



### СОДЕРЖАНИЕ

#### *Радиоэлектроника и телекоммуникации*

**Васюкова О. Н., Катушкин А. В., Копылов В. В., Лисенков А. В., Шашкин А. К.** Сравнительная оценка методов расчета полосы частот видео- и радиосигналов ..... 3

#### *Физика твердого тела и электроника*

**Степанов Р. М., Мороз С. А.** Пирозлектрические образцы с увеличенной чувствительностью на основе легированной керамики "бария-стронция титанат" ..... 13

**Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н.** Эффект "псевдообъемного" изображения в микрофокусной рентгенографии ..... 18

#### *Информатика, управление и компьютерные технологии*

**Аль-Маджмар Н. А., Молдовян Д. Н.** Схема цифровой подписи над простым полем, основанная на сложности факторизации .... 25

**Писаревский А. С.** Пассивные и активные методики обеспечения самовосстановления в системах управления ..... 29

**Анисимов Д. А.** Автоматизация построения и тестирования программных продуктов в Unix-подобных операционных системах ..... 35

#### *Автоматизация и управление*

**Леута А. А., Прасолин Д. А., Кузнецов М. А., Лукичев А. Н.** Определение объема памяти автоматической системы диагностирования аккумуляторной батареи ..... 41

#### *Электротехника*

**Федоров В. В.** Поле однопроводной линии ..... 47

#### *Приборостроение и информационные технологии*

**Siano S., Bartoli L., Mencaglia A., Salimbeni R., Giamello M., Парфенов В. А.** Исследование фототермических процессов при лазерной очистке каменных памятников (эксперимент) ..... 51

**Аббакумов К. Е., Бритвин В. А., Коновалов Р. С.** Распространение волны Рэлея вдоль границы твердого тела с трещиной ..... 57

#### Редакционный совет

**Пузанков Д.В.** (председатель)

**Кутузов В.М.** (заместитель  
председателя)

**Мейев В.А.** (ответственный  
секретарь)

**Малышев В.Н.**  
(«Радиоэлектроника  
и телекоммуникации»)

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

**Герасимов И.В.**  
(«Информатика, управление и  
компьютерные технологии»)

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

**Прокофьев Г.И.**  
(«Электротехника»)

**Филатов Ю.В.**  
(«Приборостроение и инфор-  
мационно-измерительные  
технологии»)

**Попечителей Е.П.**  
(«Биотехнические системы в  
медицине и экологии»)

**Степанов С.А.**  
(«Управление качеством,  
инновационный и  
антикризисный менеджмент»)

**Маркова О.Ю.**  
(«Гуманитарные науки»)

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

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

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

**Учредитель:**

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

**Свидетельство о регистрации**

ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.  
выдано Управлением Федеральной  
службы по надзору за соблюдением  
законодательства в сфере массовых  
коммуникаций и охране культурного  
наследия по Северо-Западному  
федеральному округу

\*\*\*

**Редакторы**

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

Подписано в печать 08.04.09 г.

Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 12,0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–150 экз.)

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

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

**Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент**

- Степанова М. С., Яценко В. В.** Проблема выбора инструментария менеджмента качества в зависимости от уровня зрелости процессов организации ..... 65
- Сулейманкадиева А. Э.** Концепция "непрерывного обучения организации" как способ трансформации непрерывных организационных знаний ..... 70

**Гуманитарные науки**

- Елькина Е. Е.** Теоретико-методологический анализ социопроективной парадигмы развития современной технической реальности ..... 75

**История науки, образования и техники**

- Малышев М. Н., Мамыкин А. И. Вклад А. С. Попова в совершенствование курса физики в ЭТИ ..... 85
- Сведения об авторах** ..... 89
- Правила представления рукописей авторами** ..... 93

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

**Подписка производится в любом почтовом отделении России**



УДК 621.396.62

*О. Н. Васюкова, А. В. Катушкин,  
В. В. Копылов, А. В. Лисенков, А. К. Шашкин*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ВИДЕО- И РАДИОСИГНАЛОВ

*Рассматриваются методы расчета полосы частот видео- и радиосигналов. Приводятся примеры применения данных методов для некоторых сигналов. Дается сравнительная оценка полученных количественных данных.*

**Полоса частот импульсных сигналов, эффективная ширина полосы частот, методы оценки полосы частот, база сигнала, оценка значения базы сигнала**

Полоса частот, занимаемая сигналом, является одной из основных характеристик, учитываемых в процессе проектирования как устройств обработки сигналов, так и каналов передачи сообщений.

Далее приведены 5 наиболее часто используемых способов определения полосы частот и соответствующие расчеты для некоторых импульсов [1], [2].

1. Наиболее простой способ ограничения полосы частот сигнала – ограничение его эффективного значения

$$F_3 = \left[ \frac{1}{E2\pi} \int_{G_\omega} (\omega - \omega_{cp})^2 |g(\omega)|^2 d\omega \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $g(\omega)$  – комплексный спектр сигнала;  $G_\omega$  – область изменения частоты сигнала;

$$\omega_{cp} = \frac{1}{E} \int_{G_\omega} \omega |g(\omega)|^2 d\omega;$$

$$E = \int_0^T h^2(t) dt.$$

Ограничения полосы частот могут быть заданы одной из форм:

$$F_{\Omega} = F_0 \text{ или } F_{\Omega} \leq F_0, \quad (2)$$

где  $F_0$  – заданное значение полосы частот сигнала.

2. Модифицируем ограничение (2), представив его в виде функций, зависящих от  $t$ . На основании преобразования Фурье справедливо:

$$\begin{aligned} g(\omega) &= \int_T h(t) e^{-j\omega t} dt, \\ h(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{G_{\omega}} g(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Запишем соотношение (1), раскрыв скобки под знаком интеграла:

$$F_{\Omega}^2 = \frac{1}{2\pi E} \int_{G_{\omega}} \omega^2 |g(\omega)|^2 d\omega - \frac{\omega_{\text{ср}}}{2\pi} \left( \frac{2}{E} - 1 \right). \quad (4)$$

Преобразуем  $h(t)$  из (3) таким образом, чтобы получить первое слагаемое выражения (4):

$$\dot{h}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{G_{\omega}} (j\omega) g(\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

тогда

$$(j\omega) g(\omega) = \int_T \dot{h}(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Отсюда, на основании соотношения Парсеваля,

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_{G_{\omega}} |g(\omega)|^2 d\omega = \int_T h^2(t) dt,$$

получим

$$\frac{1}{2\pi} \int_{G_{\omega}} |(j\omega) g(\omega)|^2 d\omega = \int_T \dot{h}^2(t) dt,$$

или

$$\frac{1}{2\pi} \int_{G_{\omega}} \omega^2 |g(\omega)|^2 d\omega = \int_T \dot{h}^2(t) dt. \quad (5)$$

Сравнивая соотношения (5) и (4) окончательно получим

$$F_{\Omega} = \left[ \frac{1}{E} \int_T \dot{h}^2(t) dt - \frac{1}{2\pi} \omega_{\text{ср}} \left( \frac{2}{E} - 1 \right) \right]^{1/2}.$$

3. Для этого типа ограничения по полосе частот обратимся к зависимости корреляционной функции от энергетического спектра – соотношению Винера–Хинчина

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi E} \int_0^{\infty} |g(\omega)|^2 \cos(\omega\tau) d\omega. \quad (6)$$



Тогда на основании (6):

$$\dot{R}(\tau) = -\frac{1}{2\pi E} \int_0^{\infty} \omega |g(\omega)|^2 \sin(\omega\tau) d\omega,$$

откуда

$$\begin{aligned} \dot{R}(0) &= 1, \\ \ddot{R}(\tau) &= -\frac{1}{2\pi E} \int_0^{\infty} \omega^2 |g(\omega)|^2 \cos(\omega\tau) d\omega, \\ \ddot{R}(0) &= -\frac{1}{2\pi E} \int_0^{\infty} \omega^2 |g(\omega)|^2 d\omega. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\ddot{R}(0) = -F_3.$$

4. Определение полосы по уровню 0,7 энергетического спектра.

Энергетический спектр:  $W(\omega) = \frac{|g(\omega)|^2}{E}$ .

5. Ширина полосы частот определяется заданной долей энергии сигнала, заключенной в этой полосе. Т. е. задается доля энергии импульсного сигнала  $\eta$  (например,  $\eta = 0,99$ ), содержащейся в искомой ширине полосы частот  $[-\Delta f / 2, \Delta f / 2]$ . Аналитически это можно записать как

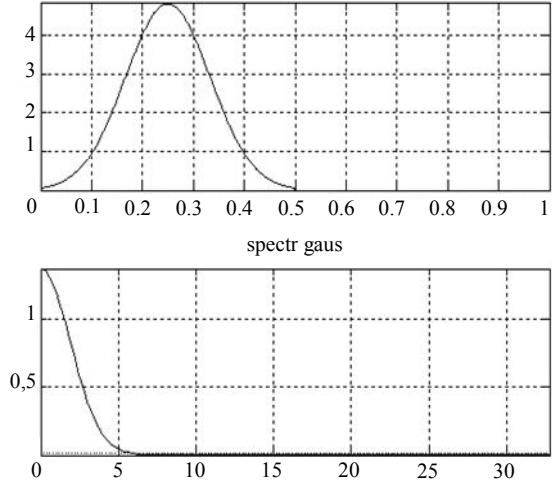
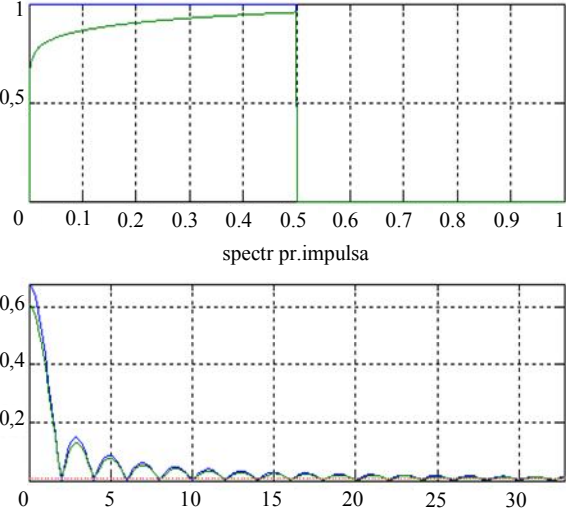
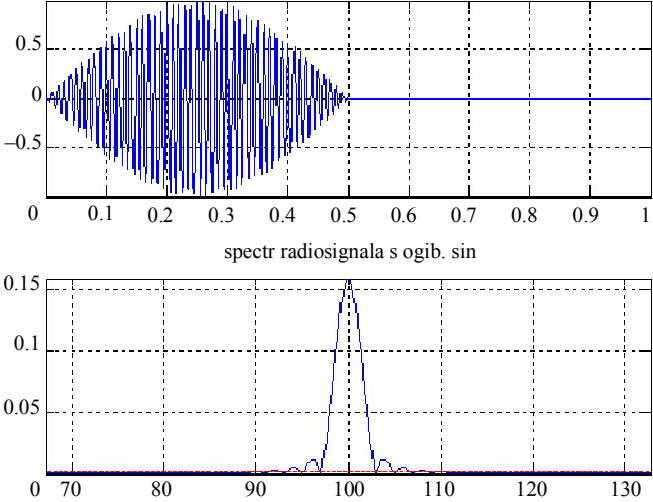
$$\int_{-\Delta f / 2}^{\Delta f / 2} (g(\omega))^2 d\omega = \eta \int_{-\infty}^{\infty} (g(\omega))^2 d\omega. \quad (7)$$

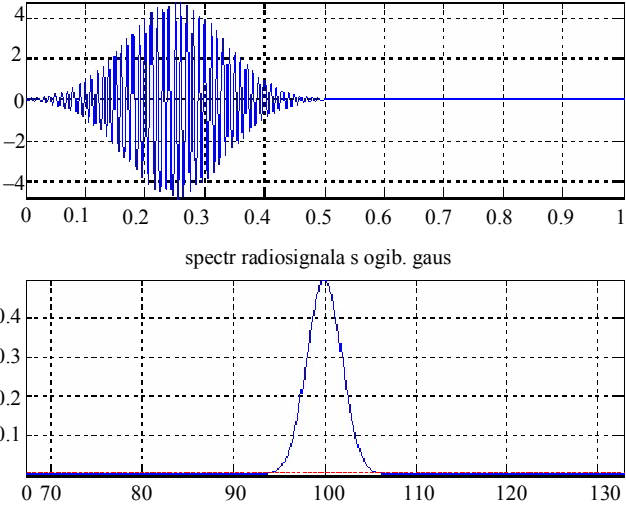
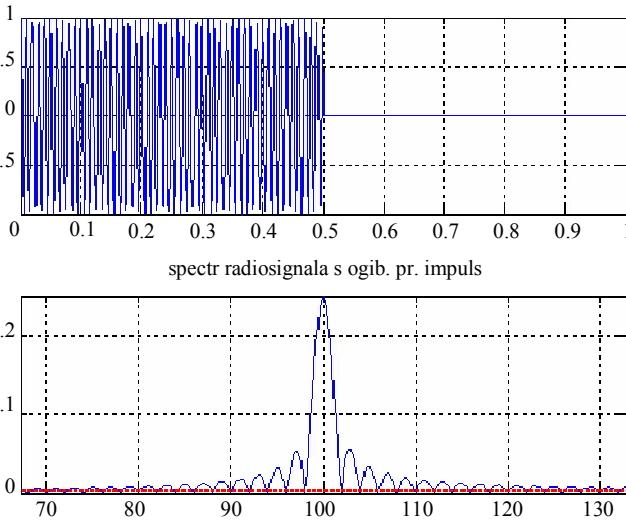
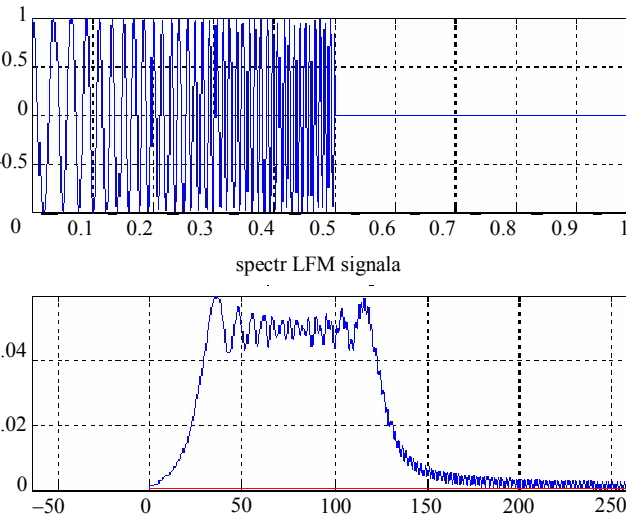
Из (7) для заданного значения  $\eta$  и определенного  $g(\omega)$  находится ширина полосы частот  $\Delta f$ .

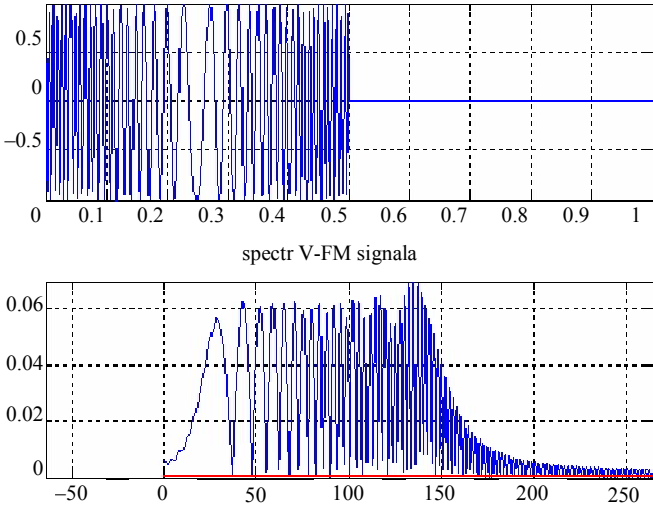
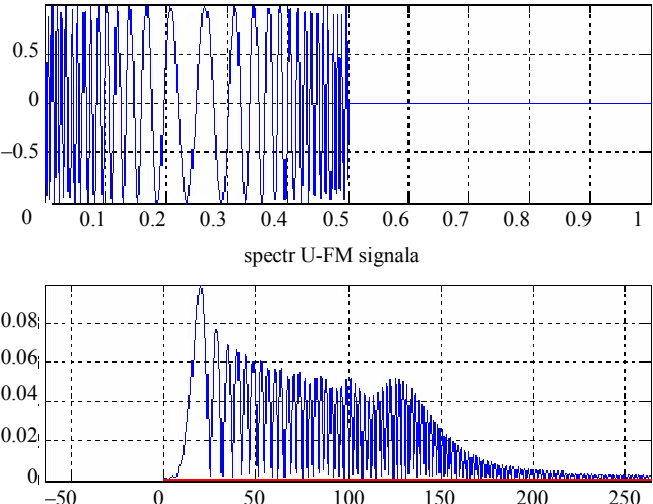
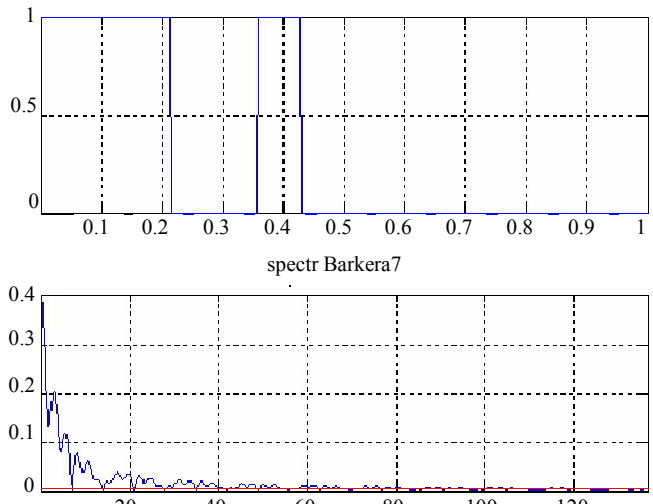
Виды рассматриваемых сигналов приведены в табл. 1.

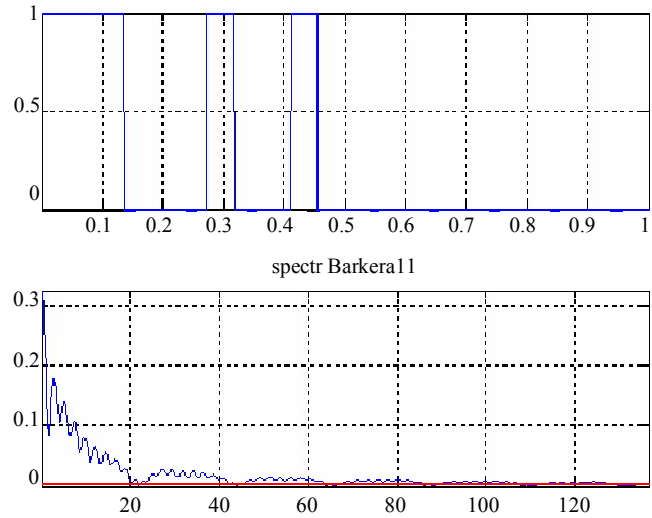
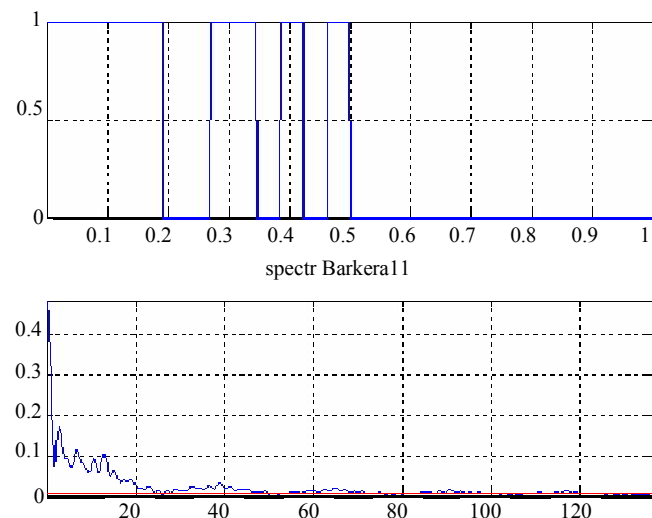
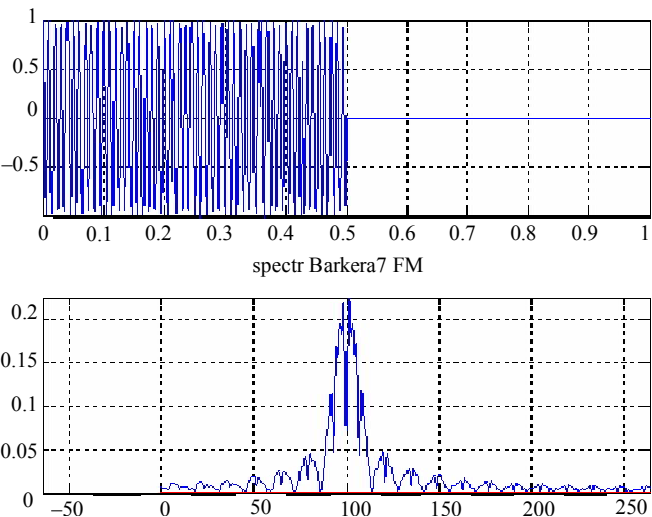
Таблица 1

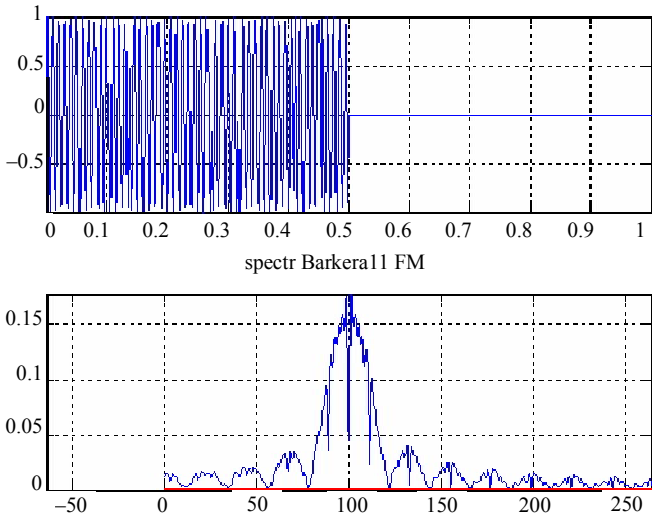
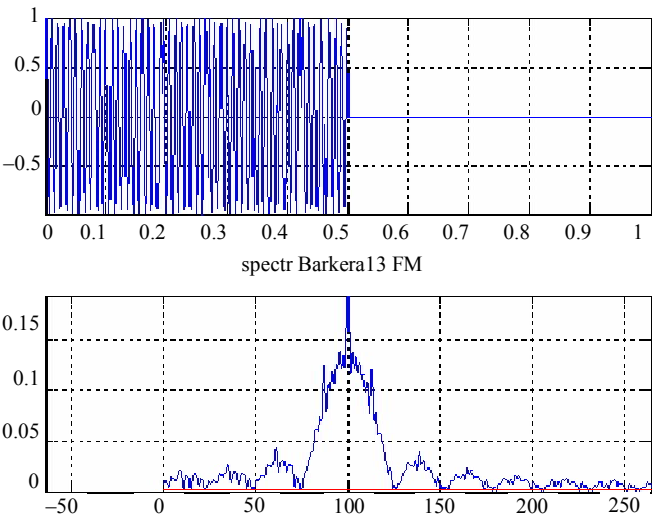
№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
1	Полусинусоида: $h_1(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right)$	

№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
2	<p>“Колокол”:</p> $h_2(t) = \frac{6}{T\sqrt{2\pi}} \times \exp\left(-18\left(\frac{t-0.5T}{T}\right)^2\right)$	 <p>The top plot shows the time-domain signal, a Gaussian pulse centered at <math>t = 0.5</math> with a peak value of approximately 4.5. The x-axis ranges from 0 to 1, and the y-axis from 0 to 4. The bottom plot shows the frequency spectrum, which is also a Gaussian curve centered at 0 Hz, with a peak value of 1. The x-axis ranges from 0 to 30, and the y-axis from 0 to 1. The label 'spectr gauss' is centered below the plots.</p>
3	<p>Прямоугольный импульс: <math>h_3(t) = 1</math></p>	 <p>The top plot shows the time-domain signal, a rectangular pulse of height 1 from <math>t = 0</math> to <math>t = 0.5</math>. The x-axis ranges from 0 to 1, and the y-axis from 0 to 1. The bottom plot shows the frequency spectrum, which is a sinc function centered at 0 Hz, with a peak value of 0.5. The x-axis ranges from 0 to 30, and the y-axis from 0 to 0.6. The label 'spectr pr. impulsa' is centered below the plots.</p>
4	<p>Радиосигнал с огибающей “полусинус”:</p> $h_4(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) \cos\left(50\frac{2\pi t}{T}\right)$	 <p>The top plot shows the time-domain signal, a sinusoidal wave with a frequency of 50 cycles over the interval <math>[0, 1]</math>, whose amplitude is modulated by a half-sine wave. The x-axis ranges from 0 to 1, and the y-axis from -0.5 to 0.5. The bottom plot shows the frequency spectrum, which consists of two main peaks at approximately 50 Hz and 45 Hz, with a total peak value of 0.15. The x-axis ranges from 0 to 130, and the y-axis from 0 to 0.15. The label 'spectr radiosignala s ogib. sin' is centered below the plots.</p>

№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
5	<p>Радиосигнал с огибающей “колокол”:</p> $h_5(t) = h_2(t) \cos\left(50 \frac{2\pi t}{T}\right)$	 <p>spectr radiosignala s ogib. gaus</p>
6	<p>Радиосигнал с огибающей “прямоугольник”:</p> $h_6(t) = h_3(t) \cos\left(50 \frac{2\pi t}{T}\right)$	 <p>spectr radiosignala s ogib. pr. impuls</p>
7	<p>ЛЧМ-сигнал (база = 13):</p> $h_7(t) = \cos(2\pi F(t)t)$ $F(t) = \frac{(f_2 - f_1)}{T}t + f_1$	 <p>spectr LFM signala</p>

№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
8	<p>Сигнал с V-образной ЧМ (база = 13):  <math>h_8(t) = \cos(2\pi F(t)t)</math></p> $F(t) = \begin{cases} 2 \frac{f_1 - f_2}{T} t + f_2, & t < \frac{T}{2} \\ 2 \frac{f_2 - f_1}{T} t + 2f_1 - f_2, & t > \frac{T}{2} \end{cases}$	
9	<p>Сигнал с U-образной ЧМ (база = 13):  <math>h_9(t) = \cos(2\pi F(t)t)</math></p> $F(t) = 4 \frac{f_2 - f_1}{T^2} t^2 + 4 \frac{f_1 - f_2}{T} t + f_2$	
10	<p>Сигнал Баркера с числом позиций, равным 7:  <math>[1, 1, 1, 0, 0, 1, 0]</math></p>	

№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
111	<p>Сигнал Баркера с числом позиций, равным 11: [1,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0]</p>	 <p>The figure consists of two vertically stacked plots. The top plot is a time-domain representation showing a signal that is zero for most of the interval [0, 1] but has sharp vertical pulses at specific time intervals. The pulses occur at approximately 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5. The y-axis ranges from 0 to 1. The bottom plot is a frequency spectrum plot. The x-axis represents frequency from 0 to 120, and the y-axis represents amplitude from 0 to 0.3. The spectrum shows a prominent peak at 0 Hz and several smaller side lobes on either side, characteristic of a Barker code.</p>
12	<p>Сигнал Баркера с числом позиций, равным 13: [1,1,1,1,1,0,0,1,1,0,1,0,1]</p>	 <p>The figure consists of two vertically stacked plots. The top plot is a time-domain representation showing a signal with sharp vertical pulses at approximately 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, and 0.9. The y-axis ranges from 0 to 1. The bottom plot is a frequency spectrum plot. The x-axis represents frequency from 0 to 120, and the y-axis represents amplitude from 0 to 0.4. The spectrum shows a main peak at 0 Hz and side lobes.</p>
13	<p>Радиосигнал Баркера с числом символов, равным 7: [1,1,1,0,0,1,0]</p>	 <p>The figure consists of two vertically stacked plots. The top plot is a time-domain representation showing a high-frequency sinusoidal signal that is present only during the first half of the interval [0, 1]. The y-axis ranges from -0.5 to 1. The bottom plot is a frequency spectrum plot. The x-axis represents frequency from -50 to 250, and the y-axis represents amplitude from 0 to 0.2. The spectrum shows a main peak at 100 Hz and side lobes on both sides.</p>

№	Описание сигнала ( $t \in [0, T]$ )	Временное и спектральное представления
14	Радиосигнал Баркера с числом символов, равным 11: [1,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0]	 <p style="text-align: center;">spectr Barkera11 FM</p>
15	Радиосигнал Баркера с числом символов, равным 13: [1,1,1,1,1,0,0,1,1,0,1,0,1]	 <p style="text-align: center;">spectr Barkera13 FM</p>

Значения ширины полос частот для сигналов из табл. 1, рассчитанные для приведенных ранее способов, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер сигнала из табл. 1	Способ определения ширины полосы частот				
	1	2	3	4	5
1	0,38	0,63	0,02	0,85	0,90
2	0,52	0,85	0,56	1,18	1,22
3	0,55	4,05	0,03	0,65	1,00

Номер сигнала из табл. 1	Способ определения ширины полосы частот				
	1	2	3	4	5
4	14,60	58,45	41,28	1,85	1,80
5	14,63	61,27	558,94	2,20	2,30
6	14,45	60,20	81,81	1,50	1,65
7	11,99	44,67	110,28	30,00	33,00
8	15,97	52,13	120,67	40,00	38,00
9	16,39	40,94	80,27	40,00	39,00
10	1,51	10,61	0,04	3,50	3,30
11	2,24	14,94	0,04	5,50	4,50
12	2,17	14,04	0,04	5,00	4,80
13	4,38	18,15	317,95	11,00	10,90
14	5,31	19,35	306,55	14,00	16,80
15	6,00	19,48	300,26	15,00	17,20

Определение ширины полосы частот 5-м способом практически наиболее целесообразно, так как не зависит от формы энергетического спектра. Значения ширины для этого способа, как видно из табл. 2, близки к значениям, полученным 4-м способом, для сигналов, спектр которых близок к прямоугольной форме. Значения ширины полос частот, полученные этими способами, можно принять в качестве базовых.

Первый способ оценки полосы частот в пределах порядка совпадает с результатами, полученными способами 4 и 5.

Второй способ удобен при аналитических выкладках, так как полностью определяется функцией времени, т. е. все расчеты можно выполнять в рамках одного аргумента – времени. Однако для радиоимпульсов этот способ приводит к большим разбросам относительно результатов, полученных на основе 4-го и 5-го способов.

Третий способ, видимо, можно применять только для «гладких» форм видеоимпульсов. По расчетам это выполняется для колоколообразного импульса. Для других форм импульсов отличия вычисленных значений ширины полос частот от значений, полученных способами 4 и 5, весьма существенны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миддлтон Д. Введение в теорию связи. М.: Сов. радио, 1960.
2. Гоноровский И. С. Теоретические основы радиотехники. М.: Радио и связь, 2008.

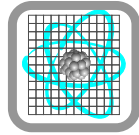
*O. N. Vasiukova, A. V. Katushkin, V. V. Copilov, A. V. Lisenkov, A. K. Shashkin*

## **The Comparative Estimation of Methods of Calculation of a Strip of Frequencies Video- and Radio Signals**

*In clause applied methods of calculation of a strip of frequencies video- and radio signals are considered. Examples of application of these methods of calculation of a strip of frequencies for some signals are resulted. The comparative estimation of received quantitative data is given.*

**A strip of frequencies of pulse signals, effective size of a strip of frequencies, methods of an estimation of a strip of frequencies, base of a signal, an estimation of size of base of a signal**





УДК 536.51

*Р. М. Степанов, С. А. Мороз*

## **ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОБРАЗЦЫ С УВЕЛИЧЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ, НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ «БАРИЯ-СТРОНЦИЯ ТИТАНАТ»**

*Рассмотрена технология изготовления пирозлектрических образцов. Изложены методы измерения образцов BST-керамики с легирующими компонентами. Сделан анализ экспериментальных и рассчитанных параметров и показана возможность повышения чувствительности пирозлектрических матриц в диапазоне до 14 мкм и более.*

**Пирозлектрик, BST-керамика, пирозлектрический коэффициент, критерий качества, чувствительность**

В инфракрасной технике актуальной задачей является создание неохлаждаемой высокочувствительной многоэлементной матрицы, которая определяет чувствительность тепловизионных приборов, используемых в различных сферах науки и техники. Чувствительность определяется качеством и свойствами материала, которые используются при создании матрицы. Из анализа тепловизионных приемников и исследований чувствительного материала в инфракрасном спектре можно сделать вывод о целесообразности использования легированной пирозлектрической керамики для создания высокочувствительной матрицы [1], [2].

Пирозлектрический приемник состоит из чувствительного элемента, характеризующегося общей теплоемкостью, который соединен со считывающей схемой, находящейся при фиксированной температуре. Тепловая постоянная времени, определяемая отношением теплоемкости к теплопроводности, равна 10 мс. Благодаря специальным технологическим приемам и конструктивным решениям удается уменьшить тепловые потери и достичь значения теплопроводности менее  $0,8 \cdot 10^{-6}$  Вт/К [3]. Для повышения чувствительности используются образцы пирозлектрической керамики BST, легированные различными примесями [2].

Образец состоит из пирозлектрической пластины, электродов и деталей крепления. Подготовка образцов осуществлялась по методу «воска», т. е. на планчик наносился воск, на него помещалась керамическая пластина. Воск расплавлялся в термостате, и при остывании керамическая пластина приклеивалась к планчику.

Образец шлифовался, полировался, после чего проводилась очистка и обезжиривание керамической поверхности в деионизованной воде. Затем на внешнюю поверхность керамической пластины напылялся металлический электрод площадью  $12 \text{ мм}^2$  толщиной  $0,1 \dots 0,3 \text{ мкм}$ .

На металлическое кольцо методом термокомпрессии приклеивалась полиэтилентерефталатная пленка, толщиной  $1 \dots 3 \text{ мкм}$ . Затем регулировалась степень натяжения пленки (рис. 1).

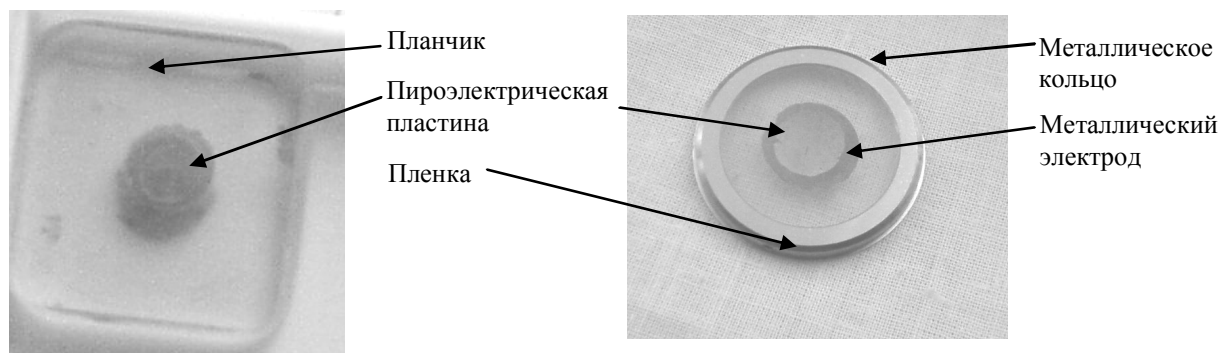


Рис. 1

На пленку наносилась клеевая токопроводящая основа, которая соединялась с металлическим электродом керамического образца. Планчик с пирозлектрической пластиной повторно помещался в термостат. При нагревании воск расплавлялся, в результате происходило отсоединение от планчика и освобождалась поверхность для нанесения электрода. После полировки и предварительной очистки поверхности напылялся второй металлический электрод на внутренней поверхности кристалла со стороны подложки. Поскольку емкость используемых торцевых пластин мала, применялись плоские электроды. Выводы чувствительного элемента соединялись специальным клеем с токопроводящей фольгированной пленкой (один вывод с металлического кольца, второй – с металлического напыленного электрода). Металлическое кольцо для измерения параметров вставлялось в специально отведенное место установки крепления и регулировки.

Для проверки методики измерения и погрешности измерительного стенда были протестированы импортные образцы IRA 700STO. Измерительный стенд состоит из приемного модуля, в котором находится пирозлектрический образец, платы для предварительного усиления и обработки сигнала, черного тела, блоков питания и измерительных приборов.

Результаты измерения эталонного образца совпали с паспортными данными. Чувствительность при измерении IRA 700STO составила  $3,8 \text{ мВ}$  при  $1 \text{ Гц}$ , что соответствовало паспортным данным с допустимой погрешностью  $10 \%$ .

По предложенной методике измерялась чувствительность пирозлектрических образцов, которые имели следующие параметры [2]:

- значение пирозлектрического коэффициента не менее  $300 \text{ нКл}/(\text{см}^2 \cdot \text{К})$ ;
- тангенс угла диэлектрических потерь не более  $0,03$ ;
- фактор качества не менее  $0,8 \cdot 10^{-4} \text{ В}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- рабочая температура  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- размер зерна не более  $2 \text{ мкм}$ ;
- пористость не более  $7 \%$ .

На выходе чувствительного элемента (ЧЭ) для снятия сигналов и его последующего усиления предусмотрен КМОП-транзистор. При воздействии теплового излучения на ЧЭ на входе транзистора благодаря пирозффекту возникает соответствующий электрический сигнал, который преобразуется усилителем.

На рис. 2 (а и б соответственно) показаны одно- и двухэлементные пирозлектрические образцы, где обозначены: 1 – чернь; 2 – полупрозрачный электрод; 3 – металлический электрод; 4 – внешние выводы от электродов.

Одноэлементные образцы BST-1E имеют толщину 20 мкм, площадь 5 мм<sup>2</sup> (рис. 2, а), а двухэлементные образцы BST-2E – толщину 20 мкм, площадь 1,2 мм<sup>2</sup> (рис. 2, б).

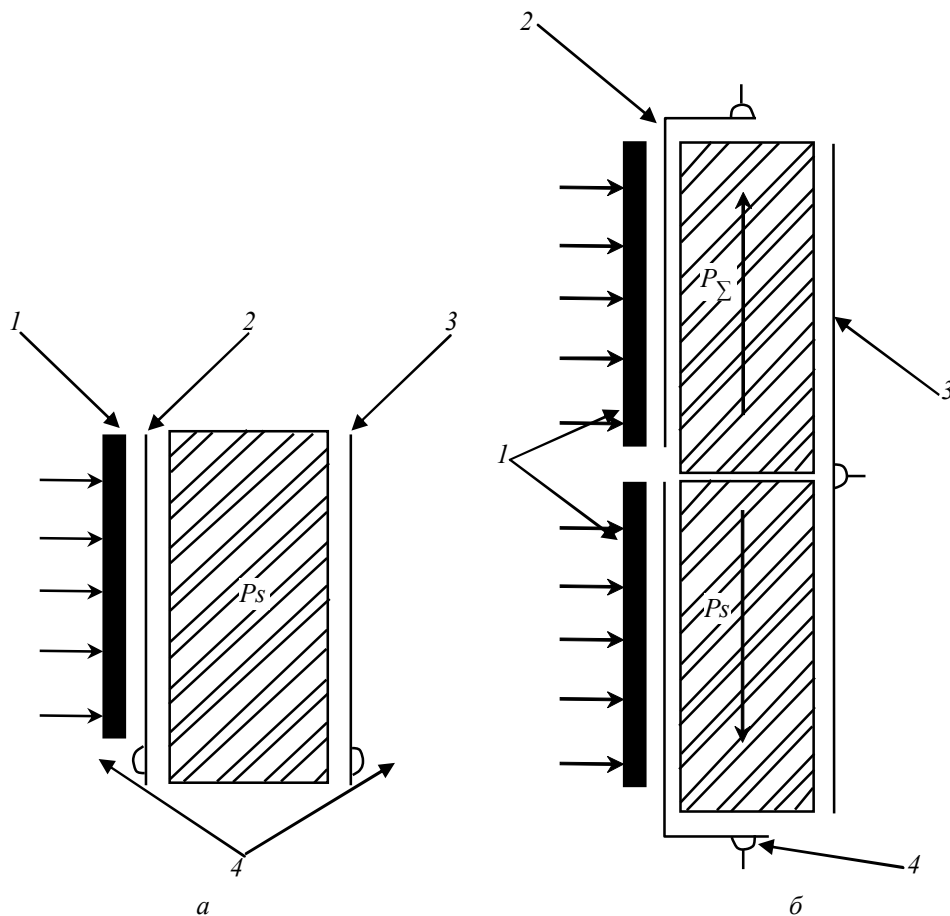


Рис. 2

Измерение осуществлялось с помощью устройства, функциональная схема которого приведена на рис. 3.

Установка состоит из осциллографа, усилителя сигналов, механического прерывателя и черного тела. Оптический диапазон задавался германиевым фильтром. Перед измерением тестовых образцов схема измерения и усиления настраивалась с помощью генератора импульсов Г5-54. Образец устанавливался в специальное место для измерения сигнального заряда с последующим преобразованием его в напряжение.

На принципиальной схеме (рис. 4) показан каскад чувствительного элемента с истоковым повторителем и каскад усилителя, дополнительно создана схема температурной стабилизации. Сигнал с чувствительного элемента выделяется на нагрузочном сопротивлении  $R_1$ , которое также является сопротивлением утечки транзистора. Конденсатор  $C$  слу-

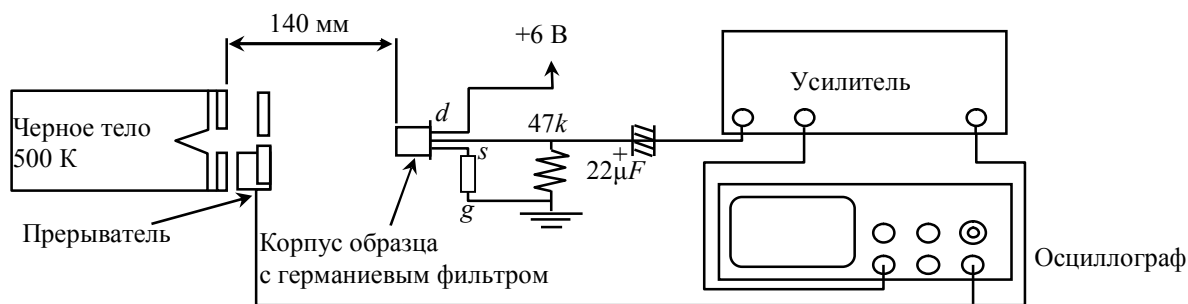


Рис. 3

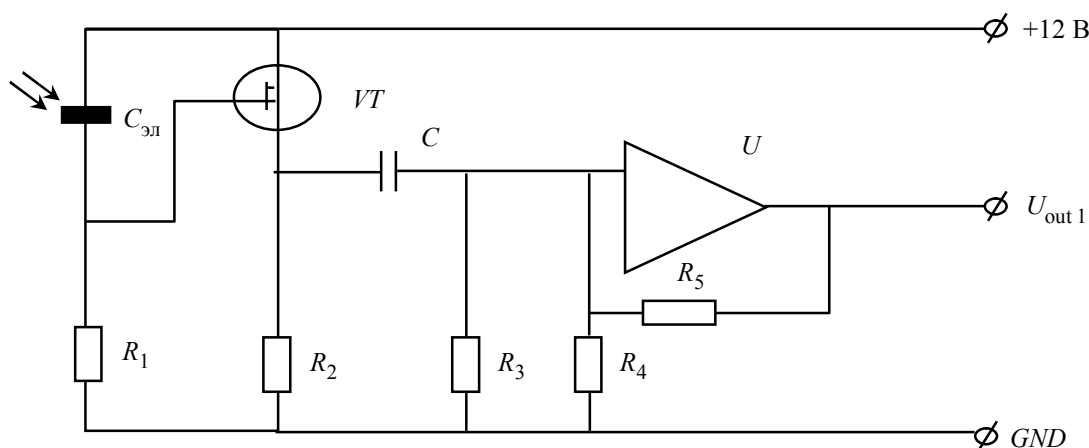


Рис. 4

жит для передачи переменной составляющей на вход предусилителя и развязки истокового повторителя и предусилителя по постоянному току. Резисторы  $R_4$  и  $R_5$  определяют коэффициент усиления операционного усилителя.

Приведенная схема позволила без применения резистора установки нуля получить коэффициент усиления до 300. При измерении образца BST-1E, размер элемента которого  $2,5 \times 2$  мм, чувствительность составила 57 В/Вт, при частоте прерывателя 1 Гц, электрическое сопротивление 10 кОм. При измерении образца BST-2E, размер элемента которого  $1,2 \times 1(2)$  мм, чувствительность составила 42 В/Вт, при частоте прерывателя 1 Гц, электрическое сопротивление 23 кОм. Оптический диапазон определялся германиевым фильтром и составлял 2...14 мкм.

На основе измеренного пирозлектрического образца рассчитывались одно- и двух-элементный приемники.

Вольтовая чувствительность пирозлектрического приемника определяется как

$$S = \frac{\varepsilon K}{G(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = 95\%$  – поглощательная способность ЧЭ приемника;  $K = \Delta V / \Delta T$  – коэффициент преобразования приращения температуры ЧЭ  $\Delta T$  в изменение напряжения на выходе приемника  $\Delta V$ ;  $G = 8 \cdot 10^{-7}$  Вт/К – тепловая проводимость между ЧЭ и окружающей средой;  $\omega = 1$  Гц – круговая частота модуляции излучения;  $\tau = 10$  мс – тепловая постоянная времени приемника.

По формуле (1) определяем вольтовую чувствительность  $S = 120$  В/Вт для приемника BST-1E, площадь которого составляет  $5 \text{ мм}^2$ .

Постоянная времени теплового приемника определяется выражением  $\tau = C/G$ , где  $\tau = 10$  мс для BST;  $C = 0,8$  нДж/К – теплоемкость ЧЭ;  $G = 8 \cdot 10^{-7}$  Вт/К.

Для пироэлектрического приемника коэффициент преобразования имеет вид

$$K = \frac{\gamma A \omega R}{(1 + \omega^2 \tau_e^2)^{1/2}}, \quad (2)$$

где  $\gamma = \frac{dp}{dT} = 300$  нКл/(см<sup>2</sup> · К) – пироэлектрический коэффициент материала ЧЭ ( $p$  – дипольный момент);  $A$  – площадь приемника;  $\tau_e = RC_e$  – электрическая постоянная времени ( $C_e$  – электрическая емкость ЧЭ).

Термочувствительный элемент приемного пикселя должен иметь как можно больший коэффициент преобразования приращения температуры в напряжение (или ток) на выходе приемника. Для этого необходимо использование пироэлектриков с наибольшим соотношением пирокоэффициента к диэлектрической проницаемости материала [3].

Уменьшение тепловой проводимости чувствительного элемента с базой требует уменьшения его теплоемкости, если постоянная времени приемника задана. При  $\tau = 10$  мс и  $G = 10^{-7}$  Вт/К необходима  $C = 10^{-9}$  Дж/К. Термочувствительный элемент приемного пикселя помимо малой теплоемкости должен иметь как можно больший коэффициент преобразования  $K$ . Поглощающий элемент пикселя обеспечивает коэффициент поглощения близкий к 100 % в спектральном диапазоне 2...14 мкм за счет поглощающей черни, нанесенной на поверхность приемной стороны образцов. Параметры пироэлектрического образца на основе легированной BST-керамики представлены в таблице.

№ п/п	Тип	Пироэлектрический коэффициент, нКл/(см <sup>2</sup> · К)	Вольтовая чувствительность, В/Вт		Шумовое напряжение на выходе, мВ	Тепловая проводимость, Вт/К	Коэффициент преобразования
			измеренная	рассчитанная			
1	BST-1E	300	77	120	0,96	$8 \cdot 10^{-7}$	$45 \cdot 10^{-4}$
2	BST-2E	280	62	105	1,05	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$53 \cdot 10^{-4}$

Исследование пироэлектрических одно- и двухэлементных образцов с увеличенной чувствительностью показывает, что при пироэлектрическом коэффициенте 300 нКл/(см<sup>2</sup> · К) с диэлектрической проницаемостью 12 500 возможно получить критерий качества более 444,69 [4]. Вольтовая чувствительность достигает 120 В/Вт для одноэлементного образца. Пористость и размер зерна влияет на диэлектрическую проницаемость и, соответственно, на характеристики пироэлектрической матрицы. Поэтому в технологии изготовления материала особое внимание уделялось этим параметрам. Рассчитанная вольтовая чувствительность отличается в  $\approx 1,6$  раза от измеренных параметров. Это объясняется суммарными шумами измерительного стенда, наличием теплообмена образца с окружающей средой, шумом усилительного каскада, который не учитывался в расчете, и свидетельствует о возможности дальнейшего увеличения реальной чувствительности.

Результаты измерения и расчетов показали, что использование современной технологии изготовления пироэлектрического материала, позволит создать неохлаждаемую многоэлементную матрицу с повышенной чувствительностью в диапазоне до 14 мкм и более.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Р. М., Мороз С. А. Анализ современного развития приемников инфракрасного излучения в диапазоне 8–14 мкм. СПб.: Петерб. электроника, 2007. Вып. 1(42). С. 68–71.
2. Пат. на изобр. № 2326856, РФ 2008 / Степанов Р. М., Ротенберг Б. А., Мороз С. А. Керамический пирозлектрический материал для неохлаждаемых приемников инфракрасного излучения.
3. Хребтов И. А., Маляров В. Г. Неохлаждаемые тепловые матричные приемники ИК излучения // Оптический журнал. 1997. Т. 64, № 6. С. 3–5.
4. Свойства пирозлектрических материалов для многоэлементной матрицы диапазона 8–14 мкм / Б. А. Ротенберг, Р. М. Степанов, Л. В. Светлова и др. СПб.: Петерб. электроника. 2007. Вып. 4(45). С. 48–58.

*R. M. Stepanov, S. A. Moroz*

### *PYROELECTRIC SAMPLES OF DOPPED BARIUM STRONTIUM TITANIUM CERAMICS WITH INCREASED SENSITIVITY*

*The technology process of pyroelectric samples was considered. Methods of the measurement of BST ceramic with alloying components samples were in-process stated. The analysis of the experimental and designed parameters was made and the capability of the sensitization of pyroelectric matrixes over the range up to 14  $\mu\text{m}$  and more was confirmed.*

**Pyroelectric, BST ceramics, pyroelectric factor, the criterion of performance, sensitivity**

УДК 621.384.6

***Н. Н. Потрахов, А. Ю. Грязнов, Е. Н. Потрахов***

## **ЭФФЕКТ «ПСЕВДООБЪЕМНОГО» ИЗОБРАЖЕНИЯ В МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ**

*Рассмотрен механизм возникновения псевдообъемного теневого рентгеновского изображения при реализации методов микрофокусной рентгенографии. Показано, что применение микрофокусной съемки позволяет значительно повысить информативность рентгеновского снимка за счет получения новой и дополнительной диагностической информации.*

**Микрофокусная рентгенография, псевдообъемное изображение, диагностика костных структур**

Открытым К. В. Рентгеном в 1895 году «X-лучам» очень быстро нашлось практическое применение. Известно, что уже в 1896 году изобретатель радио А. С. Попов лично произвел просвечивание раненного ружейной дробью. В том же году при содействии главного врача Кронштадтского военного госпиталя он организовал первый на флоте рентгеновский кабинет [1]. В русско-японскую войну 1904–1905 годов при армейских лазаретах и госпиталях рентгеновские кабинеты были развернуты на местах боевых действий. Во время Цусимского сражения 19 мая 1905 года по инициативе старшего врача крейсера «Аврора» В. С. Кравченко впервые в боевой обстановке непосредственно на борту корабля производились рентгенологические обследования раненых. По многочисленным свидетельствам современников «рентгеновский метод» хорошо зарекомендовал себя в первую очередь при диагностике пулевых и осколочных ранений [2].

С целью облегчения поисков в теле пациента инородных предметов размеры получаемых рентгеновских изображений различных органов должны были быть максимально приближены к истинным анатомическим размерам этих органов. На начальном этапе развития медицинской рентгенографии достичь этого можно было, лишь используя схему съемки с большого фокусного расстояния. Другими словами, располагая рентгеновский аппарат на значительном удалении (метр-полтора и более) от пациента, добиваясь тем самым практически параллельного потока излучения. Полученные

рентгеновские изображения характеризовались как теневые или проекционные, поскольку содержали тени (проекции) от всех анатомических структур, попавших в поле облучения. Сложность для расшифровки получающихся теневых картин, вследствие наложения друг на друга отдельных изображений, не имела принципиального значения при поиске и определении положения таких рентгеноконтрастных предметов, как металлические пули или осколки, а также при диагностике переломов отдельных костей.

Однако в связи с общим развитием медицины все актуальнее становилась задача выявления мелких деталей изображения с целью более ранней и точной установки диагноза заболеваний, связанных уже с органическими изменениями в органах и тканях больного.

### Материалы и методы:

1. Одним из критериев оценки качества изображения детали строения просвечиваемого органа на рентгеновских снимках является контраст изображения, который характеризуется нормированной разностью интенсивности рентгеновского излучения за двумя участками органа, один из которых содержит эту деталь [3]. Нормирование производится на величину интенсивности излучения за однородным участком органа или, как принято говорить, в области фона рентгеновского изображения:

$$K = \frac{J_1 - J_2}{J_1},$$

где  $K$  – контраст рентгеновского изображения детали;  $J_1, J_2$  – соответственно, интенсивность рентгеновского излучения за однородным участком органа и за участком, содержащим деталь.

Модель для оценки контраста изображения детали просвечиваемого органа представлена на рис. 1. Пусть в объекте толщиной  $h$ , линейный коэффициент ослабления материала которого для параллельного пучка монохроматического излучения равен  $\mu_1$ , имеется деталь толщиной  $d$  с линейным коэффициентом ослабления  $\mu_2$ , причем  $d \ll h$ , а  $\mu_1 \neq \mu_2$ .

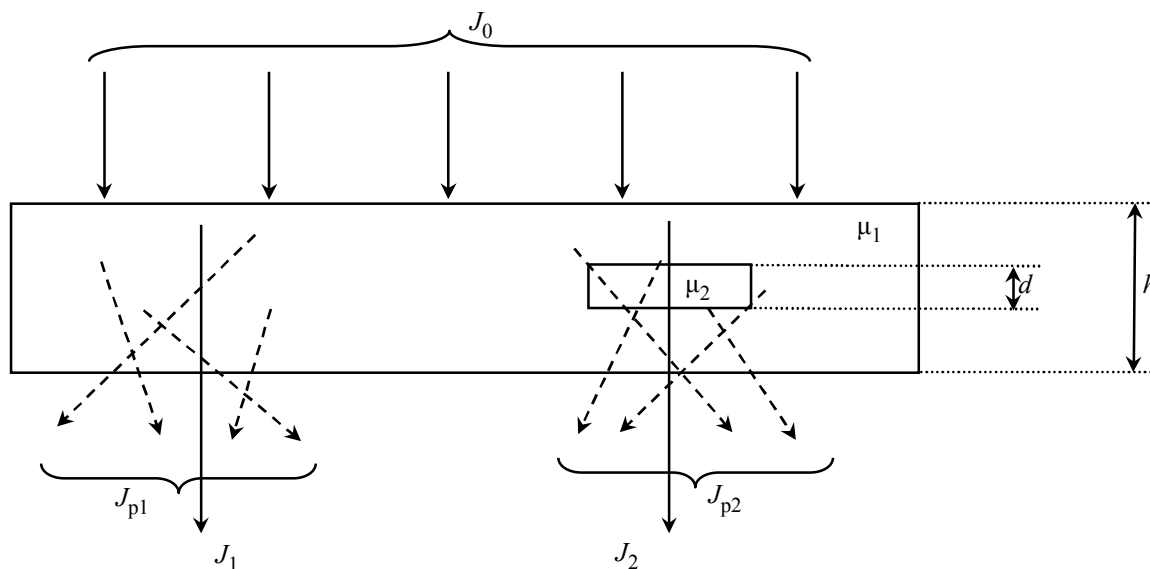


Рис. 1

Интенсивность излучения  $J_1$ , прошедшего через объект в том месте, где он однороден, может быть описана выражением

$$J_1 = J_0 e^{-\mu_1 h} + J_{p1} = J_0 \chi e^{-\mu_1 h},$$

где  $J_0$  – интенсивность рентгеновского излучения на поверхности объекта;  $J_1$  – интенсивность рентгеновского излучения за объектом;  $J_{p1}$  – интенсивность рассеянного объектом рентгеновского излучения;  $\chi$  – фактор накопления, характеризующий процесс рассеяния излучения и сложным образом зависящий от энергии квантов.

Интенсивность излучения  $J_2$ , прошедшего через объект в том месте, где расположена деталь, может быть описана выражением

$$J_2 = J_0 e^{-\mu_1(h-d)} e^{-\mu_2 d} + J_{p2}, \quad (1)$$

где  $J_{p2}$  – интенсивность рассеянного рентгеновского излучения за деталью образца.

Соответственно, контраст детали рентгеновского изображения может быть определен как

$$K = \frac{J_0 e^{-\mu_1(h-d)} e^{-\mu_2 d} + J_{p2} - J_0 e^{-\mu_1 h} - J_{p1}}{J_0 \chi e^{-\mu_1 h}}.$$

При условии, что  $J_{p1} \approx J_{p2}$ , а  $e^{(\mu_1 - \mu_2)d} \approx 1 + (\mu_1 - \mu_2)d$ , получим

$$K = \frac{(\mu_1 - \mu_2)d}{\chi}. \quad (2)$$

Как следует из выражения (2), контраст рентгеновского изображения детали растет с увеличением разности коэффициентов ослабления излучения объектом и деталью, а также размеров самой детали.

Поскольку коэффициенты ослабления рентгеновского излучения для большинства тканей тела человека (мягких, жировых, кожных покровов, связок и т. д.) близки друг другу, задача выявления мелких деталей строения органов существенно усложняется. В соответствии с выражением (1) при сравнимых коэффициентах ослабления и малых размерах деталей контраст их изображения в целом незначителен.

В современной рентгенодиагностике с успехом применяются методики обследования с использованием водорастворимых контрастирующих веществ, коэффициент ослабления излучения для которых в несколько раз превышает коэффициент ослабления излучения даже костными тканями. Введение в тело пациента жидкости, распространяющейся естественным образом по соответствующим органам, позволяет увеличить контраст рентгеновских изображений при исследованиях сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Однако в большинстве рутинных исследований, например, при диагностике костной структуры такая методика непригодна. Одним из способов повышения информативности рентгеновских изображений в этом случае может служить использование механизма получения псевдообъемного изображения.

2. В живописи, начиная с эпохи Возрождения, широко используются законы перспективы, позволяющие художнику фиксировать на картине любые объекты так, как они наблюдаются в натуре. Недаром в переводе с латинского глагол, от которого происходит слово



«перспектива», означает «ясно вижу». Перспектива «придает» плоской картинке объемность и дополнительную информативность; позволяет верно оценить соотношение размеров отдельных предметов, их взаимное расположение, удаленность друг от друга по глубине изображения. В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены плоское изображение и изображение, построенное на основе законов перспективы. Примером плоского (двумерного изображения) может служить техника рисунка, в которой выполнена египетская фреска.



Рис. 2



Рис. 3

С этой точки зрения все рентгеновские снимки, получаемые в настоящее время способами классической рентгенографии, также являются примером плоских изображений. Очевидно, что при передаче изображения объемных органов тела на плоскую поверхность снимка неизбежно происходит потеря информации, в ряде случаев необходимой для своевременной и точной установки диагноза. В значительной мере сохранить эту информацию путем формирования псевдообъемных изображений (аналога перспективных изображений в живописи) позволяет микрофокусная рентгенография.

3. Для практической реализации метода получения псевдообъемных изображений используется рентгеновский источник микронных размеров с широко расходящимся пучком излучения. Объект просвечивания располагается на небольшом фокусном расстоянии от источника излучения, соизмеримом с размерами самого объекта, а приемник изображения – на расстоянии в несколько раз большем. Отношение этих размеров определяет средний коэффициент увеличения изображения объекта просвечивания по сравнению с истинными размерами этого объекта. Чем выше коэффициент увеличения изображения, тем больше его «объемность», а при соответствующем выборе размеров источника излучения – информативность.

В качестве объекта просвечивания для исследования особенностей рентгеновского изображения использовался четырехкоренной зуб (рис. 4, *a* – внешний вид; *б* – аксонометрическая проекция; *в* – вид сбоку).

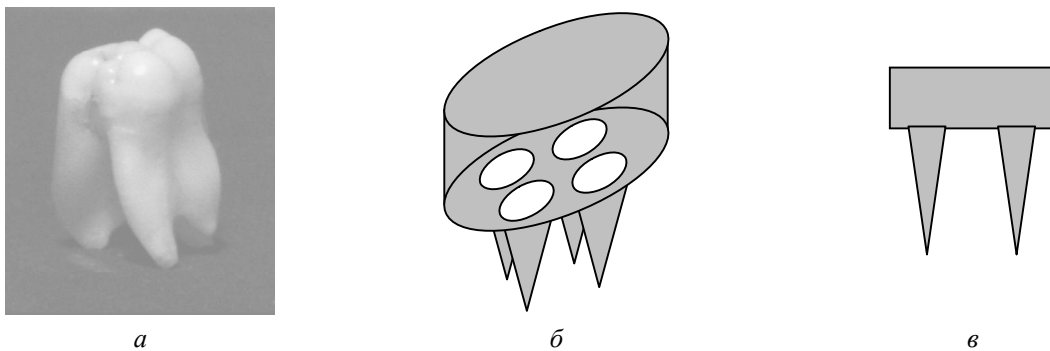


Рис. 4

Механизм возникновения плоского изображения поясняется рис. 5 (*1* – параллельный пучок излучения; *2* – объект; *3* – плоскость приемника; *4* – схематическое изображение объекта; *5* – рентгеновское изображение объекта); псевдообъемного – рис. 6 (*1* – микрофокусный источник излучения; *2* – ширококорасходящийся пучок излучения; *3* – объект; *4* – плоскость приемника; *5* – схематическое изображение объекта; *6* – рентгеновское изображение объекта).

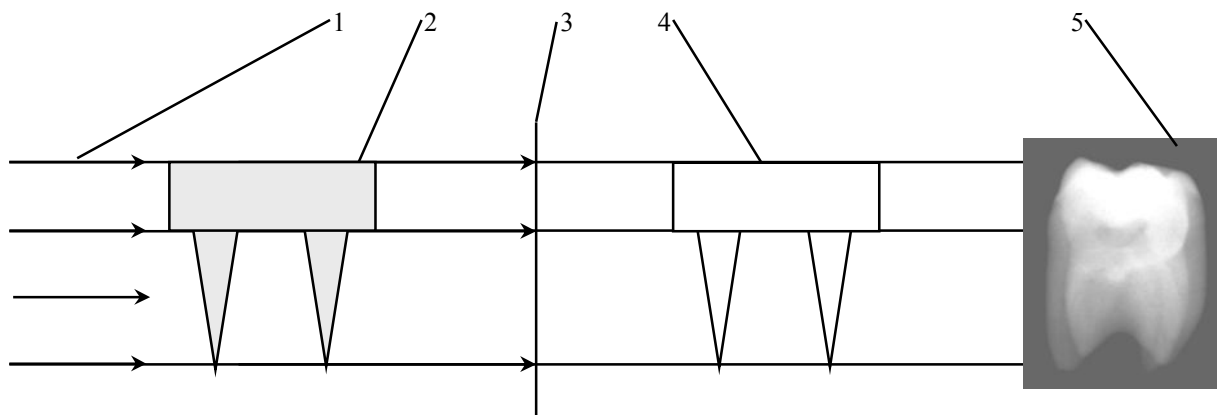


Рис. 5

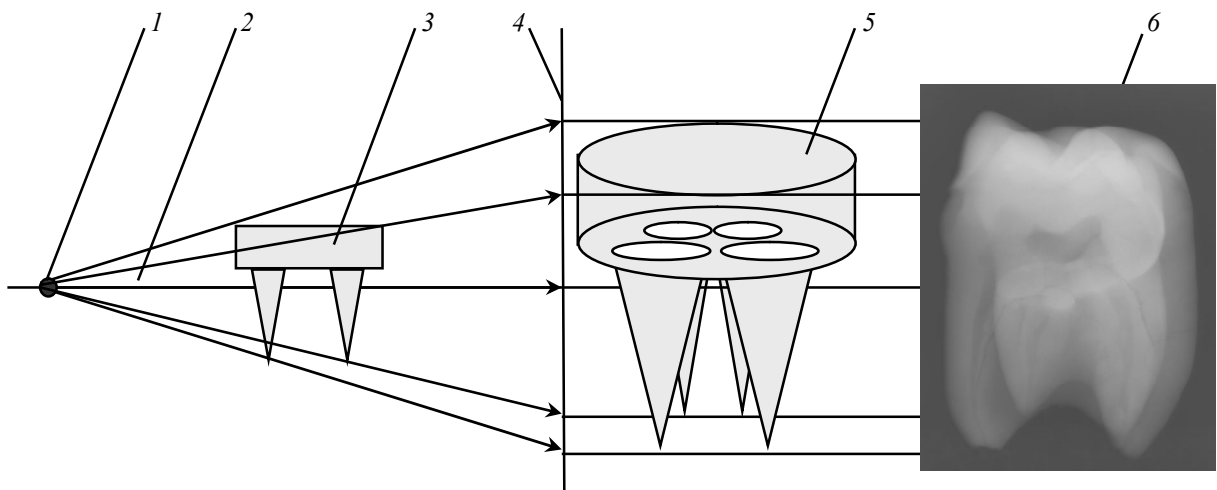


Рис. 6

Приведенные на рисунках геометрические построения обосновывают возможность получения с помощью микрофокусного способа съемки как новой диагностической информации – в данном случае в части определения количества корней зуба, так и дополнительной – в части взаимного расположения корней и их относительных размеров. Благодаря описанному механизму эффект «псевдообъемного изображения» обеспечивает, например, существенные преимущества способу микрофокусной съемки по сравнению с известным ортопантомографическим способом при получении обзорных снимков зубочелюстной системы [4]. В качестве примера на рис. 7 приведен микрофокусный рентгеновский снимок скелетированной нижней челюсти.

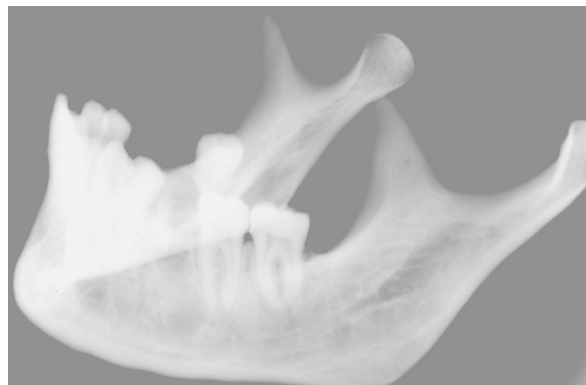


Рис. 7

**Результаты исследований.** Для оценки диагностических возможностей микрофокусного способа получения псевдообъемных изображений в других областях медицины, в частности, при диагностике диабетической остеоартропатии в ГОУ ВПО «Медико-стоматологический университет» под руководством академика А. Ю. Васильева были проведены специальные исследования. В ходе исследований были получены снимки фрагментов бедренных костей стандартным способом, в котором используется традиционный источник излучения с протяженным фокусным пятном, и способом микрофокусной «псевдообъемной» съемки с прямым многократным увеличением [5]. В качестве источника излучения при получении «псевдообъемных» изображений использовался микрофокусный рентгеновский аппарат семейства «ПАРДУС» (ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», Технопарк СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), в качестве приемника изображения в обоих случаях – цифровая система визуализации на основе экрана с фотостимулируемым люминофором.

Анализ стандартных снимков с прямым увеличением в 1,5 раза показал ухудшение качества изображения за счет снижения его резкости при сохранении контраста. Костные балки дифференцировались неотчетливо, контуры их были размыты, взаимоотношение между ними фактически не дифференцировалось. Новых данных при исследовании коркового слоя получено не было. Таким образом, даже небольшое увеличение изображения при стандартном способе съемки не только не повышает информативность снимка, а наоборот, уменьшает объем получаемой информации.

На микрофокусных снимках с 5-кратным увеличением изображения начинает определяться эффект «псевдообъемного изображения», хорошо визуализируется костная структура костно-мозгового канала, определяются направление, толщина костных балок и расстояние между ними. При анализе коркового слоя одного из фрагментов в средней трети дополнительно отмечался участок перестройки костной ткани с зонами разрежения. В остальных отделах структура коркового слоя выглядела гомогенной.

Увеличение в 7 раз позволило получить эффект «псевдообъемного изображения» максимально выраженным, улучшить визуализацию участка перестройки костной ткани, определялось даже разволокнение коркового слоя кости. Костные балки прослеживались на всем протяжении фрагментов, наблюдалась их продольная направленность, а также увеличение расстояния между отдельными балками [6].

Выполненные исследования подтвердили широкие возможности микрофокусной рентгенографии при диагностике костной структуры в данном случае за счет проявления эффекта «псевдообъемного изображения».

Результаты исследования дают основания для успешного внедрения микрофокусного способа псевдообъемных изображений в ряде других областей медицины – например, травматологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев П. С. Курс истории физики. М.: Просвещение, 1974.
2. Храмов Ю. А. Физики: Библиографический справ. 2-е изд. испр. и доп. М.: Наука, глав. ред. физ.-мат. лит., 1983.
3. Рентгенодиагностические аппараты / Под ред. Н. Н. Блинова. М.: Медицина, 1976.
4. Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. СПб.: ООО «Техномедиа», 2007.
5. Васильев А. Ю. Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике. М.: ИПТК ЛОГОС, 1998.
6. Смирнова В. А. Цифровая микрофокусная рентгенография в диагностике диабетической остеоартропатии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук / СПбГМУ им. акад. И. П. Павлова. СПб., 2007. 32 с.

*N. N. Potrakhov, A. Y. Gryaznov, E. N. Potrakhov*

#### *IMAGINARY-VOLUME EFFECT IN MICROFOCUS X-RAY DEFECTOSCOPY*

*In article the mechanism of occurrence of the imaginary-volume shadow x-ray image arising at realisation of a technique microfocus X-ray defectoscopy is considered. It is shown that application of microfocal shooting allows to raise considerably information a x-ray picture at the expense of reception of the new and additional diagnostic information.*

**Microfocus X-ray defectoscopy, imaginary-volume effect, bone structures diagnostics**



УДК 681.3

*Н. А. Аль-Маджмар, Д. Н. Молдовян*

## **СХЕМА ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ НАД ПРОСТЫМ ПОЛЕМ, ОСНОВАННАЯ НА СЛОЖНОСТИ ФАКТОРИЗАЦИИ**

*Рассматривается разработка новых алгоритмов аутентификации электронной информации на основе нового подхода к сокращению размера подписи в схемах ЭЦП, основанных на сложности задачи факторизации. Показано, что введение рандомизации в такие схемы позволяет обеспечить сокращение размера подписи до 320 бит.*

**Электронная цифровая подпись, хэш-функция, задача факторизации, аутентификация информации**

Стойкость системы электронной цифровой подписи (ЭЦП) определяется сложностью решения некоторой трудной математической задачи, положенной в основу алгоритма ЭЦП [1]. Широкоизвестна задача факторизации составного числа, представляющего собой произведение двух больших неизвестных простых чисел. Данная задача положена в основу криптосистемы RSA, схем ЭЦП Рабина и Фиата – Шамира [1],[2]. Недостатком известных схем ЭЦП такого типа является сравнительно большой размер цифровой подписи при заданном уровне безопасности ЭЦП.

В настоящей статье рассматривается проблема разработки алгоритмов аутентификации электронной информации на основе нового подхода к сокращению размера подписи в схемах ЭЦП, основанных на сложности задачи факторизации, позволяющего уменьшить размер подписи до 320 бит. В качестве прототипа выбрана схема ЭЦП, представленная ранее в работе [3], в которой вычисления ведутся по простому модулю, имеющему структуру  $p = 2n + 1$ , где  $n = qr$ ,  $q$  и  $r$  – большие простые числа длиной  $|q| \approx |r| \approx 512$  бит. При этом одно из простых чисел  $q$  или  $r$  служит показателем, к которому относится число  $\alpha$ , являющееся элементом открытого ключа. Пусть этим числом будет  $q$ . Открытым ключом является тройка чисел  $(n, \alpha, \lambda)$ , где  $\lambda$  – длина секретного ключа, и  $\beta$  генерируется следующим образом. Выбирается случайное число  $h$ , такое, что  $\text{НОД}(h, n) = 1$ , вычисляется значение  $t = (p - 1)/q = 2r$ , затем – число  $z = h^{2r} \bmod p$ . Если  $z \neq 1$ , то  $z$  берется в качестве элемента  $\beta$  открытого ключа. Число  $n$  формируется генерацией случайных простых чисел  $q$  и  $r$  длиной  $\approx 500$  бит и последующим перемножением их значений. Затем формируется число  $p = 2n + 1$ , которое

проверяется на простоту. Если текущее значение  $p$  оказывается составным, то выбирается новая пара чисел  $q$  и  $r$  и вычисляется новое число  $p$ . Выбранный прототип описывается следующим уравнением проверки подлинности подписи:

$$R^S \bmod p = \beta^{HR} \bmod p, \text{ где } |S| \leq \lambda.$$

Алгоритм генерации подписи к сообщению  $M$  следующий:

1. Вычисляется значение хэш-функции от сообщения  $M$ :  $H = H(M)$ , причем  $H \neq 0$  и  $H \neq 1$ .
2. Генерируется параметр рандомизации  $R = \beta^k \bmod p$ , где  $k$  – генерируемое число,  $k < q$ .
3. Вычисляется значение  $S$ :  $S = HR/k \bmod q$ .
4. В качестве ЭЦП берется значение  $(R, S)$ .

Алгоритм верификации подписи  $(R, S)$  следующий:

1. Вычисляется значение хэш-функции от сообщения  $M$ :  $H = H(M)$ .
2. Вычисляется значение  $\beta^{HR} \bmod p$ .
3. Вычисляется значение  $R^S \bmod p$ .
4. Если  $|S| \leq \lambda$  и  $R^S \bmod p = \beta^{HR} \bmod p$ , то подпись признается подлинной.

В прототипе длина подписи примерно равна  $|R| + |S| \approx 1500$  бит, где  $|R| \approx |p| \approx 1000$  бит и  $|S| \approx |q| \approx 500$  бит. Для сокращения длины подписи проверочное уравнение прототипа приводится к виду

$$F(R) = F(\beta^{HSF(R)} \bmod p), |S| \leq \lambda.$$

Здесь  $F$  – сжимающая функция, дающая на выходе 160-битовое значение рандомизации  $R' = F(R)$ . Подписью является пара чисел  $(R', S)$ . Простейший вариант этой функции:  $R' = R \bmod \delta$ , где  $\delta$  – простое число. Минимальный размер  $|\delta| \approx 80$  бит. Это определяется следующим способом генерации подписи. Выбирается произвольная пара чисел  $(R', S)$ , по которой вычисляется значение  $R'' = (\beta^{HSF(R)} \bmod p) \bmod \delta$ . Если  $R'' = R'$ , то подделка подписи успешна. Вероятность этого  $\text{Prob}(R'' = R') = \delta^{-1}$ . Таким образом, модифицированное проверочное уравнение обеспечивает безопасное сокращение размера подписи до  $|\delta| + |q| \approx 80 + 512 \approx 592$  бит.

С целью сокращения размера второго элемента подписи предлагается следующая идея. Элементы подписи вычисляются по модулю третьего уровня, который является простым числом длиной  $|\gamma| \approx 128$  бит. При этом  $\gamma$  является показателем по секретному модулю  $q$  (модуль второго уровня) некоторого числа  $\alpha$ . Чтобы дать возможность проверяющему проверить подлинность подписи, для вычислений на втором уровне ему предоставляется модуль  $n = rq$ , разложение которого является секретным. Предполагается, что при генерации подписи вычисления на втором уровне осуществляются по модулю  $q$ , а при проверке подписи – по модулю  $n$ . Чтобы вычисления по модулю  $n$  дали возможность проверить соответствие их результатов результатам вычислений по модулю  $q$ , вычисления первого типа надо взять по модулю  $q$ . Так как  $q$  является элементом секретного ключа, то указанное приведение делается «скрытно» (косвенно) путем выполнения вычислений на первом (нижнем) уровне по простому модулю, которые представляют собой возведение числа  $\beta$  в некоторую степень по простому модулю  $p = 2rq + 1$ . Значение  $\beta$  представляет собой число, относящееся по модулю  $p$  к показателю  $q$  (именно благодаря этому вычисления по модулю  $n$  приводятся скрытно к вычислениям по модулю  $q$ ). Таким

образом, открытым ключом является тройка чисел  $(\alpha, \beta, p)$ , а секретным – пара чисел  $(\gamma, q)$ , где справедливы следующие соотношения:

$$\gamma \mid q - 1, q \mid (p - 1)/2, \beta^q \bmod p = 1, \alpha^\gamma \bmod q = 1, \alpha^\gamma \bmod n \neq 1.$$

Для проверки ЭЦП используется следующее проверочное уравнение:

$$R' = \left( \beta^{\alpha^{R'SH} \bmod n} \bmod p \right) \bmod \delta,$$

где операция  $\bmod \delta$  играет роль сжимающей функции. Подпись вычисляется следующим образом. Выбирается случайное значение  $U < \gamma$  и вычисляется первый элемент подписи по формуле

$$R' = \left( \beta^{\alpha^{UH} \bmod q} \bmod p \right) \bmod \delta.$$

Далее вычисляется значение второго элемента подписи:  $S = U/R' \bmod \gamma$ . Минимальный уровень безопасности обеспечивается в этой схеме при  $|\gamma| \approx |\delta| \approx 160$  бит, т. е. при длине подписи  $|S| + |R'| \approx |\gamma| + |\delta| \approx 320$  бит. Стойкость криптосистемы обеспечивается сложностью факторизации числа  $n$ . При этом значения  $\alpha$  и  $\beta$  связаны с числом  $n$ , поэтому они потенциально могут быть использованы для факторизации  $n$  некоторыми методами, дополняющими уже известные способы разложения составных чисел, представляющих собой произведение двух больших неизвестных простых чисел.

Рассмотрев различные способы подделки подписи и вычисления секретного ключа, было установлено, что наиболее эффективным является следующий алгоритм, ориентированный на вычисление секретного элемента  $\gamma$ :

1. Выбрать случайное число  $U \approx 2t > \gamma$ , где  $t$  – ожидаемая битовая длина значения  $\gamma$ , которая определяется как максимальный размер элемента  $S$ , и вычислить  $y = \beta^{\alpha^U \bmod n} \bmod p$ .

2. Для  $i = 1, 2, \dots, N$ , где целое  $N \approx 2^{t/2} > \gamma^{0.5}$ , вычислить  $z'(i) = \beta^{\alpha^{iN} \bmod n} \bmod p$ .

3. Отсортировать таблицу пар значений  $(z'(i), i)$ , полученных на шаге 2, по значениям  $z'(i)$  и установить значение счетчика  $j = 0$ .

4. Вычислить значение  $z''(j) = y^{\alpha^{-j} \bmod n} \bmod p$ .

5. Проверить, существует ли в упорядоченной таблице при некотором  $i_0$  значение  $z'(i_0) = z''(j)$ . Если нет, то положить  $j := j + 1$  и вернуться к шагу 4.

6. Вычислить значение  $U' = i_0 N + j$  и  $V = U - U'$ .

7. Разложить на простые множители число  $V$ . (Данная задача является простой ввиду того, что факторизуемое число сравнительно мало:  $V < 2160$ .)

8. Выбрать из полученного на шаге 7 разложения делитель  $\gamma$ , используя в качестве критерия отбора формулу  $\beta^{\alpha^\gamma \bmod n} \bmod p = \beta$ .

Трудоёмкость данного алгоритма определяется шагами 2 и 3:  $W \approx 0.75 \cdot 2^{t/2} (|n| + |\gamma|)$  операций умножения по модулю размером  $\approx |n|$  и  $M \approx 2^{t/2} (|p|)$  бит используемой памяти. При  $|\gamma| \approx 128$  бит и  $|\delta| \approx 80$  бит получаем значения  $W \approx 274$  операций и  $M \approx 274$  бит.

Практическая реализация данного алгоритма (за обозримое время) при указанных параметрах ограничена чрезвычайно большим объемом требуемой памяти. Этот алгоритм можно модифицировать таким образом, что он будет работать при достаточно малом объеме используемой памяти за счет уменьшения значения  $N$ , однако при этом возрастает трудоемкость шага 2. Например, при  $N \approx 250$  получаем значения  $W \approx 288$  операций и  $M \approx 260$  бит. Однако для уменьшения размера требуемой памяти можно воспользоваться алгоритмом Флойда [4], применяя построение случайных блужданий на основе функции  $f(x) = \beta^{\alpha^x \bmod n} \bmod p$ . Этот вариант нахождения значения  $\gamma$  является более эффективным, и с его учетом получаем, что минимально допустимое значение размера  $|\gamma| = 160$  бит.

Полученная ранее оценка стойкости является неформальной. Возможно построение аналогичных схем ЭЦП с формально доказуемой стойкостью. Для этого следует вычислять хэш-функцию от документа с присоединенным к нему значением параметра рандомизации ЭЦП, который вычисляется на первом этапе формирования ЭЦП. Такой механизм вычисления хэш-функции используется в алгоритме ЭЦП Шнора [5] и позволяет применить способ формального доказательства стойкости, который детально проанализирован в работе [6]. Формальное доказательство стойкости алгоритма ЭЦП состоит в следующем. Предполагается существование атаки и показывается, что с ее помощью можно решить трудную задачу, положенную в основу алгоритма ЭЦП. Показано, что принципиальным является тот факт, что хэш-функция вычисляется после формирования параметра рандомизации. С учетом этого предлагается схема ЭЦП, основанная на сложности задачи факторизации целых чисел специального вида и определяемая следующим уравнением проверки ЭЦП:

$$E = F_H \left( M \parallel \beta^{\alpha^{ES} \bmod n} \bmod p \right),$$

где  $M$  – подписываемый документ;  $\parallel$  – операция конкатенации;  $F_H$  – специфицированная хэш-функция. Подпись вычисляется аналогично исходному варианту схемы ЭЦП: выбирается случайное значение  $U < \gamma$  и вычисляется первый элемент подписи по формуле

$$E = F_H \left( M \parallel \beta^{\alpha^U \bmod n} \bmod p \right).$$

Затем определяется второй элемент подписи:  $S = U/E \bmod \gamma$ . Данное рандомизирующее значение может быть использовано для вычисления двух различных подписей  $S_1$  и  $S_2$  к двум различным документам  $M_1$  и  $M_2$ . Легко показать, что в этом случае выполняется соотношение  $S_1 M_1 \equiv S_2 M_2 \bmod \gamma$ . Поэтому значение  $\gamma$  делит разность  $S_1 M_1 - S_2 M_2$ , следовательно, разлагая на простые множители разность  $S_1 M_1 - S_2 M_2$ , можно найти значение  $\gamma$ . При этом указанная процедура разложения не является трудоемкой, поскольку значение  $\gamma$  имеет ограниченный размер. Очевидно, что для любого целого  $Q$  выполняется соотношение  $\beta^X \equiv \beta^{X'} \bmod p$ , где  $X = \alpha^x \bmod n$  и  $X' = \alpha^{x+Q\gamma} \bmod n$ .



Поскольку число  $\beta$  имеет порядок  $q$  по модулю  $p$ , то  $X \equiv X' \pmod{q}$  и значение  $q \mid n$  можно найти, разлагая разность  $X' - X$  на простые множители. При этом вероятность того, что указанная разность будет содержать, кроме  $q$ , еще один большой простой делитель, достаточно мала, поэтому найти делитель  $q$  не составит значительной сложности. Приходим к выводу, что в модифицированной схеме ЭЦП любой способ подделки подписи имеет сложность того же порядка, что и сложность задачи факторизации модуля  $n$ .

Таким образом, на основе предложенного подхода к сокращению размера подписи в схемах ЭЦП, основанных на сложности задачи факторизации, позволяющего уменьшить размер подписи до 320 бит, разработаны 2 алгоритма ЭЦП, для одного из которых дано формальное доказательство стойкости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молдовян А. А., Молдовян Н. А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Венбо Мао. Современная криптография. Теория и практика. М., СПб., Киев: Издательский дом «Вильямс», 2005.
3. Молдовян Д. Н. Схема ЭЦП с проверкой подлинности по длине // Инновационная деятельность в вооруженных силах Российской Федерации: Тр. всероссийской научно-практич. конф., СПб., 17–18 ноября 2005 г. СПб.: Изд-во ВАС, 2005. С. 196–199.
4. Menezes A. J., Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. N. Y.: CRC Press, 1996.
5. Schnorr C. P. Efficient signature generation by smart cards // J. Cryptology. 1991. Vol. 4. P. 161–174.
6. Koblitz N., Menezes A. J. Another Look at “Provable Security” // J. Cryptology. 2007. Vol. 20. P. 3–38.

*N. A. Al-Majmar, D. N. Moldovyan*

#### *DIGITAL SIGNATURE SCHEME OVER THE GROUND FIELD, BASED ON DIFFICULTY OF FACTORIZATION*

*New information authentication algorithms are developed using a new approach to reducing the digital signature (DS) size in the DS schemes based on the difficulty of the factorization problem. It has been shown that introducing the randomization in such schemes allows one to reduce the DS size to 320 bits.*

**Digital signature scheme, hash function, factorization problem, information authentication**

УДК 007.2

*А. С. Писаревский*

### **ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

*Проводится обзор работ по пассивным и активным методикам обеспечения отказоустойчивости систем управления. Рассматриваются различные подходы. Пассивные отказоустойчивые системы работают в условиях предвиденных отказов. Для работы в условиях непредвиденных отказов используются активные отказоустойчивые системы.*

**Отказоустойчивые системы, отказ компонента, детектирование и идентификация отказов, реконфигурация в реальном времени**

В настоящее время вычислительная техника широчайшим образом применяется во многих сферах человеческой деятельности. Стремление к повышению функциональности устройств значительно опережает темпы развития и усовершенствования существующих методов повышения отказоустойчивости.

Однако в определенных сферах спрос на широкую функциональность систем уходит на второй план, уступая место требованиям максимальной надежности. Ядерная энергетика, военная и аэрокосмическая промышленность, научные исследования – лишь неполный перечень отраслей, остро нуждающихся в максимально надежных и отказоустойчивых системах.

Исследования отказоустойчивых систем могут проводиться как в детерминированной, так и в стохастической областях.

При рассмотрении отказоустойчивых систем с самовосстановлением наиболее важными вопросами являются обеспечение стабильности системы в целом и сохранение приемлемого уровня производительности при отказах. В первых работах по этой тематике наибольшее внимание уделялось пассивным методикам обеспечения отказоустойчивости. В дальнейшем получили распространение активные методики.

*Пассивные методики обеспечения отказоустойчивости.* Существует несколько методик разработки отказоустойчивых систем, которые могут быть отнесены к пассивным. В [1] рассмотрен подход к разработке систем с отказоустойчивостью к ошибкам, возникающим в управляемых элементах, основанный на решении уравнения Риккати и контроле состояний. Аналогичная проблема также решается с помощью системы уравнений Ляпунова [2]. Следует отметить, что все методы применимы только к асимптотически стабильным системам с регулированием по разомкнутому циклу.

Для систем, в которых варианты отказов можно ограничить определенным набором состояний, предложены 2 подхода, основанных на линейно-квадратичном гауссовском управлении [3], [4]. Указанные подходы могут применяться как к стабильным, так и к нестабильным системам с регулированием по разомкнутому циклу.

В [5] рассматриваются несколько важных аспектов, относящихся к разработке отказоустойчивых систем с централизованным и децентрализованным управлением. В этом случае также наблюдается ограничение набора состояний отказов сенсоров и управляемых элементов. Преимуществом этого подхода является возможность измерять производительность системы в условиях случайных отказов в показателях  $N_{\infty}$  нормированного диапазона. Данный подход был в дальнейшем расширен для дискретных систем с использованием методологии  $\delta$ -оператора [6].

В конце 70-х гг. XX в. была аналитически рассмотрена структура, основанная на децентрализованном управлении [7]. Избыточность в подобной структуре обусловлена множественностью систем управления отказоустойчивостью. Для синтеза управляющих элементов применяются децентрализованные стратегии контроля состояния. Было показано, что проблема синтеза может быть сведена к проблеме синхронной стабилизации, где синтезируется единый закон управления для стабилизации сложной составной системы [8]. Одна система с различными сбоями компонентов может быть рассмотрена в виде набора различных систем. При таком подходе надежность системы в целом может быть увеличена по сравнению с использованием единого управляющего элемента [9].

В [10] был предложен новый подход к разработке отказоустойчивости при ошибках, возникающих в управляемых элементах. Уникальность этого подхода состоит во введении динамической предварительной компенсации, уравнивающей динамическое влияние каждого

канала на систему. Таким образом, форма системной избыточности упрощается. Преимуществом данного подхода является то, что физическое понимание процесса более ясно и процедура разработки достаточно проста. Такая схема может быть использована для стабилизации нестабильных систем с регулированием по замкнутому циклу, имеющих хотя бы один работоспособный управляемый элемент. Используя ПИ-регулятор, этот подход можно применять для сбора статистики при наличии ошибок в управляемых элементах [11].

*Активные методики обеспечения отказоустойчивости.* Пассивные отказоустойчивые системы работают в условиях предвиденных отказов. Для работы в условиях непредвиденных отказов используются активные отказоустойчивые системы. Исследования в этой области можно поделить на две основные категории:

- детектирование и идентификация отказов в реальном времени;
- реконфигурация системы управления в реальном времени.

В обеих категориях проделана огромная работа. Однако следует отметить, что одной из основных проблем в активных отказоустойчивых системах является вопрос объединения этих алгоритмов для совместной работы в системе реального времени. В связи с этим очень важно не проводить исследования и разработки совершенно независимо друг от друга.

*Детектирование и идентификация отказов.* За последние 20 лет в области детектирования и идентификации отказов была проделана огромная работа. Существующие методы можно поделить на две категории: без привязки к модели и основанные на моделях. Поскольку разработка реконфигурируемого контроллера во многом опирается на информацию о последствии отказов, методы, основанные на моделях, более предпочтительны. Схемы детектирования и идентификации отказов существенным образом используют информацию, полученную при моделировании. Наиболее известные и используемые схемы основаны на оценке состояния и оценке параметров [12]–[16]. Взаимосвязь этих подходов в контексте отказоустойчивых систем исследована в [17]. Установлено, что схемы с оценкой состояния более подходят для детектирования отказов, поскольку они обрабатывают быстро и не влекут за собой больших задержек в процессе принятия решений. Однако в этом случае получаемой информации недостаточно для проведения дальнейшей реконфигурации. Схемы, основанные на оценке параметров, больше подходят для этих целей, поскольку могут предоставить информацию о параметрах системы после отказа. Следовательно, используя схемы оценки состояния для детектирования отказов и схемы оценки параметров для их идентификации, можно достаточно быстро получить сведения об отказах системы и детальную информацию о них. Все это пригодится для последующей реконфигурации.

*Реконфигурация.* Первая работа по созданию активных средств отказоустойчивости появилась в 1985 г., когда был разработан подход к автоматической реконфигурации для противодействия отказам в управляющих элементах в коммерческих самолетах [18]. Алгоритм был основан на линейно-квадратичном управлении, перераспределяющем функции управления отказавшего блока между оставшимися блоками. Для восстановления приемлемого уровня производительности после отказа был предложен подход, основанный на псевдоинверсном методе реконфигурации системы управления [19]. Необходимая

модификация изначальной схемы проводилась таким образом, чтобы стабильность системы с регулированием по замкнутому циклу после реконфигурации сохранялась. Важным преимуществом псевдоинверсного метода является простота расчета матрицы обратной связи. В дальнейшем, встраивая информацию о приемлемом уровне производительности системы в референсную модель, была предложена оригинальная схема реконфигурации системы управления, использующая принцип точного следования модели [20]. Было показано, что существует тесная связь между этим методом и псевдоинверсным подходом.

Большинство исследовательских работ в области реконфигурируемого управления велись с учетом предположения о наличии идеальной модели, описывающей систему после отказа. В этом случае целями реконфигурируемого управления являются лишь стабилизация системы после отказа и восстановление уровня производительности оригинальной системы. Однако для создания эффективной активной отказоустойчивой системы управления в процесс разработки следует интегрировать схемы идентификации ошибок и реконфигурации с учетом того, что все это должно работать вместе в среде реального времени. В [21] рассмотрен подход, использующий контроллер с четырьмя параметрами, интегрирующий схемы детектирования отказов и управления реконфигурацией, использующий специальные соглашения по взаимодействию между этими модулями. Учитывая тот факт, что система управления может ухудшать чувствительность схем детектирования и идентификации отказов, была предложена спецификация производительности, основанная на  $H_\infty$  [22]. В такой системе параметризованный набор контроллеров вначале удовлетворяет установленному уровню производительности, а затем параметры оптимизируются для улучшения чувствительности детектирования.

Отказы компонентов системы зачастую приводят к снижению общего уровня стабильности системы, поэтому настоятельно рекомендуется сразу регистрировать все сбои и своевременно корректировать действия системы управления. Учитывая этот факт, был предложен совершенно новый подход к разработке активных отказоустойчивых систем управления [23], использующий алгоритм оценки граничных параметров. Как только отказ регистрируется, начинает работать схема оценки границ параметров системы после отказа. Базируясь на полученных границах, может быть сразу же синтезирован необходимый контроллер. По мере появления новых данных границы определяются более достоверно и характеристики системы управления улучшаются.

В любой реальной системе отказы в большинстве случаев происходят случайно. Принимая во внимание все возможные источники случайных воздействий, сложно представить, что характеристики активной отказоустойчивой системы управления также могут быть случайными, а следовательно, могут быть более адекватно определены с помощью стохастического описания. С допущением того, что механизм появления отказов в управляемых элементах можно описать марковской цепью, была предложена стратегия управления с использованием концепции динамического программирования Бердвелла [24]. Как только в системе регистрируется отказ, происходит переключение заранее вычисленных матриц обратной связи.

С набором заранее определенных режимов отказов динамическая система может быть охарактеризована набором динамических моделей. Взяв за основу представление системы набором моделей, Мэйбек предложил использовать адаптивные алгоритмы управления для противодействия отказам из заранее определенного набора [25]. Теоретические аспекты такой мультимодельной адаптивной системы управления были в дальнейшем изучены в [26]. С учетом того, что все случайные причины сбоев можно описать с помощью стохастических процессов, в активной отказоустойчивой системе управления может быть проанализирована стохастическая стабильность. Было показано, что значительная задержка в схеме детектирования и идентификации отказов будет влиять на стабильность систем управления с регулированием по замкнутому циклу [27]. Этот подход в дальнейшем был распространен на ситуацию, когда 2 стохастических процесса используются для представления отказов в системе и поведения схем детектирования и идентификации отказов [28].

Поскольку в активных отказоустойчивых системах используются схемы детектирования, идентификации отказов и реконфигурация, можно заключить, что они обладают определенной степенью интеллектуальности. Подобные системы можно классифицировать как интеллектуальные системы управления. Интеллектуальное управление охватывает такие области, как Fuzzy-логика и системы управления, основанные на нейронных сетях [29]. Активные отказоустойчивые системы также являются важной его частью. Различные аспекты активных отказоустойчивых систем управления в рамках теории интеллектуального управления рассмотрены в [30]–[32].

Отличительными преимуществами отказоустойчивых систем являются их высокая безотказность, бесперебойность работы системы при наличии отказов и более продолжительный жизненный цикл эксплуатации. Отказоустойчивые системы помимо преимуществ имеют и ряд специфических характеристик, а именно: сложность дизайна и высокая стоимость развертывания, повышение энергопотребления, усложнение системы.

С ростом уровня автоматизации и требований к надежности систем управления методология разработки отказоустойчивых систем все шире используется в различных областях, таких, как авиакосмическое приборостроение [33]–[35], автономные подводные системы [36] и энергетика [37]–[39].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shimemura E., Fujita M. A design method for linear state feedback systems possessing integrity based on a solution of a Riccati-type equation // Intern. Journ. of Control. 1985. Vol. 42, № 4. P. 887–899.
2. Optimal pole-placement for state-feedback systems possessing integrity / L. S. Shieh, H. M. Dib, S. Ganesan, R. E. Yates // Journ. of System Science. 1988. Vol. 19, № 8. P. 1419–1435.
3. Joshi S. M. Design of failure-accommodation multiloop LQG-type controllers // IEEE Trans. on Automatic Control. 1987. Vol. 32, № 8, P. 740–741.
4. Veillette R. J. Reliable linear – quadratic state-feedback control // Automatica. 1995. Vol. 31, № 1. P. 137–143.
5. Veillette R. J., Medanic J. V., Perkins W. R. Design of reliable control systems // IEEE Trans. on Automatic Control. 1992. Vol. 37, № 3. P. 290–304.
6. Shor M. H., Perkins W. R., Medanic J. V. Design of reliable decentralized controllers: a unified continuous/discrete formulation // Intern. Journ. of Control. 1992. Vol. 56, № 4. P. 943–965.
7. Siljak D. D. liable control using multiple control systems // Intern. Journ. of Control. 1980. Vol. 31, № 2. P. 303–329.
8. Vidyasagar M. Control Systems Synthesis: A Factorization Approach, North Holland System and Control Series (Vol. 8), MIT Press, Cambridge, M.A, 1985.

9. Vidyasagar M., Viswanadham N. Algebraic design techniques for reliable stabilization // *IEEE Trans. on Automatic Control*. 1982. Vol. AC-27. P. 1085–1095.
10. Zhao Q., Jiang J. Reliable state feedback control system design against actuator failures // *Automatica*. 1998. Vol. 34, № 10. P. 1267–1272.
11. Jiang J., Zhao Q. Design of reliable control systems possessing actuator redundancies, submitted to AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics) // *Journ. of Guidance, Control and Dynamic*. 1999. № 3.
12. Willsky A. S. A survey of design methods for failure detection in dynamic systems // *Automatica*. 1976. Vol. 12, № 6. P. 601–611.
13. Isermann R. Process fault detection based modeling and estimation methods: A survey // *Automatica*. 1984. Vol. 20, № 4. P. 387–404.
14. Gertler J. Survey of model-based failure detection and isolation in complex plants // *IEEE Control Systems Magazine*. 1988. Vol. 8, № 6. P. 3–11.
15. Patton R., Frank P., Clark R. *Fault Diagnosis in Dynamic Systems. Theory and Application*, edited, Prentice Hall Ltd., UK, 1989.
16. Frank P. M. Fault diagnosis in dynamic system using analytical and knowledge based redundancy – a survey and some new results // *Automatica*. 1990. Vol. 26, № 3. P. 459–474.
17. Jiang J., Zhao Q. Comparison of RLS parameter and state estimation based FDI schemes submitted to // *Journ. of Franklin Institute*. 1999. January.
18. An automatic redesign approach for restructurable control systems / D. P. Looze, J. L. Weiss, J. S. Eterno, N. M. Barrett // *IEEE Control Systems Magazine*. 1985. May. P. 16–22.
19. Gao Z., Antsaklis P. J. Stability of the pseudo-inverse method for reconfigurable control systems // *Intern. Journ. of Control*. 1991. Vol. 53, № 3. P. 717–729.
20. Gao Z., Antsaklis P. J. Reconfigurable control system design via perfect model following // *Intern. Journ. of Control*. 1992. Vol. 56, № 4. P. 783–798.
21. Jacobson C. A., Nett C. N. An integ. approach to controls and diagnostics using the four parameter controller // *IEEE Control Systems Magazine*. 1991. October. P. 22–29.
22. Wu N. E., Chen T. J. Feedback design in control reconfigurable system // *Intern. Journ. of Robust and Nonlinear Control*. 1996. Vol. 6. P. 561–570.
23. Jiang J., Zhao Q. Reconfigurable control based on imprecise fault identification // *Proc. of 1999 American Control Conf., USA, San Diego, June, 1999*. P. 114–118.
24. Birdwell J. D., Castanon D. A., Athans M. On reliable control system designs, // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*. 1986. Vol. SMC- 16, № 5. P. 703–711.
25. Maybeck P. S., Stevens R. D. Reconfigurable flight control via multiple model adaptive control methods // *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*. 1991. Vol. 27, № 3. P. 470–480.
26. Narendra K. S., Balakrishman J. Adaptive control using multiple models // *IEEE Trans. on Automatic Control*. 1997. Vol. 42. P. 171–187.
27. Mariton M. Detection delays, false alarm rates and the reconfiguration of control systems // *Intern. Journ. of Control*. 1989. Vol. 49, № 3. P. 981–992.
28. Srichander R., Walker B. K. Stochastic stability analysis for continuous time fault-tolerant control systems // *Intern. Journ. of Control*. 1993. Vol. 57, № 2. P. 433–452.
29. Stengel R. F. Toward intelligent flight control // *IEEE Trans. on Systems, Man & Cybernetics*. 1993. Vol. 23, № 6. P. 1699–1717.
30. Stengel R. F. Intelligent failure-tolerant control // *IEEE Control Systems Magazine*. 1991. Vol. 11, № 4. P. 14–23.
31. Rauch. H. E. Intelligent fault diagnosis and control reconfiguration // *IEEE Control Systems Magazine*. 1994. June. P. 6–12.
32. Rauch H. E. Autonomous control reconfiguration // *IEEE Control Systems Magazine*. 1995. December. P. 37–48.
33. Zemlyakov S. D., Rutkovskii V. Y., Silaev A. Reconfiguring aircraft control systems in case of failures // *Automation and Remote Control*. 1996. Vol. 57, № 1. P. 1–13.
34. Chandler P. R., Pachter M., Mears M. System identification for adaptive and reconfigurable control // *AIAA Journ. of Guidance. Control and Dynamics*. Vol. 18, № 3. P. 516–524.
35. Panossian H. V., Ewing W. D. Real-time failure detection algorithm for the space shuttle main engine // *IEEE Control Systems Magazine*. 1997. Vol. 17, № 4. P. 16–23.

36. Farrell J., Appleby B. D., Berger T. On the detection and accommodation of unanticipated faults // Proc. of 1992 AIAA Guidance, Navigation and Control Conf, Hilton Head Island, SC, AIAA-92-4537-CP, 1992. P. 1045–1054.
37. Garcia H. E., Ray A., Edwards R. M. Reconfigurable control of power plants using learning automats // IEEE Control Systems Magazine. 1991. January. P. 85–92.
38. Eryurek E., Upadhyaya B. R.. Fault-tolerant control and diagnostics for large-scale systems // IEEE Control Systems Magazine. 1995. October. P. 34–42.
39. Merryman S. A., Nelms R. M. Diagnostic technique for power systems utilizing infrared thermal imaging // IEEE Trans. on Industrial Electronics. 1995. Vol. 42, № 6. P. 615–628.

*A. S. Pisarevsky*

#### *PASSIVE AND ACTIVE FAULT-TOLERANCE METHODICS IN CONTROL SYSTEMS*

*Review of works in the area of passive and active fault-tolerant control systems. Different approaches are considered.*

**Fault-tolerant systems, component fault, fault detection and identification, real-time reconfiguration**

УДК 519.87

*Д. А. Анисимов*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ В UNIX-ПОДОБНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*Описаны основные принципы построения и отладки сложных многоуровневых, многоплатформенных и многозадачных программных продуктов в Unix-подобных операционных системах на основе применения системы контроля версии и специальных системных скриптов, использующих набор команд стандарта C-Shell и Bourne Shell (BASH).*

### **Система контроля версии, автоматизация процесса сборки, команды Unix**

В современном IT-бизнесе одной из самых главных задач является правильный менеджмент работы сотрудников, а также правильная организация взаимодействия между программистами. Кроме того, большое значение уделяется задаче тестирования продукта. Для поддержания правильного взаимодействия в команде разработчиков на данный момент имеется множество программных продуктов, таких, как Subversion и ClearCase, при этом наибольшее распространение получила система контроля версии Subversion.

Subversion – централизованная система, т. е. данные хранятся в едином хранилище, которое может располагаться на локальном диске или на сетевом сервере. Работа в Subversion мало отличается от работы в других централизованных системах управления версиями. Клиенты копируют файлы из хранилища, создавая локальные рабочие копии, и далее вносят в них изменения, которые публикуют в хранилище. Несколько клиентов могут одновременно обращаться к хранилищу, при этом для совместной работы над файлами в Subversion преимущественно используется модель *копирование-изменение-слияние*. Кроме того, для файлов, не допускающих слияние (различные бинарные форматы файлов), можно использовать модель *блокирование-изменение-разблокирование*. При сохранении новых версий используется дельта-компрессия: система находит отличия новой версии от предыдущей и записывает только их, избегая дублирования данных. При использовании доступа с помощью WebDAV

также поддерживается прозрачное управление версиями – если любой клиент WebDAV открывает для записи и затем сохраняет файл, хранящийся на сетевом ресурсе, то автоматически создается новая версия. С точки зрения пользователя хранилище Subversion представляет собой «двумерную» файловую систему. Объекты в хранилище (файлы и директории) идентифицируются двумя «координатами»: именем и номером ревизии. Для однозначной адресации объекта необходимо указать оба параметра. Чтобы указать на конкретную ревизию объекта, используется запись вида: имя@ревизия, например: /main.c@29 – файл /main.c в ревизии 29. Такое указание ревизии, используемое для уточнения имени, называется стержневой ревизией.

Рассмотрим реальное применение задачи контроля версии и системы автоматизации тестирования, написанной на языке C-Shell. Допустим, существует бригада программистов, занимающаяся одним и тем же программным продуктом, имеющим набор конфигураций. Профессиональная разработка программного продукта требует своевременного выявления ошибки и ее исправления. Для этого на отдельной машине автоматически ежедневно запускается скрипт на языке C-Shell. В первую очередь надо определиться, имеется ли копия репозитория (хранилища данных) на локальной машине. Для этого применяется соответствующая команда:

```
if [ -d $CHECKOUT_PATH/.svn ]; then,
```

где \$CHECKOUT\_PATH – первый аргумент скрипта, т. е.

```
CHECKOUT_PATH=$1.
```

Поясним значение команды -d, определяющей, существует ли файл и является ли он папкой. В случае положительного исхода следует выполнить перечень следующих команд:

1. Чистка локальной копии репозитория:

```
svn cleanup >> $cl_log
```

2. Рекурсивное приведение в соответствие оригиналу измененных в локальной копии файлов:

```
svn revert -R >> $re_log (параметр -R указывает на рекурсивный проход по файловой системе).
```

3. Выявление лишних файлов, не относящихся к процессу построения системы:

```
svn status >> $st_log
```

4. Удаление лишних файлов:

```
for X in `cat $buffered_log`
do
  if [ -d $X ]; then
    rm -R $X
  else if [ -f $X ]; then
    rm $X
  else echo "melody-nb delete: $X . File doesn't"
    + "exist already"
    rm -R $X
  fi
done
```



```
fi
done
```

5. Обновление репозитория:

```
svn update >> $sv_log
```

В процессе выполнения команд следует залогировать информацию целиком в отдельных файлах и частично (наиболее важные сведения) в основном логе процесса:

```
log=$LOGPATH/main_log.txt ,
```

находящемся в папке, содержащей в своем названии дату и время запуска скрипта:

```
LOGPATH=$CHECKOUT_PATH/log_`date +%Y`_`date +%m`_`date +%d`_`date  
+%k`:`date +%M`
```

Процесс логирования выполняется согласно следующим сведениям:

1. Тип операции:

```
echo "[Cleanup local repository]" >> $log или echo "[Revert local repository]" >> $log
```

2. Время начала:

```
echo "Started at `date +%k`:`date +%M`." >> $log
```

3. Возможные причины отказа системы (выявляются при помощи команд cat и grep):

```
cat $re_log | grep "Cannot revert" >> $log или cat $re_log | grep "locked" >> $log
```

4. Время окончания:

```
echo "Update finished at `date +%k`:`date +%M` " >> $log
```

При отсутствии локальной копии репозитория ее надо создать:

```
svn co $URL $CHECKOUT_PATH >> $co_log
```

После выполнения работ, связанных с Subversion, следует приступить к построению проекта. Для этого можно применить компилятор GCC и утилиту Apache Ant.

GNU Compiler Collection (обычно используется сокращение GCC) – набор компиляторов для различных языков программирования, разработанный в рамках проекта GNU. GCC является свободным программным обеспечением, распространяется фондом свободного программного обеспечения (FSF) на условиях GNU GPL и GNU LGPL и является ключевым компонентом GNU toolchain. Он используется как стандартный компилятор для свободных Unix-подобных операционных систем и в нескольких проприетарных операционных системах, в том числе Apple Mac OS X [1].

Apache Ant (англ. ant – муравей и акроним – «Another Neat Tool») – java-утилита для автоматизации процесса сборки программного продукта. Ant – платформенно-независимый аналог UNIX-утилиты make (в качестве «Makefile» применяется «build.xml»). Ant был создан в рамках проекта Jakarta, сегодня – самостоятельный проект первого уровня Apache Software Foundation [2].

Первый шаг построения проекта – выбор соответствующей конфигурации. Если используется одна конфигурация, она задается атрибутом скрипта, если же их несколько, то они обрабатываются следующим циклом:

```
for CONF_FILE in conf/*.conf
do
#Логирование информации о текущей конфигурации
```

```

echo $CONF_FILE >> $log
#Запуск функции построения
linking
if [[ $skipcheckbin != 1 ]]; then
#Проверка наличия исполняющего файла после построения проекта
checking_bin_file
else
        echo "Checking of existing bin file skiopped. 'schb' key used" >>$log
fi
done

```

Выбрав конфигурацию, в первую очередь следует проверить ее на наличие xml-файла:

```
if [ -r $CHECKOUT_PATH/build.xml ]; then
```

Затем необходимо определиться с количеством требуемых для построения конфигураций. Для построения одной конфигурации, указанной в параметре скрипта, следует однократно запустить функцию построения:

```

linking() {
#ant command to build
#Логирование информации:
ant_log=$LOGPATH/$CONF_FILE-ant_log.txt
echo "[Ant Build]" >> $log
echo "Started at `date +%k`:`date +%M` using $CONF_FILE configuration file ." >> $log
echo "Log file is $ant_log" >> $log
echo "Build $CONF_FILE " >>$ant_log clean
#Построение проекта
$ANT_PATH/ant -DCONF="$CONF_FILE" -l $ant_log clean
$ANT_PATH/ant -DCONF="$CONF_FILE" -l $ant_log build
echo "Result is:" >> $log
#Определение исхода построения( удачный, неудачный)
matches_number=`grep -c "BUILD SUCCESSFUL" $ant_log`
#Логирование информации о исходе построения
cat $ant_log | grep "BUILD SUCCESSFUL" >> $log
cat $ant_log | grep "BUILD FAILED" >> $log
if [ $matches_number == 0 ]; then
#Подсчет неудачных конфигураций
grep "error" $ant_log | grep -v "\[echo\]" >> $log
numFail=$(( $numFail + 1 ))
CONF_FAIL[$numFail]=$CONF_FILE
CONF_FAIL_LOG[$numFail]=$ant_log
else
#Подсчет удачных конфигураций

```

```

numSuccess=$(( $numSuccess + 1 ))
CONF_SUCCESS[$numSuccess]=$CONF_FILE
fi
numConf=$(( $numConf + 1 ))
}

```

Теперь следует оценить, насколько можно доверять сообщению о результате работы компилятора. Предположим, что построение прошло удачно, а папка build закрыта на запись и bin-файл не создан, поэтому, прежде чем тестировать полученный программный продукт, необходимо сначала проверить наличие объекта тестирования. Для этого следует использовать функцию checking\_bin\_file():

```

checking_bin_file(){
if [[ $matches_number != 0 ]]; then
#Определение названия директории с bin-файлом
vmdirname=`grep "config.dirname=" $CONF_FILE | cut -f 2 -d='`
#Определение типа конфигурации, заданной в конфигурационном файле
vm=`grep "config.vm=" $CONF_FILE | cut -f 2 -d='`
#Полный путь к директории с bin-файлом
binpath=$CHECKOUT_PATH/build/$vmdirname/bin
#Оператор множественного выбора конфигураций
case $vm in
#Платформа Cldchi
cldchi*)
if [ -f $binpath/cldc_vm -o -f $binpath/cldc_vm* ]; then
echo "Bin file exist in directory : $binpath" >> $log
#Подсчет общего числа найденных bin-файлов
numBinFile=$(( $numBinFile + 1 ))
else
echo "Bin file doesn't exist in directory : $binpath " >> $log
fi
;;
#Далее следуют операторы case для остальных используемых платформ
#(Jam и Mika).
#Последний случай рассматривает появление неизвестной платформы
*)
echo "ERROR: Unknow VM name!"
esac
fi
matches_number=0
}

```

Заключительный этап тестирования программного продукта – тестирование его стандартными средствами при помощи различных эмуляторов и тест-серверов. Следует отметить, что дальнейшее более детальное тестирование сильно зависит от области применения программного продукта, поэтому данный вопрос надо рассматривать в комплексе с предметной областью применения конкретного программного обеспечения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

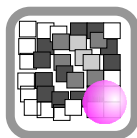
1. Хорвиц Д. UNIX-системы. Проектирование, конфигурирование и формирование технической политики информационного центра. Киев: Диасофт, 2004.
2. Гласс Г., Эйблс К. UNIX для программистов и пользователей. 3-е изд. СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2004.

*D. A. Anisimov*

#### *AUTOMATION OF CONSTRUCTION AND TESTING OF SOFTWARE PRODUCTS IN UNIX-LIKE OPERATIONAL SYSTEMS*

*Main principles of construction and debugging of complex multilevel, multiplatform and multitask software products in Unix-like operational systems on the basis of application of the monitoring system of the version and special system scripts of commands of the standard using a set C Shell and Bourn Shell (BASH) are described.*

**The monitoring system of the version, automation of process of assembly, command Unix**



УДК 681.518.5

*А. А. Леута, Д. А. Прасолин,  
М. А. Кузнецов, А. Н. Лукичев*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПАМЯТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ**

*Ставится вопрос определения необходимого объема памяти микропроцессорной системы диагностирования аккумуляторной батареи при использовании комбинаторного или последовательного способов диагностирования, определяются зависимости объема памяти от параметров и точности определения состояния аккумуляторной батареи для последующей аппаратно-программной реализации.*

**Аккумуляторная батарея, объект диагностирования, работоспособность, аналитическое прогнозирование**

Современные требования к безаварийной эксплуатации аккумуляторных батарей (АБ), а также новые подходы к построению систем бесперебойного электропитания на их основе, изложенные в [1], показывают необходимость тщательной проработки всех компонентов систем, включая структуру, алгоритмы и программы сбора и обработки данных, выбора элементной базы. Одним из основных вопросов при создании образцов подобных систем является вопрос практической реализуемости теоретически возможных решений. Так, поскольку прогрессивным является способ построения систем на основе микроконтроллеров, необходимо в первую очередь быть уверенным в том, что ресурсов, заложенных производителями в конкретные покупные изделия (чипы микроконтроллеров со встроенным ОЗУ или отдельные микросхемы памяти), достаточно для выполнения задуманных алгоритмов и программ.

В данной статье рассмотрим вопрос определения необходимых объемов оперативной памяти, используемой для накопления информации об АБ как об объекте диагностирования (ОД).

В процессе функционирования автоматической системы контроля и диагностирования аккумуляторной батареи (АСКД АБ) с данными, полученными с помощью подсистемы оцифровывания и регистрации, выполняются две функции:

1) фиксация показателей ОД (функция  $D_1$ );

2) алгебро-логическая обработка полученных и накопленных результатов (функция  $D_2$ ).

Аккумуляторная батарея как объект диагностирования определяется множеством диагностических признаков, которые могут быть описаны матрицей

$$F_1 = [A_1 | A_2 | \dots | A_n | B],$$

где  $A_i$  – вектор выходных сигналов  $a_j$  от аккумулятора:

$$A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}^T,$$

где  $i=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  – количество аккумуляторов в батарее;  $j=1, 2, \dots, m$ ,  $m$  – число диагностических признаков аккумулятора;  $B_j$  – вектор диагностических признаков  $b_j$  батареи (обобщенных сигналов) для аккумуляторной батареи размерностью  $n$ :

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}^T,$$

где  $k$  – количество обобщенных сигналов от аккумуляторной батареи.

В простейшем случае  $k = m$ , тогда размерность матрицы  $F_1$  равна:

$$\dim(F_1) = (n+1) \times m.$$

Реализация функции  $D_1$  системы заключается в последовательном проведении  $l$  специальных тестов, каждый из которых проверяет исправность выполнения элементов матрицы  $F_1$ . Пусть  $s_{ij}$  – емкость одного элемента в словах информации (с. и.), тогда все множество выборок можно представить в виде матрицы

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1(n+1)m} \\ s_{21} & \cdot & & \\ \vdots & & \cdot & \\ s_{l1} & & & s_{l(n+1)m} \end{bmatrix}.$$

В зависимости от применяемого в АСКД АБ алгоритма диагностирования возможны два вида процедур проверки состояния батареи: комбинаторный и последовательный. Проведем анализ объемов памяти автоматической системы диагностирования для каждой процедуры.

Комбинаторные методы проверки состояния предполагают сначала получить все выходные сигналы от АБ, т. е. реализовать функцию  $D_1$ , а затем обрабатывать информацию – реализовать функцию  $D_2$ . С учетом этого общий объем памяти

$$V_{\text{комб}} = V_1 + V_2,$$

где  $V_1$  – объем памяти для реализации функции  $D_1$ , который равен объему матрицы  $S$ ;  $V_2$  – объем памяти для реализации функции  $D_2$ . Объем памяти может быть рассчитан по формуле

$$V_1 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{(n+1)m} s_{ij} = (n+1)ml.$$

Объем памяти, необходимый для хранения реализации функции  $D_2$ , зависит от выбранного алгоритма диагностирования и в общем случае может быть разделен на несколько областей памяти:

$$V_2 = V_p + V_{п.д} + V_{п.р},$$

где  $V_p$  – объем памяти, необходимый для размещения матрицы работоспособности;  $V_{п.д}$  – объем памяти, необходимый для поиска дефектов;  $V_{п.р}$  – объем памяти, необходимый для хранения прогноза работоспособности батареи.

Для проверки работоспособности в памяти следует хранить матрицу, соответствующую работоспособному состоянию по каждому из диагностируемых параметров. Тогда

$$V_p = (n+1)ml.$$

При поиске одиночных дефектов объем памяти для хранения данных зависит от числа всех возможных одиночных искажений матрицы  $V$ . Для матрицы размерностью  $(n+1)ml$ , элементы которой в случае допускового контроля могут принимать только бинарные значения, такое число равно  $((n+1)ml)^2$ . В связи с этим объем памяти

$$V_{п.д} = (n+1)ml(1+(n+1)ml).$$

Для определения прогноза работоспособности воспользуемся методами аналитического прогнозирования, изложенными в [2], [3].

Суть методов заключается в построении экстраполяционных полиномов и нахождению остаточного ресурса по каждому диагностическому параметру. Зная остаточный ресурс ОД по каждому параметру, можно определить время его работоспособного состояния в целом, которое равно наименьшему остаточному ресурсу для всех диагностических параметров. Для записи экстраполяционного полинома  $p$ -й степени необходимо знать  $p+1$  коэффициент. Следовательно, для хранения информации о прогнозировании необходимо использовать  $(p+1)$  матрицу для хранения коэффициентов полиномов и одну матрицу для хранения результата оценки. Тогда объем памяти, необходимый для хранения прогноза работоспособности, можно представить в виде

$$V_{п.р} = (n+1)(p+2)ml,$$

где  $p$  – степень экстраполяционных полиномов (параметр точности прогнозирования).

Таким образом, общий объем памяти АСКД АБ составляет

$$\begin{aligned}
 V_{\text{комб}} &= V(F_1) + V(F_2) = \\
 &= (n+1)ml + (n+1)ml + (n+1)ml(1 + (n+1)ml) + (n+1)(p+2)ml = \\
 &= ml(n+1)(5 + (n+1)ml + p).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Последовательные методы диагностирования предполагают выполнение функции  $D_1$  не со всей матрицей выходных сигналов, а только с одной строкой-вектором. На основании полученных результатов переходят к следующей строке матрицы. Таким образом, в связи с тем что при последовательных процедурах информацию обрабатывают не в конце процедуры, как у комбинаторных, а поэтапно, нет необходимости хранить в памяти всю матрицу. Достаточно располагать памятью на  $m$  разрядов, т. е. на одну строку, информация которой стирается после логической обработки. Тогда для уже рассмотренных задач диагностирования общий объем памяти при последовательных процедурах можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{посл}} &= V(F_1) + V(F_2) = \\
 &= (n+1)(1+l)m + (n+1)(1+ml)m + (n+1)m(1 + (n+1)m) + (n+1)(p+2)ml = \\
 &= m(n+1)(3 + l(4 + (n+1)m + p)).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Формулы (1) и (2) позволяют оценить необходимый объем памяти ОЗУ автоматической системы диагностирования АБ в с. и. при комбинаторных и последовательных процедурах диагностирования соответственно в зависимости от выбранной точности прогнозирования и параметров ОД: количества контролируемых параметров аккумулятора и числа аккумуляторов в батарее.

Определим зависимости объема памяти АСКД АБ от количества выборок и количества аккумуляторов при прочих постоянных переменных в расчете на характеристики аккумуляторной батареи, состоящей из аккумуляторов с четырьмя диагностическими параметрами.

На рис. 1 показана зависимость объема памяти АСКД АБ от количества выборок при  $n = 24$ ,  $m = 4$ ,  $p = 2$ : 1 – при комбинаторном методе диагностирования, 2 – при последовательном методе диагностирования. Для примера оценим возможности АСКД АБ с узлом памяти, реализованном на основе микросхемы ОЗУ объемом 1 Мбайт (например, AT25F1024 или DS1265Y). Примем за единицу с. и. объем одного слова центрального вычислительного процессора системы (например, PIC16Fxxx или отечественный микроконтроллер 1886BE), т. е. 1 байт. Тогда для реализации алгоритма диагностирования на основе 10 выборок в случае использования комбинаторных методов память автоматической системы будет полностью заполняться диагностическими данными, а при последовательном методе диагностирования будет использоваться только 10 % памяти системы (100 Кбайт). В таком случае для реализации узла ОЗУ можно использовать микросхему памяти объемом 128 Кбайт (например, AT25128 или DS1240Y).



На рис. 2 показана зависимость объема памяти АСКД АБ от количества аккумуляторов батареи при  $l = 3$ ,  $m = 4$ ,  $p = 2$ : 1 – при комбинаторном методе диагностирования, 2 – при последовательном методе диагностирования. Из рисунка видно, что для создания системы диагностирования АБ, состоящей из 24-х аккумуляторов, требуется 160 Кбайт памяти при комбинаторном методе диагностирования и 80 Кбайт при последовательном методе диагностирования.

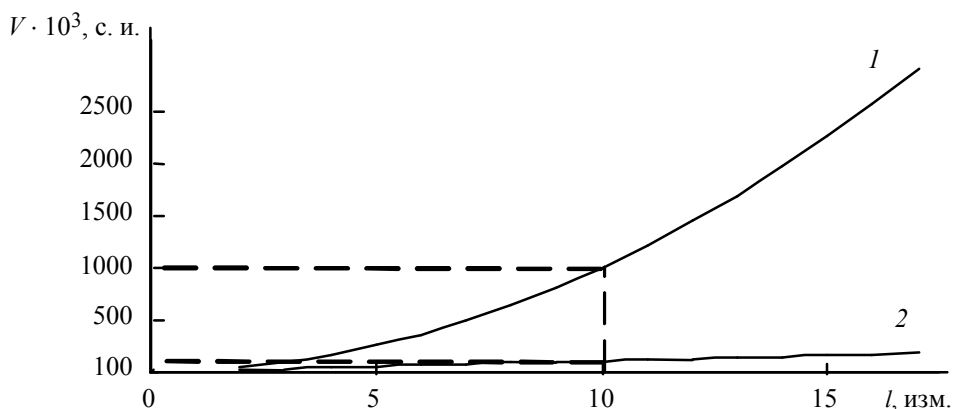


Рис. 1

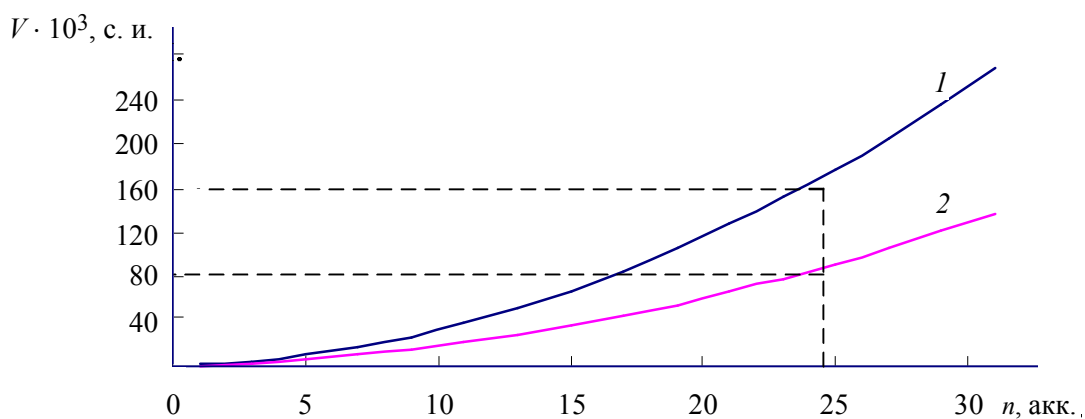


Рис. 2

Анализ графических зависимостей, построенных для соотношений (1) и (2), показал, что увеличение количества измерений (выборок) существенно увеличивает разницу в объеме памяти АСКД АБ при комбинаторных и последовательных процедурах диагностирования, а количество аккумуляторов диагностируемой АБ на эту разницу влияет незначительно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леута А. А., Кузнецов М. А., Прасолин Д. А. Опыт новых разработок корабельной аппаратуры контроля, управления и электропитания: Тез. докл. // Семинар Военно-Морской Академии. СПб., 2008.
2. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975.
3. Калявин В. П., Мозгалеvский А. В., Галка В. Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики: Учебник. СПб.: Элмор, 1996.

*A. A. Leuta, D. A. Prasolin, M. A. Kuznetsov, A. N. Lukichev*

*DETERMINING THE MEMORY SIZE FOR STORAGE BATTERY DIAGNOSTICS AUTOMATIC SYSTEM*

*The question of determining the necessary memory size of microprocessor system for diagnostics of the storage battery is put when using combinatory or consecutive ways of diagnostics. Dependences of the memory size on parameters and accuracy of storage battery condition determination for subsequent hardware-software implementation are determined.*

**The storage battery, diagnostics object, working capacity, analytical forecasting**



УДК 681.621

*В. В. Федоров*

## ПОЛЕ ОДНОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

*Посвящается дальнейшему развитию единой теории поля, основанной на уравнениях Максвелла. Однопроводная линия – гравитационная направляющая система. Исследования однопроводной линии проводятся на основе дифференциальных уравнений гравитационного поля, подобных уравнениям Максвелла.*

**Гравитация, инертная масса, поле ускорений, напряжённость импульсного поля, уравнения Максвелла гравитационного поля, гравитационное напряжение**

Передачу электроэнергии по одному проводу демонстрировал ещё Тесла в 1892 г. в Лондоне и в 1893 г. в Филадельфии [1]. Как он смог это сделать, осталось неизвестным. С увеличением расстояния между проводами в двухпроводной линии её волновое сопротивление выравнивается с волновым сопротивлением внешнего пространства. Однопроводная линия как направляющая электромагнитная система теряет свою способность.

Передачу электроэнергии по одному проводу можно объяснить, если рассматривать линию как гравитационную [2]. Для этого необходимо определить гравитационные поля и движение в них гравитационных зарядов, эквивалентных инертным массам электромагнитного поля.

Теория гравитационного поля зарядов, эквивалентных инертным массам электромагнитного поля [2], основана на законах инерции, всемирного тяготения, сохранения импульсов, моментов, массы и их уравнениях механики сплошной среды [3]:

Законы и уравнения механики подобны законам и уравнениям электродинамики.

По аналогии с электрическим полем в гравитационном поле введено понятие напряжённости  $E_{гр}$  поля ускорений как силы, с которой поле ускорений действует на точечное тело с единичной массой 1 кг:

Кроме напряжённости электрического поля, движущиеся или изменяющиеся во времени электрические заряды создают вокруг себя магнитное поле. При движении или изменении во времени масс вокруг них также образуется импульсное гравитационное поле.

Величина вектора напряжённости импульсного гравитационного поля определяет значение импульса, действующего на единицу поверхности  $1\text{м}^2$ .

Импульсное поле совместно с полем ускорений образуют единое гравитационное поле. Связь между импульсным полем и полем ускорений, исходя из аналогии гравитационных и электромагнитных полей, единства природы и ее закономерностей, определяется из уравнений, аналогичных уравнениям Максвелла, и трёх уравнений связи или вещественных уравнений:  $\mathbf{D}_{\text{Гр}} = \varepsilon_{\text{Гр}} \mathbf{E}_{\text{Гр}}$ ,  $\mathbf{B}_{\text{Гр}} = \mu_{\text{Гр}} \mathbf{H}_{\text{Гр}}$ ,  $\mathbf{J}_{\text{Гр}} = \gamma_{\text{Гр}} \mathbf{E}_{\text{Гр}}$ , где  $\mathbf{D}_{\text{Гр}}$ ,  $\mathbf{B}_{\text{Гр}}$  – векторы индукции, и  $\varepsilon_{\text{Гр}}$ ,  $\mu_{\text{Гр}}$  – проницаемости поля ускорений и импульсного поля;  $\gamma_{\text{Гр}}$  – удельная гравитационная проводимость.

Уравнения Максвелла для гравитационного поля, как и для электромагнитного поля, могут быть получены также из принципа наименьшего действия [2].

Гравитационное поле однопроводной линии подобно электромагнитному полю провода.

Рассмотрим схему однопроводной линии (рис. 1), состоящую из двух воздушных трансформаторов с катушками индуктивности  $L_{11}$ ,  $L_{12}$  и  $L_{21}$ ,  $L_{22}$  и провода, соединяющего их разомкнутые катушки  $L_{12}$  и  $L_{21}$ .

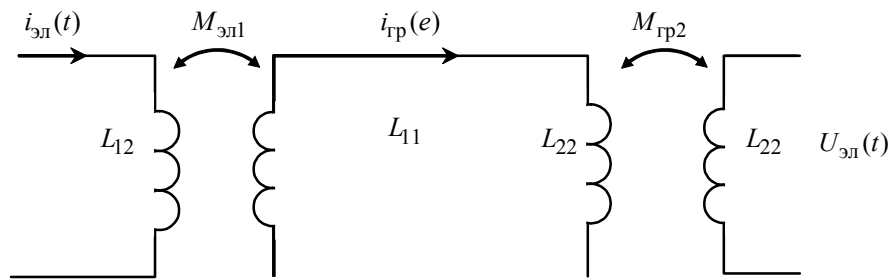


Рис. 1

Воздействие в виде гармонического электрического тока  $i_{\text{эл}}(t) = I_{\text{эл}m} \cos \omega t$  в катушке  $L_{11}$  создаёт магнитный поток, образующий вихревое электрическое поле  $E_{\varphi \text{эл}} = 0,5 \mu_{\text{эл}} \omega r \times \times H_{z \text{эл}m} \sin \omega t$  внутри трансформатора.

Магнитный поток и вихревое электрическое поле образуют радиальный пульсирующий с удвоенной частотой поток реактивной мощности с удельной поверхностной плотностью

$$\Pi_{r \text{эл}} = 0,25 \mu_{\text{эл}} \omega r H_{z \text{эл}m}^2 \sin 2 \omega t ,$$

эквивалентный гравитационному току.

Плотность гравитационного тока определяется отношением удельной поверхностной плотности электромагнитной мощности к квадрату скорости света  $j_{\text{Гр}}(t) = \Pi_{\text{эл}m} \sin 2\omega t / c^2$ .

Радиальный гравитационный ток, на основании I уравнения Максвелла гравитационного поля, создаёт внутри воздушного трансформатора продольный поток импульсного поля напряженностью

$$H_{z \text{Гр}}(t) = j_{\text{Гр}m} \frac{1}{2\omega \sqrt{\varepsilon_{\text{Гр}} \mu_{\text{Гр}}}} \sin(2\omega t + \pi/2) .$$

На основании II уравнения Максвелла, поток импульсного поля образует вихревое поле ускорений напряженностью

$$E_{\text{фгр}}(t) = j_{\text{гр}m} \frac{\mu_{\text{гр}}}{\sqrt{\varepsilon_{\text{гр}}\mu_{\text{гр}}}} \frac{r}{6} \sin 2\omega t.$$

Вихревое поле ускорений создает в катушке  $L_{12}$  гравитационное напряжение

$$U_{\text{гр}}(t) = j_{\text{гр}m} \frac{\mu_{\text{гр}} W_{12}}{\sqrt{\varepsilon_{\text{гр}}\mu_{\text{гр}}}} \frac{\pi r_0^2}{3} \sin 2\omega t.$$

Под действием напряжения  $U_{\text{гр}}(t)$  в соединяющем катушки  $L_{12}$  и  $L_{21}$  проводе с входной проводимостью  $Y_{\text{гр}}(\omega)$  возникает однополярный гравитационный ток

$$i_{\text{гр}} = \frac{1}{\pi} U_{\text{гр}m} \left\{ Y_{\text{гр}m}(0) + \sum_{k=1}^{\infty} Y_{\text{гр}}(2k\omega) \frac{2 \cos 0,5\pi k}{1-k^2} \cos [2k\omega t - 0,5\pi k + \arg Y_{\text{гр}}(2k\omega)] \right\}.$$

По проводу распространяется спектр поперечных гравитационных волн удвоенной частоты. В катушках  $L_{21}$  и  $L_{22}$  они создают внутренний импульсный поток с напряженностью

$$H_{z_{\text{гр}21}}(t) = \frac{i_{\text{гр}} W_{21}}{l_{21}}, \text{ вихревое радиальное поле ускорений } E_{r_{\text{гр}21}}(t) = -\sqrt{\mu_{\text{гр}}/\varepsilon_{\text{гр}}} H_{z_{\text{гр}21}}(t) \text{ и}$$

радиальный ток с плотностью

$$j_{r_{\text{гр}}}(t) = \varepsilon_{\text{гр}} \frac{\partial E_{r_{\text{гр}}}(t)}{\partial t} = \varepsilon_{\text{гр}} E_{r_{\text{гр}m}},$$

$\sum_{k=1}^{\infty} Y_{\text{гр}}(2k\omega) \frac{4k\omega \cos 0,5\pi k}{\pi (1-k^2)} \sin [2k\omega t - 0,5\pi k + \arg Y_{\text{гр}}(2k\omega)]$ , т. е. радиальный удельный поток мощности электромагнитного поля

$$\Pi_{r_{\text{эл}}}(t) = c^2 j_{r_{\text{гр}}}(t) = \varepsilon_{\text{гр}} c^2 E_{r_{\text{гр}m}},$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} Y_{\text{гр}}(2k\omega) \frac{4k\omega \cos 0,5\pi k}{\pi (1-k^2)} \sin [2k\omega t - 0,5\pi k + \arg Y_{\text{гр}}(2k\omega)].$$

Удельный поток мощности каждой гармоники создает вихревое электрическое поле  $E_{\text{фэл}}(t) = \sqrt{\mu_{\text{эл}} k \omega r_0 \Pi_{r_{\text{эл}m}}(2k\omega)} \sin k\omega t$  и напряжение на выходе катушки  $L_{22}$   $U_{\text{эл}k}(t) = 2\pi r_0 W_{22} \sqrt{\mu_{\text{эл}} k \omega r_0 \Pi_{r_{\text{эл}m}}(2k\omega)} \sin k\omega t$ .

Напряжение от всех гармоник найдем, просуммировав напряжения отдельных гармоник

$$U_{\text{эл}}(t) = 2\pi r_0 W_{22} \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{\mu_{\text{эл}} k \omega r_0 \Pi_{r_{\text{эл}m}}(2k\omega) |Y_{\text{гр}}(2k\omega)|} \sin [k\omega t + 0,5 \arg Y_{\text{гр}}(2k\omega)].$$

После подстановки в это выражение величины радиального удельного потока мощности электромагнитного поля, коэффициентов взаимной индукции  $M_{\text{эл}1}$  и  $M_{\text{гр}2}$  получаем напряжение реакции на катушке  $L_{22}$  от гармонического воздействия электрического тока  $i_{\text{эл}}(t) = I_{\text{эл}m} \cos \omega t$  в катушке  $L_{11}$

$$U_{\text{эл}}(t) = \omega M_{\text{эл}1} I_{\text{эл}} m \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{\frac{2}{3} k \omega M_{\text{Гр}2} \frac{W_{22}}{W_{11}} |Y_{\text{Гр}}(2k\omega)| \frac{4k \cos 0,5\pi k}{1-k^2}} \sin[k\omega t + 0,5 \arg Y_r(2k\omega)]$$

в виде ряда Фурье – бесконечной суммы напряжений отдельных гармоник.

По однопроводной линии распространяется спектр поперечных гравитационных волн удвоенной частоты, оказывающих слабое воздействие на массы свободных электронов провода по сравнению с электромагнитными волнами с сильным взаимодействием на их электрические заряды. В связи с этим, тепловые потери, достигающие в двухпроводных линиях 10–15 %, в однопроводных линиях минимальны. Толщина провода в таких линиях может быть выбрана, в основном, из соображений его прочности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

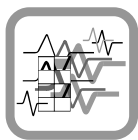
1. Сейфер М. Абсолютное оружие Америки. М.: Эксмо, Яуза, 2005.
2. Федоров В. В. Единая теория поля. 8-е изд., доп. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.
3. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1976.

*V. V. Fedorov*

#### *FIELD ONE CONDUCTOR LINE*

*Dedicated to the development of the Unified Field Theory based on Maxwell equations.  
One conductor line is direction gravitation system. Analysis of one conductor line to be  
founded on gravitation analogies differential Maxwells equations.*

**Gravitation, inert mass, field acceleration, pulse field strength, Maxwells equations gravitation field, gravitation stress**



УДК 681.7.069.223:621.791.72:903.32

*S. Siano, L. Bartoli, A. Mencaglia, R. Salimbeni,  
M. Giamello, В. А. Парфенов*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКЕ КАМЕННЫХ ПАМЯТНИКОВ (ЭКСПЕРИМЕНТ)**

*Представлены результаты исследований фототермических процессов лазерной абляции при обработке каменных поверхностей излучением Nd:YAG-лазеров на длине волны 1064 нм с различной длительностью импульса. Описаны методика и результаты экспериментов, проведенных с эталонными образцами и фрагментами подлинных средневековых памятников из музеев г. Флоренции.*

**Лазерная очистка, реставрация произведений искусства, Nd:YAG-лазер, лазерная абляция**

Лазерная очистка как метод реставрации произведений искусства впервые была применена в Италии более 30 лет назад [1]. Поначалу работы в этой области затрагивали реставрацию только мраморных скульптур и других каменных памятников. И хотя в последующие годы лазеры стали использовать для сохранения памятников и из других материалов (керамики, дерева, стекла и др.) [2], [3], лазерная очистка камня все еще остается основной областью применения данной технологии в реставрации. При этом, несмотря на высокую эффективность лазерной обработки, до сих пор не прекращаются активные междисциплинарные дебаты по поводу возможных ограничений на использование лазеров в реставрации вообще и в реставрации каменных памятников в частности.

Одна из причин ожесточенных споров между специалистами связана с тем, что с момента своего появления и до сих пор лазерная очистка камня традиционно выполняется с помощью Nd:YAG-лазеров с длиной волны 1064 нм, работающих в режиме модулированной добротности, так называемых QS-лазеров (QS – сокращение от английского слова Q-switched). Однако, как не раз отмечалось в научной литературе, QS-

лазеры отличаются агрессивностью воздействия по отношению к материалу памятников из различных горных пород, что может приводить к нарушению микрорельефа и изменению цвета поверхности [3]–[5]. Именно эти негативные явления и являются основными аргументами, которые приводят противники метода лазерной очистки как такового. В связи с этим от успешного решения данной проблемы во многом зависит принятие/непринятие технологии лазерной очистки как метода реставрации в целом.

Такое положение дел стимулировало в последние годы проведение активных научно-исследовательских работ по лазерной очистке каменных памятников. В качестве одного из возможных путей решения проблемы специалисты по лазерным технологиям стали предлагать использование различных режимов генерации Nd:YAG-лазеров. Так, группой специалистов из Института прикладной физики (IFAC-CNR, Италия) был разработан Nd:YAG-лазер, работающий в режиме свободной генерации с «укороченной» длительностью импульса, так называемый SFR-лазер (SFR – сокращение английских слов short free running) [6], [7].

Характерная длительность импульса SFR-лазера составляет 20...120 мкс, что является рекордно низким значением, которое могут обеспечить современные электронные блоки питания твердотельных лазеров. Указанные значения почти в 10 раз меньше, чем характерная длительность импульса Nd:YAG-лазеров, работающих в режиме свободной генерации (FR-лазеров), и почти в 1000 раз больше, чем длительность импульса QS-лазеров. Необходимость создания SFR-лазера была вызвана стремлением уменьшить негативные последствия нелинейно-оптической абсорбции, а также фотомеханических и плазменных явлений, которые играют заметную роль в «агрессивности» воздействия лазерного излучения на камень. Предложенный подход оказался весьма эффективным, поскольку при использовании SFR-лазера не были отмечены не только фотомеханические повреждения камня (в том числе хрупких и сильно поврежденных каменных поверхностей), но и какие бы то ни было изменения цвета [8].

В работах других научных групп проблема «пожелтения» мрамора была решена при одновременной обработке его поверхности излучением двух длин волн – комбинацией 2-й и 3-й гармоник Nd:YAG-лазера [9]. Однако такое техническое решение существенно усложняет конструкцию лазера и увеличивает его стоимость. Позднее в IFAC-CNR был предложен еще один подход, основанный на создании нового типа Nd:YAG-лазеров – так называемого LQS-лазера (LQS – сокращение английских слов long Q-switched). LQS-лазер работает в режиме модулированной добротности с увеличенной (по сравнению с обычным QS-режимом) длительностью импульса, которая в этом случае составляет десятки наносекунд – единицы микросекунд. Указанная длительность импульса достигается в лазерном резонаторе, в который для увеличения длины светового пути между «глухим» и выходным зеркалами вводят оптоволоконный кабель большой (3...10 м) длины. Поначалу LQS-лазеры использовались для очистки артефактов из металла, но впоследствии была продемонстрирована их высокая эффективность и при обработке камня [10].

В данной статье с единых позиций рассмотрен комплекс вопросов, связанных с лазерной очисткой каменных поверхностей, включая теоретическое описание процессов лазерной абляции и натурные эксперименты, выполненные с использованием различных типов Nd:YAG-лазеров на модельных образцах и фрагментах средневековых скульптур.



**Материалы и экспериментальные методы.** При проведении экспериментальных исследований были использованы 3 различных типа Nd:YAG-лазеров, работающих на основной длине волны излучения (1064 нм): 1) SFR-лазер (модель Smart Clean II, производство компании El.Ep. (Италия)) с оптоволоконным выводом и длительностью импульса, варьирующейся в пределах 50...110 мкс (в зависимости от энергии импульса, которая может меняться в пределах 0,2...2 Дж); 2) LQS-лазер с оптоволоконным выводом, длительностью импульса 120...950 нс и энергией 300 мДж; 3) QS-лазер (модель Raffaello, производство компании Quanta System (Италия)) с доставкой излучения при помощи шарнирной оптомеханической «руки», длительностью импульса 8 нс и энергией 450 мДж. Кроме того, ряд экспериментов был выполнен при помощи еще одного QS-лазера (модель LaserBlast-50, производство компании Quantel (Франция)) с оптоволоконным выводом, длительностью импульса 20 нс и энергией 300 мДж.

В качестве объектов исследований использовались 2 набора эталонных (специально изготовленных) образцов, моделирующих черную гипсовую корку, которая образуется на поверхности экстерьерных памятников из мрамора и других горных пород под воздействием атмосферных осадков и иных факторов окружающей внешней среды. Первый набор (А) представлял собой таблетки, изготовленные из гомогенизированного сухого ксантина (85 %) и черного углерода (15 %). Указанные таблетки изготавливались способом, аналогичным приготовлению образцов в ИК-спектроскопии: порошкообразный ксантин – минеральное вещество белого цвета – смешивался с углеродом, после чего указанная смесь формировалась прессованием. В получаемой таким образом таблетке ксантин выполняет роль опорной структуры (матрицы).

Второй набор эталонных образцов (Б) был приготовлен из смеси порошкообразных гипса (85 %), черного углерода (10 %) и кварца (5 %). Эта смесь тщательно перемешивалась с добавлением воды и наносилась на подложку из песчаника, имеющую форму прямоугольной пластины толщиной около 1 см. После высыхания на подложке образовывалось черное покрытие, имитирующее гипсовую корку на поверхности мрамора. Такая методика создания имитаторов гипсовой корки является общепринятой и согласована со специалистами-реставраторами.

Эксперименты по удалению гипсовой корки выполнялись преимущественно методом так называемой влажной лазерной очистки. Для этого обрабатываемая поверхность смачивалась водой при помощи кисти или обрызгивалась из пульверизатора. Исключение составили лишь несколько тестов с использованием LQS-лазера, выполненных по методу сухой очистки.

Общая методика всех проведенных экспериментов сводилась к следующему. На поверхность образцов направлялся сфокусированный лазерный пучок, диаметр которого поддерживался неизменным. При этом уровень плотности энергии лазерного излучения варьировался с помощью набора оптических зеркал (с различными коэффициентами отражения) и нейтральных светофильтров. Под воздействием высокоинтенсивного лазерного излучения удалялся материал черной гипсовой корки благодаря эффекту лазерной абляции. Результаты абляции оценивались с помощью параметра «степень абляции», под которым подразумевалось отношение глубины «кратера», образующегося в области фокусировки лазерного пучка после удаления части материала, к числу лазерных импульсов. Единица измерения этого параметра – микрон на импульс (мкм/имп.). Глубина «кратера» измерялась контактным микропрофилометром Hommel-Tester T-2000 (пр-во компании Hommelwerke GmbH, Германия). Внешний вид эталонных образцов с характерными «кратерами» показан на рис. 1.



Рис. 1

Помимо эталонных (тестовых) образцов в экспериментах использовались также подлинные исторические объекты из музеев г. Флоренции (Италия), представлявшие собой фрагменты средневековых памятников с гипсовыми корками на поверхности. Среди них были 2 образца из каррарского мрамора и один образец из гипса, а именно: фрагмент спиралевидной мраморной колонны (часть декора знаменитого кафедрального собора Санта Мария дель Фьоре во Флоренции), фрагмент мраморной балясины из наружной ограды купола этого же собора и фрагмент гипсовой статуи с одного из надгробий монументального кладбища г.

Флоренции XIX в. Все эти объекты прежде находились на открытом воздухе, но попали в музеи по причине прогрессирующего разрушения, связанного с сульфатизацией их поверхностей.

Для контроля состояния поверхностей этих объектов (до и после лазерной очистки) использовались следующие методы: визуальный контроль при помощи стереомикроскопа, микропрофилометрия, исследование микрошлифов на электронном сканирующем микроскопе, рентгеновский анализ и инфракрасная Фурье-спектроскопия.

**Результаты экспериментов по лазерной абляции.** На рис. 2 представлена зависимость степени абляции эталонных образцов из набора А от плотности энергии лазерного излучения при различной длительности импульса (для LQS-лазера).

Значения плотности энергии лазерного излучения, при которых достигаются уровни абляции и насыщения, возрастают по мере увеличения длительности импульса и лежат в пределах  $0,7 \dots 1,4$  Дж/см<sup>2</sup> и  $1,5 \dots 3$  Дж/см<sup>2</sup> соответственно, в то время как степень абляции достигает своего насыщения вблизи значения 5 мкм/имп., что позволяет оценить глубину проникновения света в материал.

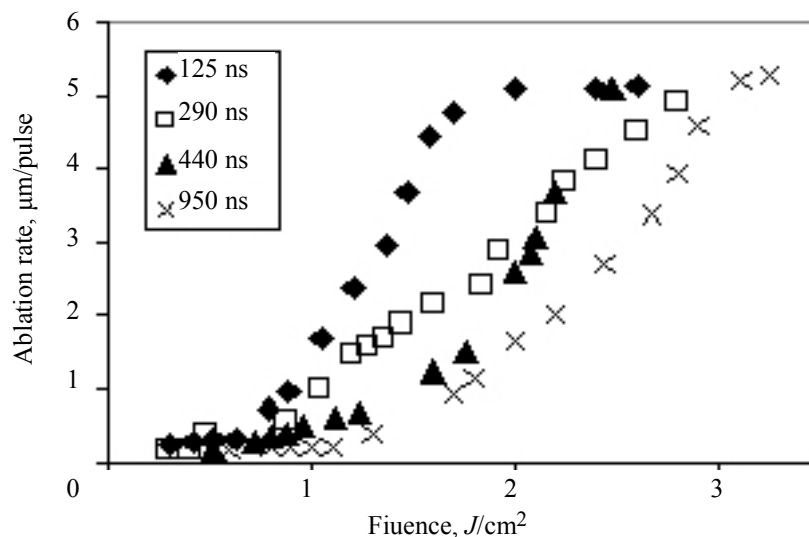
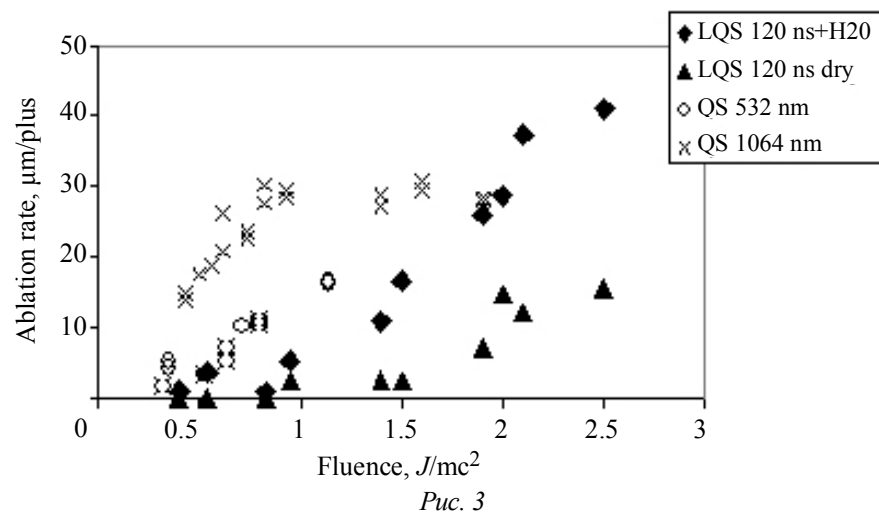


Рис. 2

Данная зависимость показывает, что вклад фотомеханических факторов в процесс абляции вещества возрастает по мере уменьшения длительности лазерного импульса. Однако во всех случаях этот вклад ограничен глубиной проникновения света в материал.

Интересно отметить, что при работе с образцами из набора Б отмечалась более высокая степень абляции. Эти эксперименты проводились для трех различных значениях

длительности импульса (8 нс, 120 нс, 50–90 мкс) при работе на основной длине волны Nd:YAG-лазера (1064 нм), а также для длительности импульса 8 нс при работе на длине волны второй гармоники излучения (532 нм). На рис. 3 представлена зависимость степени абляции эталонных образцов из набора Б от плотности энергии лазерного излучения при различной длительности импульса (для LQS-лазера  $\tau = 20$  нс; для QS-лазера (для 1-й и 2-й гармоник излучения)  $\tau = 8$  нс). Как видно из приведенного графика, результаты измерений степени абляции при длительности импульса 8 нс имеют большой разброс. Это может быть связано с тем, что из-за очень неравномерного распределения светового поля в поперечном сечении пучка излучения использованного в этих экспериментах лазера на поверхностях образцов образовывались крайне нерегулярные углубления. Это в значительной степени затрудняло процесс измерений глубины «кратеров», проводившихся при помощи контактного микропрофилометра.



Заметим, что данные, приведенные на этом графике, соответствуют средним значениям максимальной глубины отдельных «кратеров», полученных при воздействии лазерного излучения в различных зонах на поверхности образцов (среднее количество «кратеров», полученных при каждой длительности импульса, составляло 10–15). Из-за более низкого содержания частиц углерода в образцах из набора Б (по сравнению с образцами из набора А) эффективная глубина проникновения лазерного излучения в материал для них была больше и в условиях «сухой» лазерной очистки составляла около 20 мкм.

Заметим, что кривые на рис. 3 показывают уменьшение порога абляции при изменении длительности импульса от 120 до 8 нс, что указывает на значительный вклад фотомеханических факторов в процесс абляции. За счет этого усиливается процесс удаления материала, причем на глубину даже большую, чем глубина проникновения света. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не наступает насыщение, которое отмечается при глубинах около 30 мкм.

Заметим, что смачивание поверхности образцов водой также приводит к увеличению уровня насыщения степени абляции (около 40 мкм/имп. при длительности импульса 120 нс), вызывая тем самым уменьшение коэффициента рассеяния, увеличение глубины проникновения и существенное снижение значения порога абляции из-за испарения воды.

SFR-лазер с максимальной длительностью импульса 120 мкс во влажных условиях обеспечивал почти линейное увеличение степени абляции при увеличении плотности

энергии и длительности лазерного импульса. На рис. 4 представлена зависимость степени абляции эталонных образцов из набора Б и спиралевидной мраморной колонны (Column) при обработке SFR-лазером.

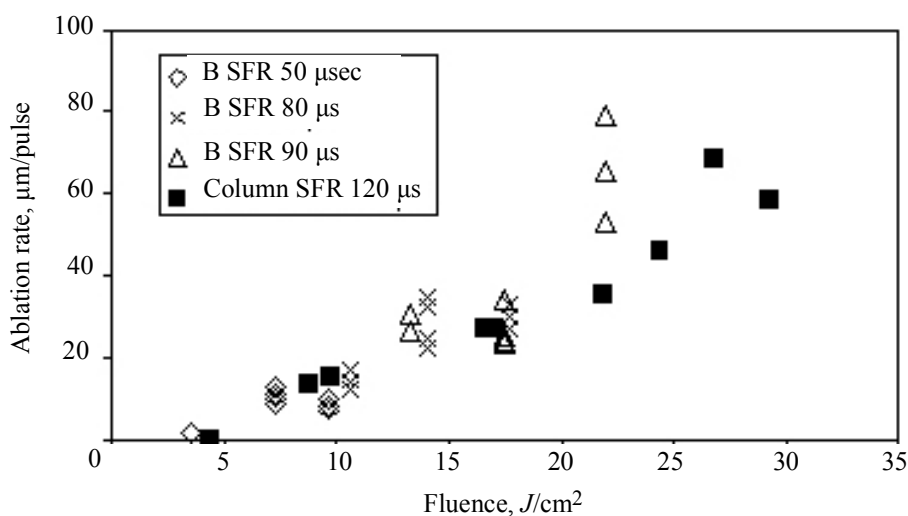


Рис. 4

При этом в пределах достигавшихся в экспериментах уровней плотности энергии излучения не наблюдалось насыщения процесса абляции. Так, например, при максимальном (достигавшемся в экспериментах) значении плотности энергии около 30 Дж/см<sup>2</sup> значение степени абляции составляло около 60 мкм/имп. Это свидетельствует о том, что в тех случаях, когда степень абляции определяется длительностью импульса (помимо ее зависимости от значения плотности энергии), основной вклад в процесс абляции вносят тепловые факторы лазерного воздействия.

Степень абляции, достигаемая при работе с SFR-лазером ( $\tau = 120$  мкс), была измерена также и в экспериментах по очистке фрагмента одного из использованных в экспериментах средневековых памятников – спиралевидной мраморной колонны, на поверхности которой присутствовала толстая однородная корка черного гипса. Наличие указанной корки позволило провести многократные измерения при одинаковых режимах лазерного воздействия (см. об этом подробнее в следующем номере журнала).

Как показывает рис. 4, значения степени абляции для колонны хорошо коррелируют с результатами экспериментов, проведенных с эталонными образцами из набора Б. Отсутствие насыщения при уровнях плотности энергии лазерного излучения до 30 Дж/см<sup>2</sup> является явным свидетельством теплового режима воздействия, достигаемого при облучении исследуемых материалов лазерным излучением с длительностью импульса в диапазоне от 50 до 120 мкс.

Полученные экспериментальные данные были проанализированы с учетом теоретических модельных представлений. Результаты этого анализа и выводы по всей работе в целом будут представлены в отдельной статье в следующем номере журнала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lazzarini L., Asmus J. F., Marchesini V. L. Laser for cleaning of statuary: initial results and potentialities // 1<sup>st</sup> Int.Symposium on the Deterioration of Building Stones. 1972. Vol. 72/1. P. 63–68.
2. Salimbeni R. Laser techniques in Conservation in Europe // SPIE Proceedings. 2005. Vol. 5857. P. 8–18.
3. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation: An Introduction / Butterworth-Heinemann. Oxford, 1998.
4. Yellowing effect and discoloration of pigments: experimental and theoretical studies / V. Zafirooulos, C. Balas, A. Manousaki et al. // Journ. of Cultural Heritage. 2003. Vol. 4. P. 249–256.
5. Studies towards a thorough understanding of the laser-induced discoloration mechanisms of medieval pigments / P. Pouli, D. C. Emmony, C. E. Madden, I. Sutherland // Journ. of Cultural Heritage. 2003. Vol. 4. P. 271–275.
6. Cleaning processes of encrusted marbles by Nd:YAG lasers operating in free running and Q-switching regimes / S. Siano, F. Margheri, P. Mazzinghi et al. // Applied Optics. 1997. Vol. 36. P. 7073–7079.
7. SMART CLEAN: a new laser system with improved emission characteristics and transmission through long optical fibres / F. Margheri, S. Modi, L. Masotti et al. // Journ. of Cultural Heritage. 2000. Vol. 1. P. S119–S123.
8. Synhronous use of IR and UV laser pulses in the removal of encrustation: mechanic aspects, discoloration phenomena and benefits. / V. Zafirooulos, P. Pouli, V. Kylikoglou et al.; LACONA V Proceedings, K. Dickmann, C. Fotakis C., J. F. Asmus (ed.s). Berlin: Springer-Verlag, 2003. P. 311–318.
9. The conservation of the Porta della Mandorla / S. Siano, A. Giusti, D. Pinna et al.; LACONA V Proceedings, K. Dickmann, C. Fotakis C., J. F. Asmus (ed.s). Berlin: Springer-Verlag, 2003. P. 171–178.
- 10 Salimbeni R., Pini R., Siano S. A variable pulse width Nd:YAG lasser for conservation // Journ. of Cultural Heritage. 2000. Vol. 4. P. 72–76.

*S. Siano, L. Bartoli, A. Mencaglia, R. Salimbeni, M. Giamello, V. A. Parfenov*

### *STUDY OF THERMOOPTICAL PROCESSES AT LASER CLEANING OF STONE MOMUMENTS (EXPERIMENT)*

*The paper presents results of study of the thermo-optical processes of laser ablation at the treatment of stone surfaces by radiation of Nd:YAG lasers at the wavelength of 1064 nm with different pulse duration. First part of the paper is dedicated to description of technique and experimental results carried out on etalon samples and fragments of medieval monuments from museums of Florence.*

**Laser cleaning, artworks conservation, Nd:YAG-laser, laser ablation**

УДК 534.26+620.179.16

***К. Е. Аббакумов, В. А. Бритвин, Р. С. Коновалов***

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛНЫ РЭЛЕЯ ВДОЛЬ ГРАНИЦЫ ТВЕРДОГО ТЕЛА С ТРЕЩИНОЙ**

*Численно-теоретическим путем решена задача о рассеянии поверхностных волн на дефектах в виде полубесконечных трещин, расположенных на поверхности твердого упругого тела в рамках модели “нежесткого” соединения в приближении линейного “скольжения”. Получены коэффициенты отражения и прохождения для волны Рэлея. Учтено влияние волн, возникающих на гранях трещины.*

**Волны Рэлея, волны Стоунли, нарушенный акустический контакт, неразрушающий контроль**

Одним из наиболее распространенных типов звуковых волн являются волны Рэлея [1]. Данный тип волн хорошо изучен и широко применяется на практике. При их использовании для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность объекта или залегающих на небольшой глубине, весьма полезны количественные оценки коэффициентов отражения и прохождения этих волн в случаях пограничных дефектов различных форм и размеров [2]. В большинстве работ, посвященных данной проблеме, не учитываются условия контактирования границ раздела дефектов. Так в работах [3]–[5] приводятся результаты экспериментальных исследований рассеяния волн Рэлея. Теоретические исследования распространения этих волн вдоль неровных границ [6]–[9] и рассеяния их на единичных

дефектах [10] проводились методом возмущений в предположении о малости характерных размеров неоднородностей по сравнению с длиной рэлеевской волны. Все рассмотренные в данных работах дефекты в виде трещин имеют свободные поверхности. В связи с этим существует необходимость учета распространения акустических волн вдоль трещины, образованной множеством выступов и впадин микрорельефа. Данная задача может быть

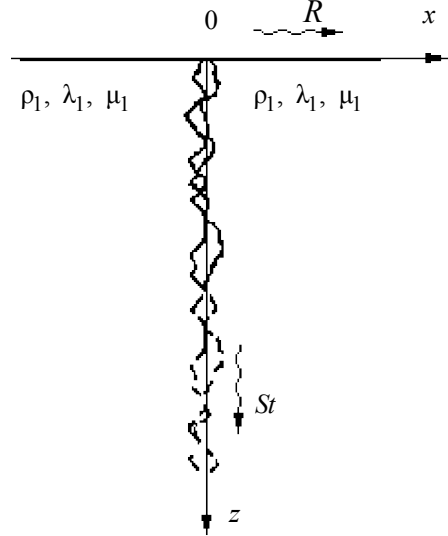


Рис. 1

решена в рамках модели “нежесткого” соединения в приближении линейного “скольжения” [11].

При падении поверхностной волны на произвольный дефект происходит ее частичная трансформация в объемные волны, распространяющиеся в глубь среды и уносящие некоторую долю энергии падающей волны [12]. Если трещина обладает некоторой жесткостью, могут возникнуть граничные волны, также “отнимающие” часть энергии. В общем случае предполагается, что подобными волнами могут быть волны Стоунли, поскольку выполняются все условия для их существования [13].

Рассмотрим распространение волны Рэлея с вектором смещения вдоль поверхности  $z = 0$  в положительном направлении оси  $0x$  (рис. 1). Считая, что волна в каждом из полупространств состоит из суммы

продольной и поперечной плоских волн, каждая из которых является решением уравнения движения с соответствующими значениями плотности и коэффициентов Ламэ  $\rho$ ,  $\lambda$  и  $\mu$ , выражения для смещений в падающей волне будут [1]:

$$\begin{cases} U_x = iA_R [-k_R \exp(-q_R z) + s_R P_R \exp(-s_R z)] \exp[i(\omega t - k_R x)], \\ U_z = A_R [q_R \exp(-q_R z) - k_R P_R \exp(-s_R z)] \exp[i(\omega t - k_R x)], \end{cases} \quad (1)$$

где  $A_R$  – произвольная амплитуда волны Рэлея;  $k_R$  – скорость волны Рэлея;  $q_R = \sqrt{k_R^2 - k_l^2}$ ;  $s_R = \sqrt{k_R^2 - k_t^2}$ ;  $P_R = \frac{2k_R q_R}{k_R^2 + q_R^2}$ ;  $\omega$  – круговая частота;  $k_l = \frac{\omega}{c_l}$ ,  $k_t = \frac{\omega}{c_t}$ ;  $c_l, c_t$  – скорости продольных и поперечных волн.

Векторы напряжений, выраженные через векторы смещений, будут [14]:

$$\vec{\sigma} = \lambda \vec{n} \nabla U + \mu [\vec{n} \times [\nabla \times \vec{U}]] + 2\mu \frac{\partial}{\partial n} \vec{U}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) получим:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = A_R \left[ \lambda (k_R^2 - q_R^2) \exp(-q_R z) + 2\mu (k_R^2 \exp(-q_R z) - P_R s_R k_R \exp(-s_R z)) \right] \times \\ \quad \times \exp[i(\omega t - k_R x)], \\ \sigma_{zz} = A_R \left[ \lambda (k_R^2 - q_R^2) \exp(-q_R z) + 2\mu (k_R^2 \exp(-q_R z) + P_R s_R k_R \exp(-s_R z)) \right] \times \\ \quad \times \exp[i(\omega t - k_R x)], \\ \sigma_{xz} = i\lambda A_R \left[ 2k_R q_R \exp(-q_R z) - P_R (k_R^2 + s_R^2) \exp(-s_R z) \right] \exp[i(\omega t - k_R x)]. \end{cases} \quad (3)$$

Определим смещения и напряжения, создаваемые волной Стоунли на границе раздела, как показано в работе [13]. Предположим, что волна Рэлея полностью преобразуется в волну Стоунли при “переходе” через трещину. Тогда решить поставленную задачу можно определив основные характеристики волны Стоунли, а затем связав их с характеристиками волны Рэлея.

Выражения для смещений в волне Стоунли можно представить в виде [14]:

$$\begin{cases} U_z^{(1)} = \left[ -ik_{St}A_1^{St} \exp(-q_{St}x) + s_{St}B_1^{St} \exp(-s_{St}x) \right] \exp[i(\omega t - k_{St}z)], \\ U_x^{(1)} = \left[ q_{St}A_1^{St} \exp(-q_{St}x) + ik_{St}B_1^{St} \exp(-s_{St}x) \right] \exp[i(\omega t - k_{St}z)], \\ U_z^{(2)} = \left[ -ik_{St}A_2^{St} \exp(q_{St}x) + s_{St}B_2^{St} \exp(s_{St}x) \right] \exp[i(\omega t - k_{St}z)], \\ U_x^{(2)} = \left[ -q_{St}A_2^{St} \exp(q_{St}x) - ik_{St}B_2^{St} \exp(s_{St}x) \right] \exp[i(\omega t - k_{St}z)], \end{cases} \quad (4)$$

где  $A_{1,2}^{St}$ ,  $B_{1,2}^{St}$  – произвольные амплитуды;  $s_{St} = \sqrt{k_{St}^2 - k_t^2}$ ;  $q_{St} = \sqrt{k_{St}^2 - k_l^2}$  (под  $q_{St}$  и  $s_{St}$  понимаются ветви этих функций, удовлетворяющие принципу излучения);  $k_{St}$  – волновое число.

Компоненты тензора напряжений в средах 1 и 2 выражаются следующим образом:

$$\sigma_{xz} = \mu \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right), \quad \sigma_{xx} = \lambda \left( \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial U_x}{\partial x}$$

и равны соответственно:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^{(1)} &= \mu \left[ A_1^{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-q_{St}x) - 2B_1^{St} ik_{St}s_{St} \exp(-s_{St}x) \right] \exp(ik_{St}z), \\ \sigma_{xx}^{(2)} &= \mu \left[ A_2^{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(q_{St}x) - 2B_2^{St} ik_{St}s_{St} \exp(s_{St}x) \right] \exp(ik_{St}z), \\ \sigma_{xz}^{(1)} &= \mu \left[ 2A_1^{St} ik_{St}q_{St} \exp(-q_{St}x) - B_1^{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-s_{St}x) \right] \exp(ik_{St}z), \\ \sigma_{xz}^{(2)} &= \mu \left[ -2A_2^{St} ik_{St}q_{St} \exp(q_{St}x) + B_2^{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(s_{St}x) \right] \exp(ik_{St}z). \end{aligned} \quad (5)$$

В выражении (5) и в дальнейшем опущен временной член  $\exp(i\omega t)$ .

Граничные условия для нарушенного акустического контакта состоят в непрерывности нормальных компонент напряжения и условиях линейного “скольжения” для компонент смещений  $U_{x,z}^{(1,2)}$  при  $x = a$  ( $a$  – некоторое расстояние от начала отсчета до трещины) [11]:

$$\begin{cases} \sigma_{xx}^{(1)}|_{x=a} = \sigma_{xx}^{(2)}|_{x=a}, \\ \sigma_{xz}^{(1)}|_{x=a} = \sigma_{xz}^{(2)}|_{x=a}, \\ U_x^{(1)}|_{x=a} = U_x^{(2)}|_{x=a} + \frac{\sigma_{xz}^{(2)}}{KGN}|_{x=a}, \\ U_z^{(1)}|_{x=a} = U_z^{(2)}|_{x=a} + \frac{\sigma_{xx}^{(2)}}{KGT}|_{x=a}. \end{cases} \quad (6)$$

Подставив (4) и (5) в (6) получим систему уравнений:

$$\begin{cases}
q_{St} \exp(-q_{St}a) A_1^{St} + \left[ 1 - \frac{2\mu i k_{St}}{KGN} \right] q_{St} \exp(q_{St}a) A_2^{St} + i k_{St} \exp(-s_{St}a) B_1^{St} + \\
+ \left[ i k_{St} + \frac{\mu (k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN} \right] \exp(s_{St}a) B_2^{St} = 0, \\
i k_{St} \exp(-q_{St}a) A_1^{St} + \left[ i k_{St} - \frac{\mu (k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGT} \right] \exp(q_{St}a) A_2^{St} + s_{St} \exp(-s_{St}a) B_1^{St} + \\
+ \left[ -s_{St} - \frac{2\mu i k_{St} s_{St}}{KGT} \right] \exp(s_{St}a) B_2^{St} = 0, \\
-\mu (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-q_{St}a) A_1^{St} + \mu (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(q_{St}a) A_2^{St} - \\
- 2\mu i k_{St} s_{St} \exp(-s_{St}a) B_1^{St} + 2\mu i k_{St} s_{St} \exp(s_{St}a) B_2^{St} = 0, \\
2\mu i k_{St} q_{St} \exp(-q_{St}a) A_1^{St} + 2\mu i k_{St} q_{St} \exp(q_{St}a) A_2^{St} - \\
- \mu (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-s_{St}a) B_1^{St} - \mu (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(s_{St}a) B_2^{St} = 0.
\end{cases} \quad (7)$$

Нетривиальное решение системы (7) возможно в случае равенства ее определителя нулю. Искомой поверхностной волне соответствует вещественный корень  $k_{St}$  данного уравнения, который должен удовлетворять условию  $k_{St} > k_t$ , где  $k_t$  – скорость поперечных волн в материале. Только в этом случае выражения (4) описывают волновое движение, локализованное вблизи поверхности полупространств [1]. После нахождения корня, удовлетворяющего данному условию, можно из системы (7) выразить 3 произвольные постоянные через четвертую и по формулам (4) рассчитать смещения в волне. В результате получим:

$$\begin{cases}
U_z^{(1)} = A_1^{St} \left[ -i k_{St} \exp(-q_{St}x) + s_{St} P_{St} \exp(-s_{St}x) \right] \exp(i k_{St}z), \\
U_x^{(1)} = A_1^{St} \left[ q_{St} \exp(-q_{St}x) + i k_{St} P_{St} \exp(-s_{St}x) \right] \exp(i k_{St}z), \\
U_z^{(2)} = A_2^{St} \left[ -i k_{St} \exp(q_{St}x) + s_{St} F_{St} \exp(s_{St}x) \right] \exp(i k_{St}z), \\
U_x^{(2)} = A_2^{St} \left[ -q_{St} \exp(q_{St}x) - i k_{St} F_{St} \exp(s_{St}x) \right] \exp(i k_{St}z),
\end{cases} \quad (8)$$

где  $F_{St}$ ,  $P_{St}$  – некоторые постоянные, связывающие  $A_1^{St}$ ,  $A_2^{St}$  с  $B_1^{St}$ ,  $B_2^{St}$  и равные:

$$\begin{cases}
F_{St} = \frac{b_1 c_1 + b_2 c_2}{b_3 c_3 + b_4 c_4} \exp[(q_{St} - s_{St})a], \\
P_{St} = \frac{d_1 e_1 + d_2 e_2}{d_3 e_3 + d_4 e_4} \exp[(s_{St} - q_{St})a].
\end{cases}$$

Здесь

$$b_1 = -i k_{St} - \frac{\mu (k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGT} - \frac{s_{St} q_{St}}{i k_{St}} \left( 1 - \frac{2\mu i k_{St}}{KGN} \right), \quad c_1 = -(k_{St}^2 + s_{St}^2) + 2s_{St} q_{St},$$



$$\begin{aligned}
b_2 &= (k_{St}^2 + s_{St}^2) + 2s_{St}q_{St} \left(1 - \frac{2\mu ik_{St}}{KGN}\right), \quad c_2 = ik_{St} + \frac{s_{St}q_{St}}{ik_{St}}, \\
b_3 &= -2s_{St} \left(2ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}\right), \quad c_3 = c_2, \\
b_4 &= s_{St} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGT}\right) + \frac{1}{ik_{St}} \left(ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGT}\right), \quad c_4 = (k_{St}^2 + s_{St}^2) - 2s_{St}q_{St}, \\
d_1 &= -ik_{St} + \frac{s_{St}q_{St} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGN}\right)}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}}, \quad e_1 = (k_{St}^2 + s_{St}^2) - \frac{2ik_{St}s_{St}q_{St}}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGN}\right), \\
d_2 &= (k_{St}^2 + s_{St}^2) + \frac{2ik_{St}s_{St}q_{St}}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}}, \quad e_2 = ik_{St} - \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGT} + \frac{s_{St}q_{St} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGT}\right)}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}} \left(1 - \frac{2\mu ik_{St}}{KGN}\right), \\
d_3 &= -2ik_{St}s_{St} \left(1 + \frac{ik_{St}}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}}\right), \quad e_3 = ik_{St} - \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGT} + \frac{s_{St}q_{St} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGT}\right)}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}} \left(1 - \frac{2\mu ik_{St}}{KGN}\right), \\
d_4 &= s_{St} \left(1 + \frac{ik_{St} \left(1 + \frac{2\mu ik_{St}}{KGT}\right)}{ik_{St} + \frac{\mu(k_{St}^2 + s_{St}^2)}{KGN}}\right), \quad e_4 = e_1.
\end{aligned}$$

Полученные значения смещений в волне Стоунли позволяют решить задачу о “передаче” волны Рэлея через трещину. Подставляя выражения для смещений и напряжений данных волн (1), (3), (5), (8) в граничные условия (6), получим:

$$\left\{ \begin{aligned}
& iA_R^{\text{пад}} E_1 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + iA_R^{\text{отп}} E_1 \exp(-ik_R x) \Big|_{x=a} + A_1^{\text{St}} H_2 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a} = \\
& \qquad \qquad \qquad = iA_R^{\text{пп}} E_1 \Big|_{x=a} + A_2^{\text{St}} H_4 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a}, \\
& A_R^{\text{пад}} E_2 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + A_R^{\text{отп}} E_2 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + A_1^{\text{St}} H_1 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a} = \\
& \qquad \qquad \qquad = A_R^{\text{пп}} E_2 \Big|_{x=a} + A_2^{\text{St}} H_3 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a}, \\
& A_R^{\text{пад}} D_2 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + A_R^{\text{отп}} D_2 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + A_1^{\text{St}} G_1 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a} = \\
& \qquad \qquad \qquad = A_R^{\text{пп}} D_2 \Big|_{x=a} + A_2^{\text{St}} G_2 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a}, \\
& iA_R^{\text{пад}} D_3 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + iA_R^{\text{отп}} D_3 \exp(ik_R x) \Big|_{x=a} + A_1^{\text{St}} G_3 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a} = \\
& \qquad \qquad \qquad = iA_R^{\text{пп}} D_3 \Big|_{x=a} + A_2^{\text{St}} G_4 \exp(ik_{St} z) \Big|_{x=a},
\end{aligned} \right. \quad (9)$$

где  $E_1, E_2, D_2, D_3, H_{1-4}, G_{1-4}$  равны:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_1 = -k_R \exp(-q_R z) + s_R P_R \exp(-s_R z), \\ E_2 = q_R \exp(-q_R z) - k_R P_R \exp(-s_R z), \\ D_2 = \lambda (k_R^2 - q_R^2) \exp(-q_R z) + 2\mu (k_R^2 \exp(-q_R z) - P_R s_R k_R \exp(-s_R z)), \\ D_3 = i\lambda [2k_R q_R \exp(-q_R z) - P_R (k_R^2 + s_R^2) \exp(-s_R z)], \\ H_1 = -ik_{St} \exp(-q_{St} x) + s_{St} P_{St} \exp(-s_{St} x), \\ H_2 = q_{St} \exp(-q_{St} x) + ik_{St} P_{St} \exp(-s_{St} x), \\ H_3 = -ik_{St} \exp(q_{St} x) + s_{St} F_{St} \exp(s_{St} x), \\ H_4 = -q_{St} \exp(q_{St} x) - ik_{St} F_{St} \exp(s_{St} x), \\ G_1 = \mu [(k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-q_{St} x) - 2ik_{St} s_{St} P_{St} \exp(-s_{St} x)], \\ G_2 = \mu [(k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(q_{St} x) - 2F_{St} ik_{St} s_{St} \exp(s_{St} x)], \\ G_3 = \mu [2ik_{St} q_{St} \exp(-q_{St} x) - P_{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(-s_{St} x)], \\ G_4 = \mu [-2ik_{St} q_{St} \exp(q_{St} x) + F_{St} (k_{St}^2 + s_{St}^2) \exp(s_{St} x)]. \end{array} \right.$$

Перейдем от амплитуд  $A_R^{\text{пад}}, A_R^{\text{отр}}, A_R^{\text{пр}}, A_1^{St}, A_2^{St}$  к искомым коэффициентам отражения, прохождения и преобразования волны Рэлея в волну Стоунли:  $R = \frac{A_R^{\text{отр}}}{A_R^{\text{пад}}}$ ,

$T = \frac{A_R^{\text{пр}}}{A_R^{\text{пад}}}, L = \frac{A_1^{St}}{A_R^{\text{пад}}}, M = \frac{A_2^{St}}{A_R^{\text{пад}}}$ . Для этого разделим выражение (9) на  $A_R^{\text{пад}}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} iRE_1 \exp(-ik_R x)|_{x=a} - iTE_1|_{x=a} + LH_2 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} - MH_4 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} = \\ \hspace{15em} = -iE_1 \exp(ik_R x)|_{x=a}, \\ RE_2 \exp(ik_R x)|_{x=a} - TE_2|_{x=a} + LH_1 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} - MH_3 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} = \\ \hspace{15em} = -E_2 \exp(ik_R x)|_{x=a}, \\ RD_2 \exp(ik_R x)|_{x=a} - TD_2|_{x=a} + LG_1 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} - MG_2 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} = \\ \hspace{15em} = -D_2 \exp(ik_R x)|_{x=a}, \\ iRD_3 \exp(ik_R x)|_{x=a} - iTD_3|_{x=a} + LG_3 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} - MG_4 \exp(ik_{St} z)|_{x=a} = \\ \hspace{15em} = -iD_3 \exp(ik_R x)|_{x=a}, \end{array} \right. \quad (10)$$

Решение данной системы даст искомые коэффициенты отражения  $R$ , прохождения  $T$  и трансформации волн  $L$  и  $M$ . В частности, из выражения (10) определим коэффициенты отражения и прохождения  $T$  (кривая 2) для случая, когда отсутствуют волны Стоунли:

$$R = \frac{\frac{D_2}{KGT} + i \frac{E_2}{E_1} \frac{D_1}{KGT}}{E_2 [\exp(-2ik_R a) - 1]}, \quad T = \frac{E_2 [\exp(-2ik_R a) - 1] + \frac{D_2}{KGT} + i \frac{E_2}{E_1} \frac{D_1}{KGT}}{E_2 [\exp(-2ik_R a) - 1]}.$$

На рис. 2 представлены графики зависимостей модулей коэффициентов отражения  $R$  (кривая 1) и прохождения  $T$  (кривая 2) от относительной глубины щели  $\frac{z}{\lambda_R}$ , рассчитанные в программе MathCad 2000 для алюминия (рис. 2, а:  $\xi = 0.1$ , рис. 2, в:  $\xi = 0.5$ ) и стали (рис. 2, б:  $\xi = 0.1$ , рис. 2, г:  $\xi = 0.5$ ), параметры которых указаны в таблице.

Материал	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu \cdot 10^{-10}$ , кг/(м · с)	$c_t$ , м/с	$c_l$ , м/с
Сталь углеродистая (сталь)	7.8	8.09	3220	5850
Алюминий	2.7	2.56	3080	6260

Из графиков видно, что на малых глубинах (до 0.3) коэффициенты отражения и прохождения сильно меняются, серьезно влияя на распространение волны. При  $\xi = 0$ , что соответствует жесткому контакту, коэффициент отражения равен нулю, а коэффициент прохождения – единице, при  $\xi = 1$  (свободная граница) – все наоборот. На графиках отчетливо видно, что кривые отражения и прохождения имеют минимум и максимум, которые соответствуют максимуму компонент тензора напряжений рэлеевской волны при данном значении  $z/\lambda_R$ .

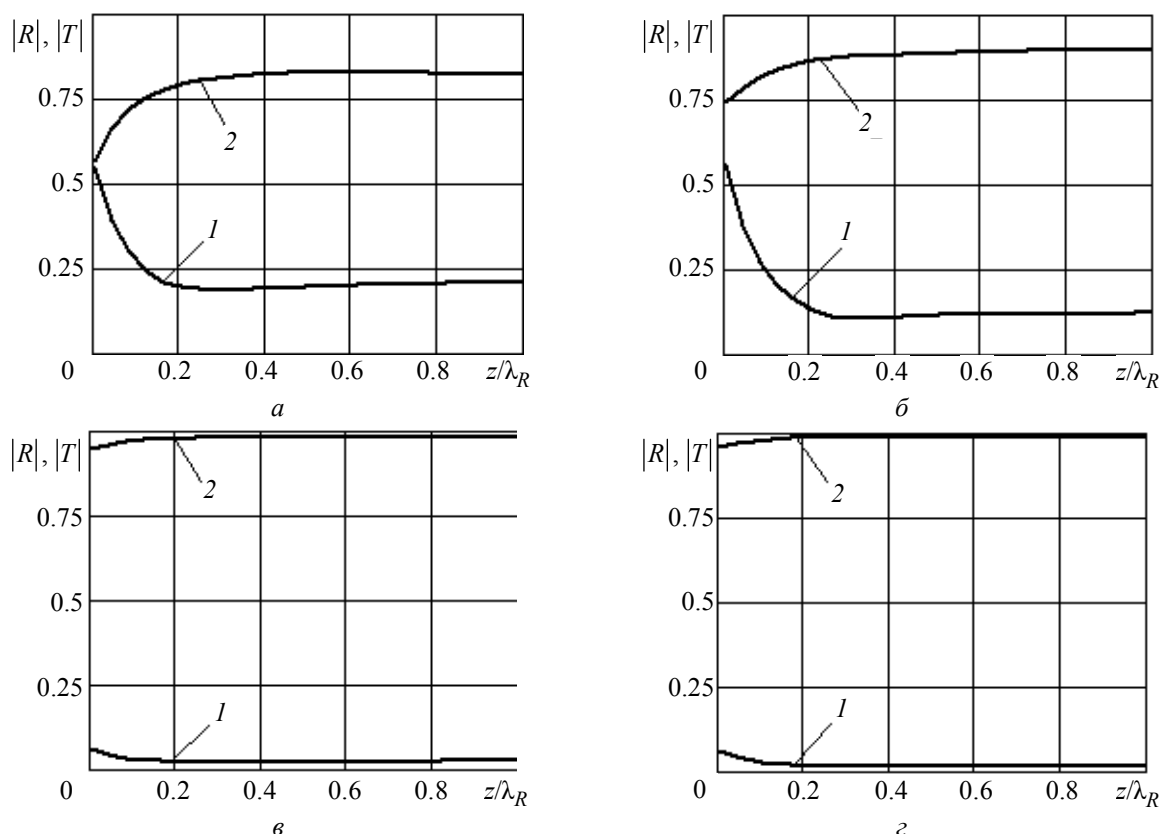


Рис. 2

Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными [15], однако не учитывают распространения граничных и объемных волн, которые могут возникнуть как внутри трещины, так и при отражении от нее. Другой механизм потери энергии заключается в возможности интерференции падающих и граничных/поверхностных волн. В работе [14] приведен график экспериментальной зависимости коэффициентов  $R$  и  $T$  от глубины трещины, где видно, что коэффициент отражения имеет заметные осцилляции, что связано с интерференцией падающих и отраженных от трещины волн.

Таким образом, в результате численно-теоретического расчета получены зависимости коэффициентов отражения и прохождения для волны Рэлея, распространяющейся вдоль поверхности с трещиной. Результаты подтверждаются экспериментальными данными, что указывает на корректность решения задачи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов И. А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
2. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981.
3. Викторов И. А., Какина Т. М. Рассеяние ультразвуковых рэлеевских волн на моделях поверхностных дефектов // Акуст. журн. 1964. Т. 10, № 1. С. 30–33.
4. Бреховских Л. М. О распространении поверхностных рэлеевских волн вдоль неровной границы упругого тела // Акуст. журн. 1959. Т. 5, № 3. С. 282–289.
5. Лапин А. Д. Отражение рэлеевской волны от периодических неровностей поверхности при наклонном падении // Акуст. журн. 1979. Т. 25, № 5. С. 560–566.
6. Ахромеева И. Д., Крылов В. В. Преобразование волны Рэлея в объемные на локальных дефектах поверхности // Акуст. журн. 1977. Т. 23, № 4. С. 510–516.
7. Sholte J. G. The range of existence of Rayleigh and Stoneley waves // Mon. Not. Roy. Astron. Soc., Geophys. Suppl. 1947. 5. P. 120–126.
8. Auld B. A. Acoustic fields and waves in Solids. N.Y.: Wiley and Sons, 1974.
9. Achenbach J. D., Epstein H. I. Dynamic interaction of a layer and half-space // Proc. Amer. Soc. Civil. Eng., J. Eng. Mech., 1967, 93, № 5. P. 27–42.
10. Касаткин Б. А. Об одном классе дифракционных задач для нормальных и поверхностных волн // Акуст. журн. 1982. Т. 28, № 2. С. 232–237.
11. Аббакумов К. Е., Кириков А. В., Львов Р. Г. Преломление упругих волн на плоской границе раздела с нарушенной адгезией твердых сред // Дефектоскопия. 2001. № 4. С. 10–16.
12. Лохов В. П. Исследование дифракции волны Рэлея на ребре трещины // Дефектоскопия. 1989. № 3. С. 39–47.
13. Аббакумов К. Е., Коновалов Р. С. Влияние нарушения акустического контакта на распространение волн Стоунли вблизи границы твердых полупространств // Дефектоскопия. 2008. № 3. С. 52–58.
14. Данилов В. Н., Ямщиков В. С. К вопросу о рассеянии поверхностных волн Рэлея на пограничных дефектах // Акуст. журн. 1985. Т. 31, № 3. С. 323–327.
15. Y. C. Angel, J. D. Achenbach. Reflection and transmission of obliquely incident Rayleigh waves by a surface-breaking crack // JASA. 1984. Vol. 75, is. 2. P. 313–319.

*K. E. Abbakumov, V. A. Britvin, R. S. Kononov*

#### *DISTRIBUTION OF RAYLEIGH WAVES ALONG BOUNDARY OF SOLID MEDIUM WITH THE CRACK*

*The numerically – theoretical way solves a problem about scattering surface waves on imperfections as the semi-infinite cracks located on a surface of a solid elastic medium within the framework of model of "nonrigid" connection in an approximation of linear "slide". Reflectivity and passages for Rayleigh waves are obtained. Agency of the waves originating on the verge of a crack is taken into account.*

**Raleigh waves, Stoneley waves, the broken acoustic contact, non-destructive testing**



# **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

---

УДК 658.562

*М. С. Степанова, В. В. Яценко*

## **ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАРИЯ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ**

*Рассматриваются вопросы выбора инструментария менеджмента качества для совершенствования деятельности организации в зависимости от уровня зрелости менеджмента качества предприятия и поставленных целей. Предложена модифицированная модель определения уровня зрелости процессов менеджмента качества для российских предприятий. Приведены рекомендации по использованию инструментария менеджмента качества.*

### **Российские предприятия, инструментарий менеджмента качества, модель уровня зрелости процесса менеджмента качества**

В современном бизнесе конкурентоспособность компании зависит от качества менеджмента организации. В России с каждым годом все большее число руководителей видят стабильность своих предприятий в отлаженной системе управления, отвечающей мировым стандартам. Проблема качества менеджмента тем более актуальна в свете планируемого вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО) и появления конкуренции со стороны иностранных компаний. Задача руководителей российских компаний проста, и сложна одновременно – постепенно и целенаправленно перенимать более чем полувековой опыт управления у зарубежных компаний, учитывая национальную специфику, а также учиться на примерах отечественных предприятий-лидеров.

В России в настоящее время происходит выстраивание стратегии развития национальной экономики на базе крупных интегрированных производственных систем (промышленных, региональных и транснациональных групп), концернов, холдинговых компаний, ассоциаций и консорциумов. Однако интеграционные процессы, происходящие в переходной экономике нашей страны, не сопровождаются должной отдачей и эффективностью. Это связано с тем, что помимо характерной для российских предприятий недостаточности производственных и финансовых ресурсов имеет место и

во многом определяет результат отсутствие четко разработанного плана работы в области менеджмента качества для совершенствования деятельности организации, повышения принципиального качества организационных структур, улучшения системных, целостных свойств менеджмента.

Опыт зарубежных и отечественных организаций различных сфер деятельности показывает, что внедрение принципов менеджмента качества как одной из составляющих общего менеджмента организации является наиболее эффективным средством совершенствования системы управления в современных условиях.

Однако и в области знаний о менеджменте качества назрела проблема, а именно проблема классификации существующих и более или менее успешно применяемых различных систем, моделей, подходов, концепций, методологий, инструментов, методов и т. д. При этом на сегодняшний день отсутствует какая-либо общепринятая систематизация вышеперечисленных сущностей. Эта проблема далеко выходит за рамки только классификационных или терминологических проблем. Далеко не праздным для руководителей организаций остается вопрос: «Что и как выбрать из этого многообразия, для развития своей организации, в данной конкретной ситуации?» [6].

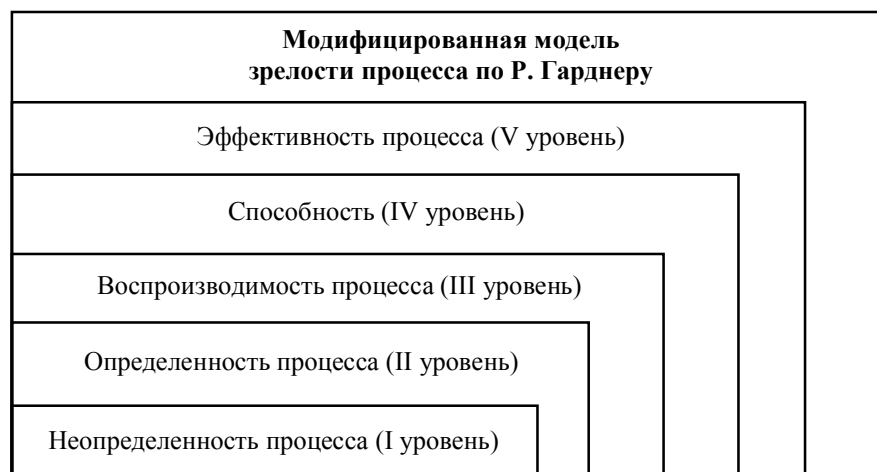
На настоящий момент не существует единой классификации технологий менеджмента качества для различных сфер деятельности. Зачастую российские предприятия ориентируются на опыт зарубежных лидирующих компаний в той или иной сфере. Но, к сожалению, повторить успехи им не удастся. Это связано со спецификой российских предприятий и уровнем зрелости процессов организации. Для эффективного совершенствования деятельности предприятия, необходимо провести заранее тщательный анализ состояния деятельности организации, а именно, определить на каком уровне зрелости она находится, и какие корректирующие действия необходимо провести.

В международной практике оценки систем менеджмента качества получил распространение подход к оценке таких систем и входящих в нее процессов с помощью оценки уровня развития или зрелости систем менеджмента качества (СМК). Такой подход вызван трудоемкостью создания систем качества и пониманием того, что невозможно сразу и быстро построить эффективную систему качества организации.

Наиболее приемлемой для определения уровня зрелости процессов в целом является модель зрелости процессов Роберта Гарднера, состоящая из шести уровней: неопределенность СМК (I уровень), определенность СМК (II уровень), воспроизводимость СМК (III уровень), способность СМК (IV уровень), эффективность СМК (V уровень), гибкость СМК (VI уровень) [1]. Однако, учитывая специфику российских предприятий, недостаток опыта в области построения систем менеджмента качества на производствах, в настоящий момент совсем нет необходимости рассматривать VI уровень данной модели. В связи с этим предлагается использовать модифицированную модель зрелости процессов Роберта Гарднера, представленную на рисунке.

Данная процедура не является трудоёмким процессом, в то же время анализ деятельности организации существенно облегчит и значительно снизит риск по выбору наиболее подходящей стратегии совершенствования деятельности на предприятии.

Выбор стратегии улучшения – очень важное решение. Оно должно учитывать как степень требуемых улучшений, так и текущий уровень зрелости.



Определение уровня зрелости процесса менеджмента качества является лишь первым этапом на пути организации к совершенствованию своей деятельности. Вопрос выбора инструментария в той или иной ситуации невозможно решить в полной мере на данном этапе. Находясь на определенном уровне зрелости, главной задачей организации является правильный выбор методологии, инструментов и методов менеджмента качества для перехода на следующий уровень, постоянно улучшая систему менеджмента качества [6].

Путем исследования инструментария менеджмента качества и выявления цели внедрения отдельных методик и инструментов, их преимуществ и недостатков, а также сути и плана действий можно определить очередность и целесообразность применения определенных единиц исследования на каждом уровне зрелости менеджмента качества организации.

Как, например, в случае, если в организации не определены ни целевая группа потребителей, ни ожидаемые результаты деятельности, структура организации плохо просматривается, процессы не налажены, либо стандартизация работ осуществляется на основе общих процедур, в связи с чем сложно предсказать ожидаемые результаты деятельности, и тратится много усилий на выяснение текущего хода работ, таким организациям в первую очередь необходимо прописать стандарты и процедуры деятельности, основные цели и задачи в области качества. Уже на этом этапе развития организации для реализации стратегических целей может быть применена Сбалансированная система показателей [4].

Не менее важным является стандартизация сбора и анализа данных с использованием простых статистических методов [2]:

- контрольные листки;
- диаграмма «причина – результат»;
- гистограмма;
- диаграмма Парето;
- расслоение;
- корреляционное поле рассеяния.

Налаживание обратной связи с потребителем является также неотъемлемой частью на пути к совершенствованию деятельности.

На этом уровне зрелости менеджмента качества целесообразно применение модели менеджмента качества ISO 9000 (ИСО 9000).

Второй уровень зрелости менеджмента качества организации – «Определенность процесса» подразумевает, что компания, как правило, заложила «фундамент» совершенствования СМК, основываясь на философии Всеобщего менеджмента качества и модели системы менеджмента качества ISO 9000 (ИСО 9000). На данном уровне необходимо использование подхода, применяющего специальные причины вариации, требующие локального вмешательства в процесс, которое обычно осуществляется людьми, занятыми в процессе и близкими к нему. Процесс улучшается и становится более результативным, если в нем присутствуют специальные причины вариации.

На данной стадии возникает необходимость организации процесса мониторинга, направленного на постоянную диагностику ситуации, с помощью простых и эффективных методов анализа, таких как семь статистических инструментов менеджмента качества [5].

На этапе проектирования целесообразно применять семь новых инструментов для решения проблем, возникающих в процессе организации, планирования и управления бизнесом на основе анализа различного рода факторов.

На уровнях зрелости «Определенность» и «Воспроизводимость» возможно внедрение принципов концепции непрерывного улучшения «KAIZEN», концепции проектного улучшения «Six Sigma» и(или) методологии оперативного решения проблем «Global 8D» [7].

На третьем уровне зрелости, почти всегда, требуются действия со стороны высшего руководства. Обычно в таких организациях присутствует более детальное описание всех процессов, в котором лучше раскрываются связи и зависимости, знание которых позволяет улучшить управление деятельностью. Здесь оцениваются не только входные характеристики продукции, но и внутренние показатели, влияющие на окончательный результат.

В случае если организация уже занялась управлением внутренними показателями (краткосрочными) и перешла на 4-й уровень зрелости процессов менеджмента качества «Способность», целесообразно, помимо семи статистических и семи новых инструментов, использование метода статистического управления процессами (общие причины вариации). В такой организации уже, как правило, имеются характеристики эффективной деятельности (процессов), в связи с этим предпочтителен выбор стратегии «Снижение затрат». Применение данной стратегии подразумевает:

- необходимость использования системы организации потоков материалов и информации, позволяющей контролировать производство, используя методы «Just in time» и «дзидока» [3];
- создание вытягивающей системы с использованием методов «Канбан производства» и «Канбан отбора»;
- использование методики «Всеобщее управление оборудованием» (Total Productive Maintenance «TPM») для обеспечения безопасности и высокой производительности на каждом рабочем месте со значительным уменьшением затрат от простоев оборудования;
- применение метода предотвращения ошибок путем разработки процедуры предотвращения ошибок там, где они могут возникнуть (Рока-Йоке);
- при необходимости внедрения системы «5С» (сортировка, самоорганизация, систематическая уборка, стандартизация, совершенствование), которая повысит эффективность и управляемость операционной зоны и улучшит корпоративную культуру.



Систему «5С» обычно используют как первый этап построения бережливого производства [3];

• использование других инструментов и методов «Производственной системы Тойота» (TPS) и «Бережливое производство» (Lean Production «LP») («5 Почему», «Дерево будущей реальности», быстрая переналадка оборудования «single-minute exchange of die» (SMED), в зависимости от специфики предприятия.

Применение данной стратегии подразумевает подготовленность организации к использованию любой из существующих методологий для совершенствования СМК с учетом специфики деятельности.

Приведенная классификация инструментария менеджмента качества является общей для всех отраслей промышленности, и, как уже упоминалось ранее, при внедрении СМК для совершенствования своей деятельности организации необходимо ориентироваться на специфику данной конкретной отрасли, а также на цели в области менеджмента качества. Однако необходимо отметить общее правило для всех организаций в целом: для достижения высоких показателей в области СМК необходимо действовать последовательно в использовании инструментария, используя на начальных уровнях простые инструменты для анализа деятельности, выявления несоответствий и областей совершенствования, и только после этого внедрять на предприятиях более сложные методики для достижения конкретных целей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синго С. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства / Пер. с англ.; Ин-т комплексных стратегических исслед. М., 2006.
2. Деминг Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами/ Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
3. Вендер М. Инструменты бережливого производства. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.
4. Внедрение сбалансированной системы показателей / Horvath & Partners; Пер с нем. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. (Сер. «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
5. Менеджмент процессов / Под ред. Й. Беккера, Л. Вилкова, В. Таратухина и др.; Пер. с нем. М.: Эксмо, 2007.
6. Степанова М. С. Разработка методических рекомендаций по области применения методологий совершенствования деятельности в зависимости от уровня зрелости организации / Всерос. науч.-практ. конф. «Менеджмент качества в образовании»: Тез. докл. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. С. 130–131.
7. Степанова М. С. Применение методологии Global 8D для совершенствования систем менеджмента на предприятии. XXXIII Гагаринские чтения: Сб. науч. тр.: В 8 т. / ГОУ ВПО «МАТИ» – Рос гос. технологический ун-т им. К. Э. Циолковского. М., 2006. Т. 6. С. 143–144.

*M. S. Stepanova, V. V. Yashenko*

#### *THE PROBLEMATIC OF QUALITY MANAGEMENT METHODS CHOICE IN THE CASE OF CAPABILITY MATURITY LEVEL*

*The issues of quality management methods choice for improving TQM in case of the capability maturity level of quality system process and the goals of organization. The modification of the capability maturity model for Russia companies. The recommendations for quality management methods implementation.*

**Russian companies, quality management methods, The Capability Maturity Model by R. Gardner**

## КОНЦЕПЦИЯ «НЕПРЕРЫВНОГО ОБУЧЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ» КАК СПОСОБ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЗНАНИЙ

*Исследуется роль и место концепции «непрерывного обучения организации» в трансформации непрерывных организационных знаний.*

**Концепция «непрерывного обучения организации», непрерывное образование персонала, трансформация формализованного и неформализованного знания**

Концепция «непрерывного обучения организации» представляет собой процесс постоянной адаптации, периодического повышения квалификации и переподготовки персонала в течение всей активной трудовой жизни как в рамках формальной, так и в рамках неформальной системы образования на основе качественной базовой, начальной подготовки. Принцип непрерывности обучения обеспечивается поэтапностью и преемственностью прохождения каждым сотрудником отдельных ступеней образования на основе последовательного усвоения знаний, умений и навыков. В данном контексте непрерывное обучение организации понимается как процесс непрерывного образования (т. е. непрерывного наращивания знаний) персонала на протяжении всей профессиональной деятельности [2]. При этом непрерывное образование персонала организации: а) строится по восходящей линии таким образом, чтобы каждая последующая ступень являлась логическим продолжением предыдущих и представляла собой законченный цикл обучения; б) является необходимым и достаточным для генерирования интеллекта всей организации. Важным фактором является не только то, чему и как учатся сотрудники организации, но и то, насколько эффективно они вносят свои знания в организацию, способствуют развитию интеллектуального потенциала организации.

Непрерывное образование персонала отличается от традиционного образования прежде всего тем, что, *во-первых*, ставит целью развитие способности персонала осваивать разнообразные и все более сложные виды деятельности на протяжении всей трудовой жизни (это позволит без ущерба для производства и человека непрерывно преобразовывать профессию и специализацию); *во-вторых*, дает не только профессиональную подготовку и переподготовку, но формирует умение и способность постоянно учиться и совершенствоваться; *в-третьих*, охватывает все уровни, виды и формы обучения и имеет самостоятельные подсистемы, способные дать базовые и профессиональные знания; *в-четвертых*, позволяет отслеживать, упреждать и прогнозировать социальное и экономическое развитие общества. Таким образом, обеспечивает соответствие образовательного, культурного и профессионального уровня личности потребностям ускорения социально-экономического развития страны на основе научно-технического прогресса.

Непрерывное образование персонала включает следующие компоненты образования: а) общее образование (развитие природных задатков и способностей, освоение накопленного обществом социального опыта, основных социокультурных правил и норм); б) профессиональная подготовка (освоение личностью профессиональных основ, взглядов и оценок в данной области, осознание присущих ей закономерностей), т. е. обучение, формирующее основы квалификации специалиста. Таким образом, непрерывное образование включает две составляющие: с одной стороны, процесс непрерывного обучения, а с другой – профессиональную подготовку персонала. Иначе, обучение и подготовка – две стороны одного явления. Обучение связано с развитием *общего интеллекта* персонала, с приобретением *общих знаний*, а подготовка – с приобретением *специальных знаний*, навыков и умений, относящихся к выполняемым функциям и работе.

Основными направлениями развития новой концепции «непрерывного обучения организации» являются: 1) обучение персонала на протяжении всей профессиональной деятельности; 2) создание открытой и гибкой системы образования в организации, в которой фокусируется внимание на персонале, на его системном мышлении; 3) вертикальная интеграция: преемственность между отдельными этапами и уровнями обучения; 4) разнообразие и инновационность содержания, средств, методик и места обучения; 5) разграничение между обучением в пределах заданной структуры связей (обучением по типу «одионой петли») и обучением, которое ставит под вопрос, подвергает сомнению и изменяет саму структуру связей (обучением по типу «двойной петли» – разработанной Бейтсоном теории, которая подчеркивает важность обучения обучению); 6) развитие комплекса идей, предполагающих связи между управлением личностным развитием, стратегическим управлением и успехом организации, что предполагает развитие и эксплуатацию основных умений через индивидуальное и организационное обучение в качестве ключевых факторов в достижении конкурентного преимущества.

Обучающейся является организация, в которой непрерывно обучается весь ее персонал и сама организация пребывает в процессе постоянной трансформации. В данном случае подразумевается организация, которая не становится заложницей одной единственной структуры связей, или парадигмы, и способна адаптировать и изменять свои установки, ценности и взгляды, лежащие в основе ее структур, культуры и операций. Поэтому способность управлять фундаментальными изменениями является ключевым признаком обучающейся организации.

Признаками обучающейся организации являются:

а) *формирование общего видения*. Этот признак учит персонал воспитывать в себе чувство преданности группе или организации. Эти качества формируют ощущение необходимости обучения и вызывают коллективное желание учиться. Без общего видения значимый процесс обучения может возникнуть только во время кризисов, а закончиться – после их преодоления;

б) *индивидуальное мастерство (непрерывное совершенствование личности)*. Общее видение следует из индивидуального видения. Коллективная вовлеченность в процессе обучения исходит из персональной приверженности процессу обучения. Организация, которая постоянно учится формировать свое будущее, должна состоять из непрерывно обучающихся сотрудников;

в) *интеллектуальные (ментальные) модели*. Постоянные размышления и исследования нацелены на достижение более точного понимания тех установок и восприятий, которые влияют на мышления и поступки людей;

г) *командное обучение и системное мышление*. Обучение эффективно в группах, где люди необходимы друг другу. Обучение организации должно строиться на принципе непрерывного создания организационных знаний, т. е. непрерывного наращивания интеллектуальных знаний, необходимых и обеспечивающих конкурентоспособность организации в длительной перспективе.

Идею создания организационных знаний предложили японские эксперты в области бизнеса И. Нонака и Х. Такеучи [1]. Авторы первыми связали эффективность японских организаций с их способностями к созданию нового знания и использованию его для производства успешных продуктов и технологий. Они считают, что организационное развитие создается посредством взаимодействия формализованного и неформализованного знания. Понятия формализованного и неформализованного знания были введены М. Полани, который описал различия между ними. Неформализованное знание (неявное) – личное и зависящее от ситуации и поэтому с трудом поддающееся формализации и распространению. Формализованное (кодируемое) знание может быть передано с помощью формального, систематического знания. По мнению И. Нонака и Х. Такеучи, существует четыре способа трансформации формализованного и неформализованного знания в организации: 1) *социализация* – из неформализованного в неформализованное; 2) *экстернализация* – из неформализованного в формализованное; 3) *комбинация* – из формализованного в формализованное; 4) *интернализация* – из формализованного в неформализованное (см. таблицу).

Исследователи в области организационного обучения утверждают, что самое эффективное обучение является продуктом постоянно возобновляющегося цикла обретения опыта, который получают непосредственно на рабочем месте. Подлинное обучение происходит следующим образом: 1) у персонала есть конкретный, обретенный на рабочем месте опыт; 2) персонал размышляет об этом опыте, пытаясь понять, что происходит и почему; 3) основываясь на собственном опыте, персонал разрабатывает концепции и обобщения опытным и эмпирическим путем; 4) затем цикл повторяется, подобно новому повороту колеса. В этом контексте «обучение» означает не приобретение дополнительной информации, а расширение способности получать желаемые результаты [3]. Это плодотворное обучение длиною в жизнь.

Таким образом, концепция непрерывно обучающейся организации: 1) опирается на формирование четырех способов трансформации организационного знания и процесс непрерывного обучения персонала организации и самой организации; 2) ориентируется на целостное развитие сотрудника как личности на протяжении всей его профессиональной деятельности, на повышение возможностей его трудовой и социальной адаптации в быстро

#### Способы трансформации формализованного и неформализованного знания

№ п/п	Способы трансформации	Содержание
1	Социализация	Процесс распространения знания и создания знания неформализованного, например, распространяемых интеллектуальных моделей и технических навыков. Подмастерья, работая с мастерами обучаются ремеслу не слушая, а наблюдая, практикуясь. Ключ к восприятию неформализованного знания – опыт
2	Экстернализация	Процесс оформления неформализованного знания в формализованные концепции. Это квинтэссенция процесса создания знания, в результате которого неформализованное знание становится формализованным – в виде метафор, аналогий, концепций, гипотез и моделей. Процесс письма – это преобразование неформализованного знания в знание, которое может быть выражено словами
3	Комбинация	Процесс включения концепций в систему знаний. Этот способ трансформации знания подразумевает сочетание различных положений формализованного знания. Сотрудники обмениваются знанием и комбинируют его при переписке, встречах, телефонных разговорах, общении в компьютерных сетях. Изменение конфигурации существующей информации посредством сортировки, добавления, комбинации и классификации формализованного знания (например, в компьютерной базе данных) может порождать новое знание. Именно так происходит создание знания в процессе систематического образования в учебных заведениях, например, в процессе обучения студентов менеджменту. Применительно к бизнесу трансформация знания при помощи комбинации встречается при изменении руководителями политики менеджмента организации, концепции бизнеса или продукта
4	Интернализация	Процесс воплощения формализованного знания в неформализованное. Интернализация тесно связана с методикой «обучения на практике». Когда опыт посредством социализации, экстернализации и комбинации интернализуется в неформализованное знание личности в форме общей интеллектуальной модели или технологического ноу-хау, он приобретает ценность

меняющемся мире; 3) ставит целью развитие способностей обучающегося, его стремлений и возможностей и саморазвитие личности; 4) ориентируется на опережение развития общества, профессиональной карьеры, личных навыков и качеств; предполагает преимущество и многовариантность общего и профессионального образования; 5) выполняет функции организатора обучения и использует индивидуальный подход в обучении; позволяет реализовать продуктивные, активно-творческие методы обучения, предлагающие самостоятельную и творческую деятельность проблемно-практического

характера; б) является основным фактором и одним из важных аспектов системы непрерывного образования. Концепция «непрерывно обучающейся организации» представляет собой процесс и способ непрерывного создания новых интеллектуальных, концептуальных, практических и других знаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах. М., 2003.
2. Сулейманкадиева А. Э. Теоретические основы оценки системы непрерывного образования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.
3. Широкова Г. В. Управление организационными изменениями: Учеб. пособие. СПб.: Изд. дом СПбГУ, 2005.

*A. E. Suleymankadieva*

*THE CONCEPT “LONG-TIME-PERIOD EDUCATION OF ORGANIZATION” AS A PROCECC  
AND A WAY TRANSFORMATION OF LONG-TIME-PERIOD ORGANIZATIONAL KNOWLEDGE*

*The role and place of the concept “Long-Time-Period Education of organization” in  
transformation of Long-Time-Period Organizational Knowledge are investigated.*

**The concept “Long-Time-Period Education of organization”; Long-Time-Period Education of personal;  
transformation of formalized and non-formalized knowledge**



УДК 001: 141

*Е. Е. Елькина*

## **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЦИОПРОЕКТИВНОЙ ПАРАДИГМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

*Представлен философский анализ социопроективной парадигмы развития современной технической реальности: исследование понятия, структуры парадигмы, теоретико-методологических принципов ее анализа.*

**Техническая реальность, социопроективная парадигма, методология, философия технической реальности, трансдисциплинарность, система знания, информационные технологии**

Социопроективная парадигма развития современной технической реальности относится к разряду трансдисциплинарных парадигм. В ней разрабатывается глобальная стратегия социотехнического развития, учитывается системный характер научных, технических, инженерных, социальных, информационных, экологических, производственных факторов, влияющих на формирование политики технических изменений, определяющих приоритетные направления научно-технических исследований и развитие технической реальности в целом. Необходимость выхода за пределы технических наук и инженерной деятельности объясняется рядом причин: ускорением и усилением интеграции различных видов деятельности – научно-технической, экономической и др.; потребностью в разработке технической теории с учетом достижений постнеклассической науки; необходимостью согласования технической политики с общественностью. Структура социопроективной парадигмы включает в себя:

– методологические основания исследования и проектирования социотехнической реальности (принципы трансдисциплинарных исследований с выделением методологии, соответствующей определенному уровню исследовательской задачи: принципы технической, системотехнической деятельности, социального проектирования, технического проектирования, социальной информатики, математического моделирования,

технической информатики, системной организации знания, социальной теории, отдельные принципы гуманитарного и экологического знания);

– законы развития эволюционирующих социотехнических систем с учетом коэволюционных связей с окружающей природной средой, закон техногуманитарного баланса, принципы организации инженерной деятельности, технологического и социального проектирования и др.;

– понятийный аппарат, учитывающий трансдисциплинарный характер исследования (ключевые понятия: структура деятельности – идеальная деятельность – материальная деятельность; виды деятельности – социотехническое проектирование – конструирование – инженерная деятельность – деятельность по внедрению и эксплуатации систем – экономическая деятельность; системотехника – социотехнические деятельностные системы; технологии конструирования – проектирования – управления; техническая политика – экспертные советы – общественность; инновационная деятельность – инновационный менеджмент – инновационные технологии и др.);

– проблемно-ориентированные модели решения конкретных социотехнических задач.

Представители социопроективной парадигмы считают одной из важных задач изменение устаревшего представления о техническом прогрессе как поступательном и революционном, замену его пониманием «устойчивого развития» социотехнических систем на основе междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований.

Трансдисциплинарный характер исследований развития современной технической реальности обусловлен комплексным характером перемен. Изменился образ технических наук, технoзнание обрело статус междисциплинарных исследований. Усилились тенденции практической направленности научных исследований, связанных с проектированием пространства жизнедеятельности деятельностных систем. Под влиянием идей синергетики и глобального эволюционизма изменились мировоззренческие представления о задачах инженерной деятельности, отразив ориентацию на целостность восприятия проектируемых систем с учетом их будущих модификаций и изменения среды, в которую они включены. Изменился характер технологического и методологического обеспечения исследований в связи с широким применением компьютерного моделирования и других прогностических методов. Статус проектировщика-системотехника обрел универсализм, совмещение в одном лице различных видов деятельности и знания (социальных, технических, естественных, математических дисциплин для проектирования и координации со множеством других специалистов). Под влиянием информационных технологий и событий второй половины XX в. произошли перемены в общественном сознании.

В. Г. Горохов в исследовании причин кризиса инженерного мышления, присущего системотехнической модели, отмечает, что обособление проектирования от социальной сферы столкнулось с решением сложных социотехнических проблем. Преодоление кризиса способствовало развитию новых форм инженерной и проектной культуры,



появлению новых системных и методологических ориентаций, включению гуманитарных методов познания в освоение действительности. Новыми формами инженерной деятельности становятся системотехническая деятельность и социотехническое проектирование. На формирование социотехнической парадигмы повлияли преодоление механистического образа науки, формирование неклассической модели рациональности.

Среди основных методологических проблем, каковыми являются переосмысление методологических установок научно-технической деятельности с учетом системного характера изменений, обоснование трансдисциплинарной методологии исследований технической реальности и разработка методологии организации знания о технической реальности, В. Г. Горохов отмечает появление новых форм знания, которые по способу организации не соответствуют классической триаде: «фундаментальные исследования – прикладные исследования – коммерциализация». Их основными чертами являются применение наукоемких технологий в производственной сфере; стратегическая и прагматическая направленность, определяющая приоритеты технических инноваций, поддержанных государством; пограничное положение между наукой и политикой; тип исследования, характеризуемый как «проблемно-ориентированное исследование»; знания, полученные опытным путем и используемые для принятия решений [1, с. 84]. В методологическом отношении проводится различие между объектно- и проблемно-ориентированными научно-техническими исследованиями. Технические науки классического типа характеризуются дисциплинарной организацией знания и в социальном отношении представляют относительно устойчивое научное сообщество, объединяющее группу ученых и ряд институтов.

С середины XX в. наука становится производительной силой общества, обретает статус «большой науки», воздействующей на все сферы общественной жизни. Увеличивается ее финансирование. Изменяются организация научных исследований и формы научного знания. Новые комплексные научно-технические дисциплины становятся проблемно-ориентированными на решение определенного типа комплексных научно-технических задач. Формирование области исследования, отмечает Горохов, осуществляется не по объекту исследования, а в зависимости от различных классов сложных научно-технических задач (системотехника, информатика, технический дизайн, эргономика и т. п.).

Комплексные междисциплинарные исследования не могут быть отнесены ни к техническим, ни к естественным, ни к гуманитарным наукам. Несмотря на междисциплинарность, они организованы по типу дисциплинарной науки. Важной особенностью развития современных парадигм технической реальности является возросшее значение наукоемких технологий. Их внедрение требует интеграции научной и хозяйственной деятельности, создания организационной основы для проблемно-ориентированных исследований, включая инновационный менеджмент [2]. Методология комплексных неклассических научно-технических исследований технической реальности

интегрирует принципы естественно-научного, технического и социогуманитарного знания. Сами комплексные исследования тесно связаны с постановкой социальных проблем и призваны внести вклад в разработку стратегии принятия решений. Акцентирование социальной задачи и практическая направленность исследования определяют характер трансдисциплинарных парадигм технической реальности [1, с. 86].

Социопроективная парадигма анализа технической реальности исходит из понимания ведущей роли проектной функции, выполняемой современной высокотехнологичной наукой наряду с аналитической функцией. Г. Бехманн характеризует проектную направленность научных исследований как «важнейшую организационную форму науки». Характеризуя основные критерии проектных исследований, он отмечает включение научной деятельности в заранее определенные временные рамки; зависимость от других общественных сфер; ограниченность финансирования определенными временными рамками; необходимость достижения определенных результатов, «которые могут оказать влияние на приложения» [3].

В. Г. Горохов отмечает в качестве новых черт научно-технического исследования придание статуса целостности научному объекту и ориентацию исследования на будущее в виде «разработки сценариев развития» с учетом оценки возможных последствий их осуществления. Сложный характер научно-технической деятельности не позволяет просчитать все параметры развития и последствий, «поэтому между сферами знания и деятельности расположен пояс рефлексии», наблюдения СМИ и общественных институтов за развитием научно-технических проектов. Ориентация на целостность характеризует проблематичность исследований (в частности, разработку технологий генной инженерии, современных форм ведения войны и т. п.). Проблематичность связана с пониманием ограниченных возможностей точного прогнозирования результата и требует учета комплекса мер ответственности. Наличие экспертного знания в научно-технических исследованиях характеризует связь производства научного знания с его применением, с оценкой техники и инженерной этикой.

Изменение содержания проектной деятельности, ставшей самостоятельной сферой современной культуры, отмечают Х. Шпиннер, Х. Ленк, В. Г. Горохов, В. С. Степин, Б. И. Иванов, Д. В. Ефременко, Н. М. Розов. Как считает Б. И. Иванов, современное проектирование не может опираться только на технические науки, а выходит в сферу социально-технических и социально-экономических работ. Сфера системного проектирования расширяется включая в себя все виды социальной практики (обслуживание, потребление, обучение, управление и т. п.), а не только промышленное производство. Формируется социотехническое проектирование, задачей которого становится целенаправленное изменение социально-организационных структур, а главное внимание (в противовес системотехническому проектированию) уделяется не машинным компонентам, а человеческой деятельности, ее социальным, психологическим и другим аспектам. Согласно В. Г. Горохову, специфика социотехнического проектирования состоит в гуманитаризации проектной деятельности (проектирование становится источником

формирования проектной тематики, вступает в сферу культурно-исторической деятельности); проектирование ориентировано на решение конкретных задач (экземплярно), на реализацию идеалов, формирующихся в теоретической или методологической сферах или в культуре в целом; используется комплексный подход к прогнозированию и оценке вводимых технологий [4].

Иной взгляд на роль проективной методологии в познании, испытывающей воздействие информационных технологий, высказывают Х. Ленк и Х. Шпиннер. В связи с расширением проектной деятельности, ее методологическим и гносеологическим обеспечением встала проблема систематизации знания. Х. Шпиннер включает в организационную структуру «нового порядка знания» академическое, архивно-библиотечное, конституционно-правовое, экономическое, технологическое, бюрократическое и другие виды знания. «Академический порядок знания» связан с переработкой, созданием, теоретизацией и производством знаний. Современный этап развития технических наук характеризуется ростом междисциплинарных исследований, когда продуктивные направления возникают на границе естественных и технических наук. «Технологический порядок знания» включает знания, необходимые для системного проектирования. Его предметом является не технический объект, а система деятельности. При этом конструирование, изобретательство и производство как самостоятельные сферы деятельности утрачивают свое значение. Предметом становятся проектирование систем деятельности и реализация этих проектов. Благодаря развитию социальной информатики социотехническое проектирование вышло за пределы системы: «наука – производство», проникло в разнообразные виды социальной практики. «Экономический порядок знания» связан с управлением, распределением, коммерциализацией и потреблением знания. В системах с рыночной экономикой большое значение приобретают производство рекламы, анализ рынка, сбыт инноваций, а не только применение новых знаний в технике. Информатика и совокупность связанных с ней дисциплин представляют собой пример современной техники знания. Ее предмет включает в свою структуру информационные системы и коммуникационные средства, средства автоматизации управления, средства математического моделирования. «*Информационная техника* представляет собой первую, дающую имя и прокладывающую путь к *информационному веку*, технику... Исходным пунктом такого преобразования в ранжированный порядок дисциплин и техник была *электронная революция* (называемая компьютерной революцией). Она инициировала в значительной степени не только продолжение уже начавшейся технизации *посредством* знания, но и обширную *технизацию самих знаний*» (Х. Шпиннер)<sup>1</sup>.

Онтологические проблемы социопроективной парадигмы включают рассмотрение понятия технической реальности и анализ ее структуры, исследование закономерностей

---

<sup>1</sup> Цит. по: Горохов В. Г. Каков же должен быть новый «порядок знания» в Восточной Европе? // Ежегодник российско-германского колледжа 1999–2000 [5, с. 290–299].

развития социотехнических систем и анализа структуры деятельности, рассмотрение особенностей деятельностных систем различных уровней и др.

Понятие социотехнического проектирования разрабатывается с учетом эволюции деятельностных систем, включенных в глобальную структуру техносферы, сравнимой с планетарным пространством современного человечества. Деятельность этих человекообразных технических систем детерминирована информационными технологиями, применяемыми на всех стадиях научно-теоретической и инженерно-практической деятельности. Структура деятельности включает в себя идеальный и материальный планы конструирования и проектирования деятельности человекообразных систем с учетом их включенности в природную среду и социокультурный контекст. Отдельные стороны социопроективной деятельности рассматриваются в рамках предметно- и проблемно-ориентированных парадигм. В частности, в рамках дисциплинарных парадигм исследуются проблемы инженерной деятельности, технических наук и др.; к разряду междисциплинарных исследований относятся парадигмы искусственного интеллекта, электронно-виртуальной реальности, инновационной деятельности, информатики и др.

Гносеологические проблемы включают рассмотрение вопросов технической теории; анализа стадий организации и реализации социопроективных исследований; специфики проектирования «без прототипов»; междисциплинарных исследований инновационной деятельности и применяемых в ней технологий; рассмотрение научно-технической картины мира с позиций неклассической и постнеклассической науки.

В. Г. Горохов ставит проблему разработки теории технических изменений как интегративную, включающую методологический и гносеологический аспекты. Междисциплинарная теория техники может рассматриваться как теоретическая основа для исследования процесса возникновения новой техники и для оценки последствий технического развития. М. Бунге и В. Г. Горохов проводят различие между субстантивными и оперативными теориями в анализе теоретических исследований, осуществляемых в технических науках. Субстантивные теории характеризуются эмпирическим содержанием, информативны и проверяемы. Оперативные теории представляют концепции методов и являются инструментальными. Для оперативных теорий вопрос о закономерностях не имеет смысла, исследователи акцентируют внимание на методической достоверности, соответствии применяемых методов процедурам принятия решений. Для понимания строения, функционирования и развития современного научно-технического знания представляют интерес концепции технологической теории науки Хакинга и Гири, в которых рассматриваются оперативные и теоретико-деятельностные аспекты постнеклассической социодинамической концепции науки В. С. Степина «схемный интерпретационизм» Х. Ленка.

Х. Ленк считает, что главный вопрос «состоит в том, что схватывание структурированного реального бытия всегда зависит от своего рода проектирования, от

частично биологически или наследственно заданной, частично конвенциональной и многоступенчатой интерпретации... теория является сложным интерпретационным конструктом, выходящим за пределы простого приспособления к истине и состоящим из множества подчиненных схем и интерпретаций, конструктивный, конкретизируемый в методах, действиях и техниках способ общения с внешними срезами мира, потенциальными моделями, реальными системами, также как и со смыслами (ментальными сущностями, идеальными конструктами и т. д.)» [5, с. 197].

К модели развития науки В. С. Степина не применимы представления об аксиомах, законах, правилах вывода и интерпретации теории. Новизна подхода состоит в возникновении новой рациональности, выработке новой парадигмы научно-технического развития, опирающейся на открытое общественное обсуждение проблем, возникающих в связи с внедрением и функционированием наукоемкой техники и технологии. Переосмысление научной рациональности в терминах «процедурной рациональности», включающей деятельностный и рефлексивный аспекты, отражает ее новое понимание. Это означает, что принимаемые решения в отношении технической деятельности учитывают потенциальную приемлемость обществом процедур по ее осуществлению [1, с. 95, 96].

Изменение типа рациональности, обусловленное становлением постнеклассической науки, способствовало ориентации на восприятие целостности мира, интеграции научно-технической и инженерной деятельности, изменение образа инженерного мышления. Во второй половине XX в. произошел переход от «жестких» установок в научном познании и «жестких» технологий к «мягким» технологиям, ориентированным на модификацию и развитие. «Только к середине XX века стало ясно, что представление о жестком естествознании было частью картезианско-ньютоновской парадигмы, ...которая должна быть преодолена»<sup>2</sup>. Осознание «проектирующей» роли научной методологии привело к изменению образа наук, осуществляющих исследование инженерной деятельности и проектирование.

Процессы информатизации способствовали переосмыслению техники как инструментального средства. В рамках социопроективной парадигмы развития современной технической реальности техника рассматривается в единстве интеллектуальных и социокультурных процессов (познания, исследования, инженерной и проективной деятельности), как некая целостность, диктующая человеку иные ритмы функционирования, формирующая потребности, новые эстетические образцы.

Изменились представления о познании структуры и характера научно-технической деятельности. Методы проектирования используются в различных сферах деятельности, их специфика обусловлена предметной областью и уровнем исследования. Анализ социопроективной деятельности опирается на построение научно-технической картины мира,

---

<sup>2</sup> Цит. по: [6, с. 598].

учитывающей синтез естественной, технической, социокультурной реальностей с учетом их специфики.

В связи с практической установкой современной науки на повышение эффективности научной деятельности инженерно-технические и методические приемы проникают в сферу «чистой» науки, придавая практический смысл ее ценностным ориентациям. Влияние информатики, кибернетики, системотехники, эргономики, синергетики, инженерной психологии модифицировали научно-технический процесс и методологические представления о характере инженерной деятельности. Широта круга задач системного проектирования способствовала представлению о проектировании как многомерном поле деятельности, выходящей за грань инженерной деятельности. Системное проектирование связано с осуществлением интеграционных функций с экспертизой, внедрением и эксплуатацией проектируемых систем.

Возрастает роль метатеоретического уровня исследований, универсализма как необходимого условия профессионализма, без которого невозможна эффективная организация процесса взаимодействия больших коллективов людей. Возросший уровень сложности идеального объекта проявляется на стадии его исследования и проектирования. Как правило, человекообразные системы (градостроительное проектирование конкретного региона) уникальны в своем роде. Подобная система не может быть представлена в качестве определенного материального объекта, объект проектирования становится абстрактным идеальным объектом. В целом, в исследовании современных деятельностных систем разграничение на субъект и объект довольно условно.

Проектная деятельность включает внешнее проектирование (связанное с комплексным исследованием идеи проектируемой системы, ее функциональных характеристик, разработки реконструкции существующих систем) и внутреннее проектирование. Социальное проектирование, выделившееся из инженерной деятельности, представляет собой самостоятельную междисциплинарную область исследований, в которую инженерная деятельность входит в качестве составного элемента. На основе конкретизации частных схем и системных представлений вырабатываются особые модели (фиксирующие законы, образцы, прототипы объекта исследования и проектирования) и оперативные правила применения для решения конкретных научно-технических задач [6, с. 453].

Междисциплинарный характер исследования социотехнических систем связан с использованием новых форм дескриптивного знания, в которых фиксируются результаты проектной деятельности: рецептурных форм знания о работе отдельных элементов системы, программ, графиков, регламентаций, предписаний по выполнению деятельности и др. Возрастает значение эффективных каналов коммуникации, а также роль социальных технологий управления инновационными проектами. В целом, инновационная деятельность определяет динамику развития социотехнического проектирования и научно-технической деятельности. Социотехническое проектирование представляет собой междисциплинарную

сферу формирования и развития технической реальности, прогнозирования ее будущих модификаций.

В связи с тем, что объектом системного проектирования является деятельностный объект (деятельность, направленная на создание и обеспечение функционирования сложной системы), социальные проблемы интегрированы в методологию и гносеологию социопроективной деятельности. В рамках социопроективной парадигмы исследование взаимосвязи проектирования с экономической деятельностью рассматривается как проявление процессов глобализации экономики. Отличительными особенностями социотехнического проектирования являются эволюционный характер проектирования (учет последующих стадий развития); комплексный характер (выражается в понятии «проектное движение»); гуманистическая направленность (ориентация на достижение идеалов, рассматриваемых не только в качестве эффективных проектных решений, но и как проявления «культурно-исторического проектирования») [6, с. 453–460]. Социотехническое проектирование техносферы использует методы прогнозирования ее будущих модификаций. Эволюция взглядов на возможности системно-технического проектирования привела к осознанию его границ. Как указывает В. С. Степин, с системами такого рода нельзя свободно экспериментировать. В процессе их освоения особую роль начинают играть знания запретов на некоторые стратегии взаимодействия, потенциально содержащие в себе некоторые катастрофические последствия.

Гуманистическая направленность комплексных исследований развития современной технической реальности в рамках социопроективной парадигмы выражается в учете субъективного фактора, применения «гибких» технологий, характеризующихся экологической приспособленностью; низким энергопотреблением; низкой степенью загрязнения; многократным использованием материалов и энергии; интеграцией с природой; сохранением локальной культуры; натуральным региональным обменом; инновационностью, мотивированной потребностями; децентрализацией; редкой аварийностью; нулевым хозяйственным ростом (Д. Диксон [7], Дж. Нейсбит [8] и др.). Д. В. Ефременко, Г. Рополь, Ф. Рапп и другие исследователи считают одной из наиболее важных теоретико-методологических и практических задач разработку эффективных методов прогнозирования технологического развития, оценки техники, повышения рефлексивности самоконтроля цивилизации.

Исследование теоретико-методологических принципов анализа социопроективной парадигмы развития современной технической реальности позволяет сделать следующие выводы:

1. Социопроективная парадигма технической реальности относится к разряду междисциплинарных и трансдисциплинарных парадигм. Ее философский анализ осуществляется с использованием методов естественных, технических и социально-гуманитарных наук, что свидетельствует об усложнении феномена, понятия и структуры современной технической реальности.

2. Под влиянием процессов глобализации и информатизации, формирования высокотехнологичной науки изменились содержание, структура и характер научно-технической деятельности, определяющей социопроективную направленность развития современной технической реальности.

3. Сущность изменений в структуре технической реальности определяется характером деятельностных систем (представляющих качественно новый тип связи технической системы и системы деятельности) и инновационных технологий (как синтеза знания и технико-технологического компонента).

4. Трансдисциплинарный характер социопроективной парадигмы технической реальности отражает усиление влияния общественности на формирование технической политики и проектную направленность научно-технической деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохов В. Г. Междисциплинарные исследования научно-технического развития и инновационная политика // Вопр. филос. 2006. № 4. С. 80–96.
2. Gerchuny J. I. Social Innovation and the Division of Labour. Oxford: Oxford University Press 1983.
3. Бехманн Г. Проблемно-ориентированное исследование как новый вид науки // Философия науки и техники – природа и техника на пороге 3-го тысячелетия // РФО. М., 2005.
4. Степин В. С., Горохов В. Г., Розов М. А. Философия науки и техники. М.: Гардарики, 1998.
5. Ежегодник российско-германского колледжа 1999–2000 / Под ред. В. Г. Горохова. М., 2000.
6. Горохов В. Г. Концепции современного естествознания и техники: Учеб. пособие. М.: ИНФРА, 2000.
7. Dickson D. The New Politics of Science. N.-Y.: Pantheon, 1984.
8. Naisbitt J. Megatrends: Ten New Directions Transforming Our Lives. N.-Y.: Futura, 1984.

Е. Е. El'kina

#### *THE THEORETICAL-METHODOLOGICAL ANALYSIS OF THE SOCIAL-PROJECTIVE PARADIGM OF MODERN TECHNOLOGICAL REALITY DEVELOPMENT*

*The philosophical analysis of the social-projective paradigm of the modern technological reality development is given: investigation of the notion, the structure of the paradigm, the theoretical-methodological principles of it's analysis.*

**Technological reality, the social-projective paradigm, methodology, philosophy of technological reality, transdisciplinarity, system of knowledge, information technologies**





УДК 621(091)

*К 150-летию со дня рождения А. С. Попова*

*М. Н. Малышев, А. И. Мамыкин*

## **ВКЛАД А. С. ПОПОВА В СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КУРСА ФИЗИКИ В ЭТИ**

*Рассматривается деятельность А. С. Попова на кафедре физики ЭТИ. Его качества лектора, экспериментатора и человека характеризуют современники. Несмотря на краткость срока (около четырех лет) работы А. С. Попова в ЭТИ, он поднял преподавание курса физики на очень высокий уровень.*

**А. С. Попов, А. А. Петровский, курс физики, А. Г. Граммаков**

В 1901 г. Петербургский электротехнический институт пригласил А. С. Попова на должность профессора физики. Этот выбор во многом определил стиль и особенности методики преподавания физики в Электротехническом институте с начала прошлого века и до настоящего времени. Директор института Н. Качалов так характеризовал его в донесении министру внутренних дел Российской Империи 27 марта 1901 г. «Коллежский советник А. С. Попов, занимаясь уже более 15 лет преподаванием прикладной физики в Минном офицерском классе, пользуется известностью весьма опытного и даровитого преподавателя, а также чрезвычайно искусного экспериментатора и руководителя лабораторными занятиями учащихся».

Профессор А. А. Петровский вспоминал: «С Александром Степановичем приходилось мне сотрудничать, начиная с осени 1901 г. до конца его жизни. А. С. Попов читал в Минном классе (в Кронштадте) курс электротехники, передав мне чтение курса электричества, вследствие переезда в Петербург. В это время я, совместно с А. С. Поповым, подготовлял разные лабораторные опыты и всегда помогал ему на практических работах по электротехнике, будучи одновременно его постоянным слушателем по этому предмету. Александр Степанович не отличался какой-либо изысканностью речи. Оратором его никоим образом нельзя было назвать. Говорил он обыкновенно очень просто, даже несколько угловатым фразами; но вместе с тем, про его лекции можно сказать, что они действовали как удары молотом, а каждая мысль его была выражена необычайно ярко, кратко и чрезвычайно убедительно. Такое впечатление от его лекций было не только у меня, но и у всех его слушателей, которых я опрашивал тогда. У А. С. Попова, кроме того, была необычайная любовь к экспериментам, и все, что он говорил, он имел обыкновение доказывать опытами.

Поэтому его лекции изобиловали обычно многочисленными опытами, кстати сказать, чрезвычайно простыми и остроумными по идее. Эти опыты давали иногда слушателю совершенно неожиданные указания на сходство явлений, происходящих в различных аппаратах».

Коллеги А. С. Попова и его студенты, все как один, вспоминали, что у них наибольший интерес вызвали практические занятия, которые он проводил. Методику этих занятий он перенес из Минных офицерских классов, где на практических занятиях большое внимание уделялось сборке схем и умению управлять ими. Вместе с тем А. С. Попов всегда требовал понимания физического смысла каждого изучаемого явления и требовал от своих студентов не только тщательного выполнения каждой работы, но также подробных расчетов и графического представления полученных результатов. Такой стиль проведения практических занятий довольно долго сохранялся в ЛЭТИ, мы еще застали время, когда студенты самостоятельно собирали электрические схемы в физической лаборатории института.

Уже упомянутый нами профессор А. А. Петровский в статье «А. С. Попов как лектор» писал: «Всего приятнее было вести с А. С. Поповым беседу не в аудитории, а в лаборатории, где он, не стесненный временем и темой, давал массу ценных указаний по всевозможным вопросам, связанным, а иногда и не связанным непосредственно с производимой слушателем работой. И во всех случаях он любил довести дело до конца, давал самые детальные указания, требовал полного и подробного отчета, аккуратного вычисления результатов, построения графиков. В настоящее время, когда методологические вопросы выдвигаются на первый план, и самостоятельной работе слушателя придается особенное значение, А. С. Попов был бы особенно ценен как педагог, который всегда стремился проводить в жизнь эту идею и достигал таким путем замечательных результатов». (Статья напечатана в журнале «Электричество» в 1925 г., но как современно это звучит.)

Насколько большое значение А. С. Попов придавал практической стороне курса физики, видно из его записки (1901 г.) «Общее направление курса Физики и ближайшие задачи научных работ в физической лаборатории Электротехнического института», где он писал: «Главная задача курса физики – дать основы учения об электричестве в таком изложении, чтобы глубокие взгляды на природу электрических явлений... не казались недоступными для обыкновенных смертных, а напротив, являлись руководящими началами в изучении электротехники». В приложении к этой записке А. С. Поповым приведен список из 21, как бы мы сейчас сказали, лабораторных работ, действительно охватывающих большую часть электродинамики и представляющих несомненный интерес и для современного курса общей физики. По его мнению, «разработка этих методов и приборов, а также ряда текущих вопросов, связанных с изложением курса, легко доступного для постепенного решения их, должна дать много материала для ежедневной будничной работы лаборантов и профессора».

Традиция эта – разрабатывать и создавать уникальные исследовательские лабораторные установки самостоятельно – сохранилась на кафедре физики и до настоящего времени; мы всегда гордились тем, что в лаборатории электричества все работы, от идеи до реализации, принадлежат инженерам и преподавателям кафедры.

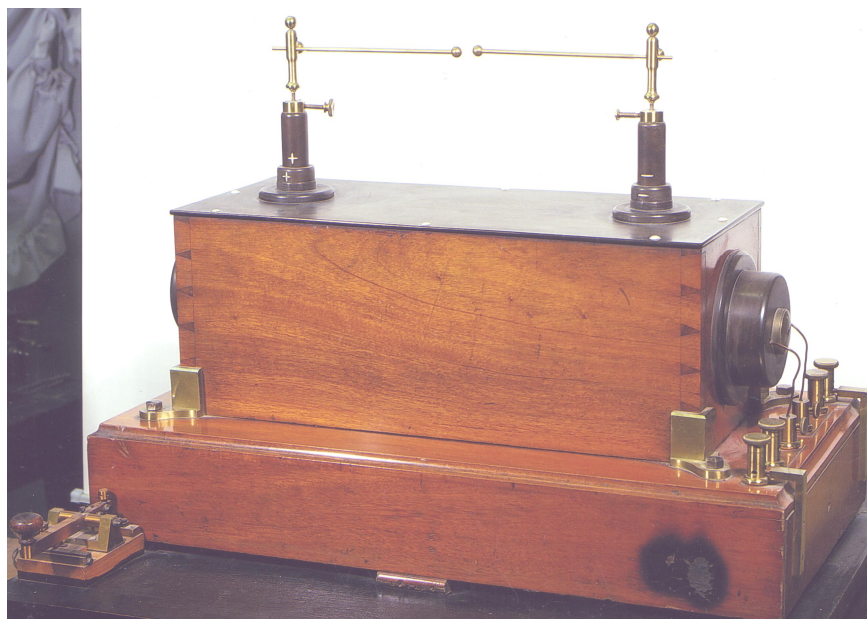
А. С. Попов большое значение придавал созданию учебных пособий по курсу физики. В сборнике «75 лет ЛЭТИ», в главе XVI приведен следующий материал, подготовленный профессором А. Г. Граммаковым: «В 1901–1902 гг. был создан литографским способом курс лекций по электрическим и магнитным явлениям (для 2 курса). Этот курс был переиздан в 1903–1904 гг. Первое издание содержало 452 страницы текста, второе – уже 720 страниц. В 1902–1903 гг. издается курс лекций профессора А. С. Попова, читавшихся на первом курсе Электротехнического института, объем 445 страниц. В 1904 г. вышло второе издание этого курса, содержащее 504 страницы текста. Таким образом, полный курс лекций А. С. Попова по физике содержал 1224 страницы текста литографского издания.

В результате работ А. С. Попова в Электротехническом институте была организована одна из лучших для своего времени физических лабораторий, что, несомненно, имело большое значение для подготовки высококвалифицированных инженеров-электриков. Физический практикум содержал работы 42 наименований, отнесенные ко всем разделам курса физики.

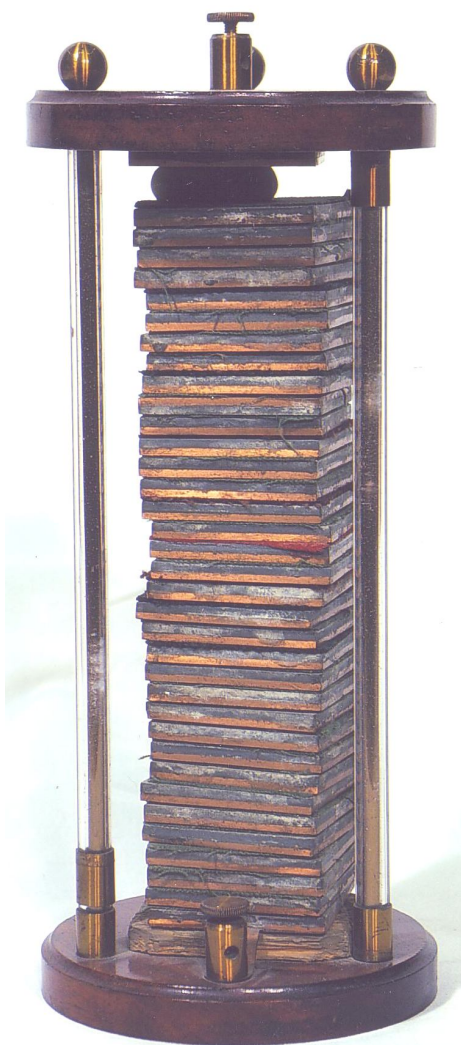
Мы не сделаем большой ошибки, если скажем, что физическая школа ЛЭТИ складывалась во многом благодаря тому, что у ее истоков стоял Александр Степанович Попов, который был не только большим изобретателем, но и выдающимся педагогом, особенно ценившим лабораторные занятия.

Трудно сказать, каким было материальное обеспечение курса физики в начале XX в., но как современно звучит заключительная часть записки А. С. Попова, словами из которой мы заканчиваем эту статью: «Решение всех затронутых здесь задач более, чем где-либо, уместно в лабораториях Института, но пока ни в физической, ни в других лабораториях нет необходимых для этого приборов, а приборы эти ... представляют ... значительную ценность, и только щедрые затраты могут дать условия, необходимые для плодотворных работ как для целей чистой науки, так и техники».

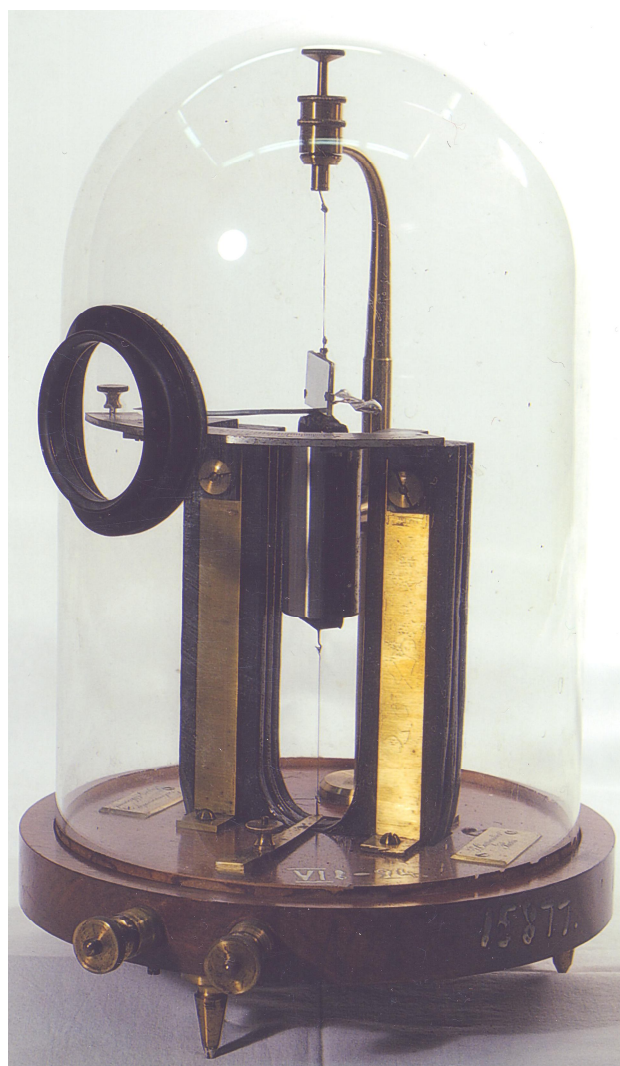
Далее приведены фотографии приборов, которые А. С. Попов использовал при демонстрациях в курсе лекций по электрическим и магнитным явлениям.



*Катушка Румкорфа с искровым разрядником, использовавшаяся в качестве источника высокочастотных колебаний во время демонстрации излучения электромагнитных волн*



*«Вольтов столб» – батарея сухих элементов, использовавшаяся в качестве источника питания лабораторных макетов*



*Зеркальный гальванометр, использовавшийся для измерения малых токов*

*In commemorations of 150 years since the birth of A. S. Popov*

*M. N. Malyshev, A. I. Mamykin*

**CONTRIBUTION BY A. S. POPOV TO THE ADVANCEMENT OF PHYSICS COURSES IN ETI**

*Considered the activity of A. S. Popov at the chair of physics of ETI. His virtues as a lecturer, experimenter and a man are characterized by contemporaries. In spite of short term of work (around four years) by A. S. Popov at ETI, he advanced physics courses to a very high level.*

**A. S. Popov, A. A. Petrovsky, A. G. Grammakov, physics courses**

## Сведения об авторах

*Аббакумов Константин Евгеньевич*

Заведующий кафедрой электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», профессор, доктор технических наук.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: KEAbbakumov@mail.eltech.ru.

*Анисимов Денис Андреевич*

Студент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: 8-904-645-18-42. E-mail: bnmr86@motorola.com.

*Аль-Маджмар Нашван Ахмед*

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: 8-962-714-54-23. E-mail: almojammer@yahoo.com.

*Бритвин Владимир Александрович*

Аспирант кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 234-37-26.

*Васюкова Ольга Николаевна*

Инженер ООО «Навигация-Сервис» (Санкт-Петербург). Телефон: (812) 234-57-93.

*Грязнов Артем Юрьевич*

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат технических наук.

Тел: (812) 234-35-59.

*Елькина Елена Евграфовна*

Доцент кафедры философии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат философских наук.

Тел.: 8-921-893-23-03.

*Катушкин Алексей Виталиевич*

Исполнительный директор ООО «РИСКОМ-ЭТУ» (Санкт-Петербург).

Тел.: (812) 234-57-93. E-mail: katuskin@mail.ru.

*Коновалов Роман Сергеевич*

Ассистент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», аспирант.

Тел: (812) 234-37-26. E-mail: RSKonovarov@rambler.ru.

*Копылов Владимир Владимирович*

Ассистент кафедры радиолокационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 234-57-93. E-mail: mastkvv@mail.ru.

*Кузнецов Михаил Анатольевич*

Ассистент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: 8-921-797-32-22.

*Леута Алексей Александрович*

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,  
кандидат технических наук, докторант.

Тел.: (812) 715-67-59. E-mail: leuta@mail.ru.

*Лисенков Александр Владимирович*

Ассистент кафедры радиолокационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 234-57-93. E-mail: lisenkovav@mail.ru.

*Лукичев Андрей Николаевич*

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: 8-951-673-19-54. E-mail: an\_84@mail.ru.

*Мальшиев Михаил Николаевич*

Доцент кафедры физики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 346-29-82.

*Мамыкин Александр Иванович*

Заведующий кафедрой физики СПбГЭТУ «ЛЭТИ», профессор.

Тел.: (812) 346-29-82. E-mail: alex\_mamykin@mail.ru.

*Молдовян Дмитрий Николаевич*

Студент 6-го курса кафедры автоматизированных систем обработки информации и  
управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 234-28-27. E-mail: mdn.spectr@mail.ru.

*Мороз Сергей Александрович*

Аспирант кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 244-25-65, 8-906-275-61-37. E-mail: mser73@mail.ru.

*Парфенов Вадим Александрович*

Доцент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,  
кандидат технических наук.

Тел.: (812) 234-08-14. E-mail: vadim\_parfenov@mail.ru.

*Писаревский Александр Сергеевич*

Аспирант кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: Alexander.Pisarevsky@gmail.com.

*Потрахов Евгений Николаевич*

Начальник производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед» (Санкт-Петербург).

Тел.: (812) 234-35-59.

*Потрахов Николай Николаевич*

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат  
технических наук.

Тел.: (812) 234-35-59. E-mail: gryaznov@freemail.ru.



*Прасолин Дмитрий Алексеевич*

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: 8-911-933-17-03. E-mail: pras\_dm@mail.ru.

*Степанов Рудольф Михайлович*

Профессор кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доктор технических наук.

Тел.: (812) 552-28-09.

*Степанова Мария Сергеевна*

Аспирант кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 346-47-86. E-mail: MSStepanova@yandex.ru.

*Сулейманкадиева Алжанат Эльдеркадиевна*

Доцент кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат экономических наук.

Тел.: 8-921-325-24-61. E-mail: saljanat@mail.ru.

*Федоров Виктор Викторович*

Профессор СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доктор технических наук.

Тел.: (812) 346-17-96. E-mail: Fea@elettech.ru.

*Шашкин Александр Константинович*

Доцент кафедры радиолокационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат технических наук.

Тел.: (812) 234-57-93. E-mail: akshashkin@mail.ru.

*Яценко Владимир Владимирович*

Доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кандидат технических наук.

Тел.: (812) 346-47-86. E-mail: berater@vj6391.spb.ru.

*Andrea Mencaglia*

Старший научный сотрудник Института прикладной физики (IFAC-CNR), г. Сесто-Фиорентино, Италия.

Тел.: +39 055 5226322, факс: +39 055 5225305. E-mail: A.Mencaglia@ifac.cnr.it.

*Renzo Salimbeni*

Директор Института прикладной физики (IFAC-CNR), г. Сесто-Фиорентино, Италия.

Тел.: +39 055 522643, факс: +39 055 5225312. E-mail: r.salimbeni@ifac.cnr.it.

*Marco Giamello*

Научный сотрудник кафедры наук об окружающей среде Университета г. Сиена, Италия.

Тел.: +39 0577- 232854, факс: +39 0577- 232860. E-mail: giamello@unisi.it.

*Laura Bartoli*

Научный сотрудник Института прикладной физики (IFAC-CNR), г. Сесто-Фиорентино, Италия.

Тел.: +39 055 5225310, факс: +39 055 5225305. E-mail: bartoli@ifac.cnr.it.

*Salvatore Siano*

Старший научный сотрудник Института прикладной физики (IFAC-CNR), г. Сесто-Фиорентино, Италия.

Тел.: +39 055 5225310, факс: +39 055 5225305. E-mail: S.Siano@ifac.cnr.it.



## Правила представления рукописей авторами

В редакционный совет журнала «Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»» необходимо представить:

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
  - рукопись статьи;
  - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
  - рукопись статьи;
  - сведения об авторе(ах);
  - рекомендацию кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
  - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
  - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

*Сведения об авторах должны содержать:*

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

### *Правила оформления текста статьи*

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

- текстовый редактор Microsoft Word версии не ниже 97;
- формат бумаги А4;
- параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;
- основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзачным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Arial» 12 pt, интервалы: «перед» 18 pt, «после» 6 pt; межстрочный интервал «Множитель 1.2»); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

*Перечень авторов* разделен запятыми, инициалы перед фамилиями, шрифт «Arial» 14 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ слева 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

*Название статьи* набирается прописными буквами (шрифт «Arial» 18 pt; выравнивание по левому краю; отступ слева 0.5 см, автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него – 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

*Аннотация* содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).

*Ключевые слова* состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

➤ *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);

➤ *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «под-символ» 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.

Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы. На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку (напр.: рис. 1, табл. 3).

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.

Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях-выносках, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

При невозможности представить электронные версии рисунков следует представить только твердые копии, обеспечивающие качественное воспроизведение рисунков после их сканирования (графики – черной тушью на белой бумаге, фотографии – на матовой бумаге размером не менее 9 × 12 см, не более 21 × 30 см).

*Перечень основных тематических направлений журнала:*

- Радиоэлектроника и телекоммуникации.
- Физика твердого тела и электроника.
- Информатика, управление и компьютерные технологии.
- Автоматизация и управление.
- Электротехника.
- Приборостроение и информационные технологии.
- Биотехнические системы в медицине и экологии.
- Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент.
- Гуманитарные науки.
- История науки, образования и техники.
- Современные технологии в образовании.

*Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.*

Технические вопросы можно выяснить по адресу: [Izvestiya-leti@yandex.ru](mailto:Izvestiya-leti@yandex.ru)