which look like tight denim jeans; **slanket** – blanket with sleeves; **spife** – spoon and knife combination. Интересно, что для номинации другого предмета «a utensil that is a combination of a spoon and a fork» используется сложение двух лексем spoon и fork, в настоящее время зафиксировано два неологизма: **spork** и **foon**, отличающиеся лишь порядком основополагающих лексем.

**Сращение** отличается от словосложения тем, что неологизмы, образованные по этому словообразовательному способу, во всех своих формах полностью тождественны синонимичному словосочетанию.

Можно обнаружить заметное количество прилагательных, образованных путем сращения: **funtaneous** – fun and spontaneous, **funlarious** – fun and hilarious, **sincerious** – sincerely serious. Сочетание двух полнозначных лексем также способствует появлению существительных: **manny** – male nanny, **snirt** – snow with dirt, **daycation** – vacation day. Таким обра-

зом, неологизмы, образованные путем сращения, можно разложить на две полнзначных единицы, а значение данного исходного словосочетания будет полностью соответствовать значению неологизма без какого-либо переосмысления.

Безусловно, граница между двумя группами – словосложением и сращением – является подвижной. Более того, спорным остается вопрос о разграничении данных групп словообразования. Общей чертой словосложения и сращения является тот факт, что сложное слово, образованное по одному из двух обозначенных способов, своей структурой указывает, между какими предметами мысли устанавливаются взаимосвязи, те или иные отношения.

В последние десятилетия в английском языке возрастает роль словосложения и сращений. В 1960-1970-х гг. данные типы словообразования уступали аффиксации, но уже в 1980-х гг. они опередили аффиксацию и составили 29,5 % от всего корпуса неологизмов [4].

При **конверсии** не используются специальные словообразовательные аффиксы, наблюдается переход слова из одной части речи в другую, причем назывная форма слова одной части речи используется без всякого материального изменения в качестве представителя другой части речи. Конверсия как прием безаффиксального словообразования противопоставляется аффиксации. Конверсия приводит к некоему подобию омонимии форм, так как одна и та же материальная последовательность соответствует словам разных частей речи.

Появление неологизмов путем конверсии так же, как и в остальных случаях, связано с достижениями техники и развитием виртуальной реальности, в результате происходит преобразование уже существующих лексем. Зафиксированная еще в 1897 г. лексема **computer** – «calculating machine», вошедшая во многие языки мира с известным значением, в современном английском языке переходит в глагол, приобретая значение «to use a computer». Например: «He's working on campus and I'm computering while the kids paint»; «I just haven't been computering lately». Такой же процесс наблюдается и у лексемы **remote**, зафиксированной словарем Oxford в двух возможных вариантах – имя прилагательное и имя существительное. Лексическая единица *remote* полисемична, на основании одного из значений, относящегося к компьютерной сфере («that you can connect to from far away, using an electronic link»), происходит формирование глагольного значения – «to control a computer remotely». Таким же образом появляется неологизм **reader** в совершенно новом значении «to read or organize online content using Google Reader».

Основной моделью продолжает оставаться  $N \rightarrow V$ . Производность конвертируемых единиц носит внутренний, т. е. семантический характер. Происходит некое приглушение семы «предметность» и добавление семы «действовать посредством предмета», которая становится стержнем нового значения. Анализ данных неологизмов позволяет сделать выводы о том, что преобразование существующих лексических единиц путем конверсии активно происходит благодаря развитию компьютерной техники, следовательно, подобные конвертируемые неологизмы несколько ограничены по профессиональному параметру.

**Аббревиация** представляет собой особый способ словообразования, он направлен на создание более коротких по сравнению с исходными структурами синонимичных им номинаций. Чаще всего аббревиации подвергаются специальные термины, названия организаций и групп, и зачастую созданные аббревиации используются чаще, чем сами термины. Тем не ме-

нее в современном английском разговорном языке появляются неологизмы, созданные в результате аббревиации, которые относятся к повседневным реалиям: **GATE** (gifted and talented education), **AIR** (artist in residence), **WEE** (worst enemy ever). Массовое распространение технических достижений продолжает оставаться продуктивным полем: **FB** (Facebook), **GM** (group message), **TSR** (technical support representative). Представленные примеры показывают, что сохраняется тенденция создания аббревиаций по заглавным буквам лексических единиц исходного словосочетания. К аббревиации как к одному из способов словообразования многие исследователи языка относят также акронимы и другие всевозможные сокращения. Несмотря на то, что аббревиации составляют незначительную часть от общего количества неологизмов, их число растет. Кроме того, данный тип словообразования отражает тенденцию к рационализации языка, к экономии языковых усилий.

Таким образом, при возникновении неологизмов в современном английском языке используются следующие типы словообразования: префиксация, суффиксация, словосложение, сращение, конверсия, аббревиация. Современные неологизмы используют типичные для английского языка продуктивные словообразовательные модели. Одновременно появляются и новые морфологические компоненты, которые уже проявляют высокую словообразовательную эффективность.

В целом для морфологических неологизмов характерна высокая степень мотивированности. Можно сказать, что возрастает процент сложных и производных неологизмов, созданных словосложением или сращением. Такие единицы фиксируют сложное, многокомпонентное значение, характеризующееся большой степенью расчлененности, единой лексемой. Происходит стяжение целых сочетаний. Рост многокомпонентных единиц говорит о тенденции к рационализации и экономии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубрякова Е. С. Теория номинации и словообразование. М.: Книжный дом «Либроком», 2010.
2. Русская грамматика: науч. тр. / Под ред. Е. А. Брызгунова, К. В. Габучан. М.: Ин-т рус. яз. им. В. В. Виноградова, 2005.
3. Oxford Advanced Learners Dictionary. GB, 2005.
4. Заботкина В. И. Новая лексика. М.: Высш. шк., 1989.
5. The Oxford Dictionary of New Words: A Popular Guide to Words in the News. USA: Oxford University Press, 1991.

*P. A. Polukhina*

#### *MAIN WORD-FORMATION MODELS FOR NEOLOGISMS IN MODERN ENGLISH*

*The article is devoted to analysis of new lexemes in the modern English language. The author emphasizes the complexity of the term «neologism» and represents the neologisms classification. Main word-formation models are considered.*

**Neologism, neologism classification, word-formation, word-forming model**

## Сведения об авторах

*Абатуров Василий Сергеевич*

Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 845-63-22. E-mail: vasilianich@yandex.ru.

*Бекентаева Алия Ахметжановна*

Студентка кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 657-47-86. E-mail: Bekentaeva\_Aliya@mail.ru.

*Ваганов Вячеслав Владимирович*

Заместитель зав. кафедрой полиграфических машин СПбГПУ, канд. техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 294-42-15. E-mail: prvaganov\_spb@mail.ru.

*Верещагин Александр Сергеевич*

Студент кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 024-20-44. E-mail: aleverr@gmail.com.

*Вишнякова Елена Анатольевна*

Аспирантка, ассистент кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 375-60-31. E-mail: vishelena@yandex.ru.

*Воробьев Андрей Игоревич*

Старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

Тел.: +7 (921) 992-90-86. E-mail: vorobiov\_a@inbox.ru.

*Гайворонский Дмитрий Вячеславович*

Доцент кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 924-23-13. E-mail: dvgaivoronschi@rambler.ru.

*Гасников Алексей Олегович*

Младш. науч. сотрудник ЦМИД СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (931) 291-92-94. E-mail: cmid@list.ru.

*Герасимов Игорь Владимирович*

Зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: +7 (921) 313-53-51. E-mail: IVGerasimov@mail.eltech.ru.

*Грубо Елена Олеговна*

Инженер по метрологии ОСНИ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел: (812) 234-02-23. E-mail: helen.grubo@gmail.com.

*Давыденко Елизавета Васильевна*

Доцент кафедры экономической теории СПбГЭТУ, канд. экон. наук.

Тел.: +7 (921) 401-18-29. E-mail: davvas@mail.ru.

*Жукова Наталия Александровна*

Ассистент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: nazhukova@mail.ru.

*Зайцева Надежда Александровна*

Инженер кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: [zajtsevana@gmail.com](mailto:zajtsevana@gmail.com).

*Иванов Александр Васильевич*

Начальник Управления информационных ресурсов, зав. кафедрой полиграфических машин СПбГПУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 552075-26. E-mail: [ivanov@madiabooks.ru](mailto:ivanov@madiabooks.ru).

*Коновалов Сергей Ильич*

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: [SIKonovalov@mail.eltech.ru](mailto:SIKonovalov@mail.eltech.ru).

*Котов Константин Анатольевич*

Оператор печатной машины, СПбГПУ.

Тел.: (812) 352-47-46. E-mail: [konstantan515@mail.ru](mailto:konstantan515@mail.ru).

*Копыльцов Антон Александрович*

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 787-89-25. E-mail: [antonkor@gmail.com](mailto:antonkor@gmail.com).

*Копыльцов Александр Васильевич*

Зав. кафедрой информатики РГПУ им. А. И. Герцена, д-р техн. наук, профессор. Профессор базовой кафедры АНИ при АСОИУ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 401-94-27. E-mail: [kopyl2001@mail.ru](mailto:kopyl2001@mail.ru).

*Королев Павел Геннадьевич*

Доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: [pgkorolev@gmail.com](mailto:pgkorolev@gmail.com).

*Красов Андрей Владимирович*

Доцент кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 999-03-14. E-mail: [krasov@pisem.net](mailto:krasov@pisem.net).

*Кузьменко Андрей Григорьевич*

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: [SIKonovalov@mail.eltech.ru](mailto:SIKonovalov@mail.eltech.ru).

*Кукаев Александр Сергеевич*

Студент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-44-86. E-mail: [Alexander\\_1989@mail.ru](mailto:Alexander_1989@mail.ru).

*Леута Алексей Александрович*

Генеральный директор компании ОАО «Миландр Электрик», доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 952-87-37. E-mail: [leuta@mail.ru](mailto:leuta@mail.ru).

*Лукьянов Дмитрий Павлович*

Профессор кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 346-44-86. E-mail: [dplukyanov@mail.ru](mailto:dplukyanov@mail.ru).

*Лучинин Виктор Викторович*

Зав. кафедрой микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 234-16-82. E-mail: cmid\_leti@mail.ru.

*Марцынюков Сергей Александрович*

Ассистент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ.

Тел.: +7(905) 267-62-67. E-mail: sergm2006@mail.ru.

*Нгуен Минь Дык*

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 230-40-34. E-mail: nguyenminhduc@mail.ru.

*Нгуен Чунг Чау*

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 230-40-34. E-mail: Mickey140280@yahoo.com.

*Нечитайленко Роман Александрович*

Аспирант, инженер кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 209-65-72. E-mail: rnet2005@gmail.com.

*Павловская Ирина Владимировна*

Ассистент кафедры менеджмента систем качества СПбГЭТУ, аспирантка.

Тел.: +7 (904) 632-04-11. E-mail: efess.ss@gmail.com.

*Пинская Дарина Борисовна*

Аспирантка кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 351-32-21. E-mail: daradrozd@mail.ru.

*Полухина Полина Александровна*

Аспирантка кафедры иностранных языков СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 308-41-51. E-mail: p.polukhina@mail.ru.

*Резник Марина Владимировна*

Аспирантка кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 981-51-98. E-mail: voldemar24@yandex.ru.

*Романцова Наталья Владимировна*

Аспирантка кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: hoplit\_87@mail.ru.

*Саенко Игорь Владимирович*

Генеральный директор ЗАО «НПФ „Магнетон Варистор“», канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник.

Тел.: 906-23-17. E-mail: igor@saenko.spb.ru.

*Сафронов Даниил Валерьевич*

Студент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-44-86. E-mail: daniilsafronov@gmail.com.

*Советов Борис Яковлевич*

Зав. кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 234-27-73.

*Степанов Сергей Анатольевич*

Декан факультета экономики и менеджмента, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (812) 346-47-86. E-mail: SAStepanov@mail.eltech.ru.

*Степанов Борис Георгиевич*

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: BGStepanov@mail.eltech.ru.

*Тихонова Ольга Сергеевна*

Студентка кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 965-67-48. E-mail: turcanka2006@rambler.ru.

*Утушкина Анна Вячеславовна*

Студентка кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: anjutka\_stud@mail.ru.

*Филиппов Иосиф Филиппович*

Профессор кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

E-mail: iosif-filippov@mail.ru.

*Филиппова Елена Павловна*

Аспирантка кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-44-86. E-mail: 5541anel@mail.wplus.net.

*Шамарина Екатерина Анатольевна*

Инженер ОАО «Силовые машины», завод «Электросила», магистрант кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.

E-mail: k\_shamarina@mail.ru.

*Шевченко Сергей Юрьевич*

Доцент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-44-86. E-mail: syshevchenko@mail.ru.

*Штанько Сергей Владимирович*

Доцент кафедры космических радиотехнических систем Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 944-84-11. E-mail: craft2001@mail.ru.

*Черниговский Виктор Владимирович*

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 750-89-26.

*Якушенко Евгений Сергеевич*

Аспирант кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 352-99-54. E-mail: yakushenko\_es@mail.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 (статья должна быть объемом 4–8 маш. с., обзорная статья – до 16 маш. с.);
  - сведения об авторе(ах);
  - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
  - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
  - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

*Сведения об авторах должны содержать:*

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

### *Правила оформления текста статьи*

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

- текстовый редактор Microsoft Word версии не ниже 97;
- формат бумаги А4;
- параметры страницы: поля – верхнее 2.5 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 абзачным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Times New Roman» 14 pt; межстрочный интервал одинарный); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

*Перечень авторов* разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Times New Roman» 12 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

*Название статьи* набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman» 14 pt; жирный; выравнивание по левому краю; отступы слева и справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него – 12 pt; межстрочный интервал одинарный).

*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 0.75 см; интервалы перед абзацем и после него 0 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 6 pt, после него 9 pt; межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

➤ *заголовок* «Список литературы» набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 6 pt, после него 6 pt; межстрочный интервал «Одинарный»);

➤ *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» 8 pt, «символ» 14 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; интервалы: перед формулой 6 pt, после нее 6 pt.

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; интервалы: перед таблице 4 pt, после нее 4 pt.

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, 10 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и

обозначения на рисунке даются шрифтом размером 10 pt, индексы 8 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок и номер рисунка даются курсивом. Буквенные обозначения фрагментов рисунка (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) ставятся внизу фрагмента; интервалы: перед рисунком 6 pt, после него 6 pt.

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](mailto:Izvestiya-leti@yandex.ru)