



## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Цирухин А. А. Влияние температуры на оптические характеристики длиннопериодной гофрированной волоконной решётки ..... 3

### ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мионов С. Э., Васильев А. Ю. Итерационное сжатие с ограничениями при иерархическом технологически инвариантном проектировании топологии макрофрагментов БИС ..... 10

Каменская Е. И. Обзор алгоритмов канонического корреляционного анализа в области обработки изображений лиц ..... 16

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Бугаёв В. Л. Электромагнитная совместимость в электроприводных системах ..... 23

Опре В. М., Гончаров С. В. Исследование динамики изменения температуры при нагреве лазерным излучением, сфокусированным под поверхностью тела ..... 29

Дегтярев С. А. Линеаризация модели Винера каналов связи итерационно-операторным методом ..... 33

### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Степанов Б. Г. Оценка реактивной составляющей сопротивления излучения для тыльной поверхности антенны, составленной из стержневых преобразователей с комбинированной компенсацией тыльного излучения ..... 41

### БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Попечителей Е. П., Болсунов К. Н. Методики организации функциональных исследований малой группы операторов ..... 47

Мамыкин А. И., Листов М. В. Кинетика релаксации свободных радикалов и перенос электрона в жидких субстанциях организма ..... 55

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Болсунов К. Н., Куземкин В. А., Попечителей Е. П. Компетентностная модель как инструмент обеспечения сопоставимых качественных характеристик выпускников по направлению подготовки "Биотехнические системы и технологии" ..... 60

## 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 информационно-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 за-  
конодательства в сфере массовых ком-  
муникаций и охране культурного насле-  
дия по Северо-Западному федеральному  
округу

\*\*\*

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

Подписано в печать 15.02.10 г.  
Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 11,0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)

Заказ 7.

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

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

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ  
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Кананухина О. В., Степанов И. В. Управление качеством  
жизненного цикла изделий на основе ИПИ-технологий ..... 66

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

Луговой А. А., Луговая О. А. Глобализм и проблемы культуры..... 73

**ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ**

Красникова Е. В. Диссертация П. И. Ижевского  
"К вопросу о влиянии переменного электромагнитного  
поля на организм" в свете развития теории  
электромагнитных волн..... 78

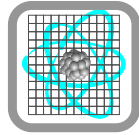
**Сведения об авторах** ..... 83

**Правила представления рукописей авторами** ..... 85

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России

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



УДК 535.3

А. А. Цирухин

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛИННОПЕРИОДНОЙ ГОФРИРОВАННОЙ ВОЛОКОННОЙ РЕШЁТКИ

*Представлены результаты численного моделирования влияния материала сердечника и полимерных гофров на чувствительность волоконного датчика на основе ДВР к температуре.*

**Длиннопериодная волоконная решётка, эффективный показатель преломления, волоконный датчик**

Длиннопериодные волоконные решетки (ДВР) в настоящее время широко используются в сенсорных устройствах [1]–[3], в качестве составных частей демультимплексоров в волоконно-оптических линиях связи [4], в волоконных отражателях и фильтрах [5], [6]. ДВР, как правило, изготавливают из специальных фоточувствительных стекол путем локального изменения показателя преломления волокна воздействием УФ-излучения [7].

Автором настоящей статьи разработан новый метод создания гофров на поверхности оптических волокон, позволяющий существенно упростить технологию изготовления ДВР. В основе метода лежит самоорганизация микрокапель раствора полимера на поверхности оптического волокна [8]. Достоинством предложенного метода формирования гофров является возможность существенного расширения номенклатуры материалов для сердечника волокна и для гофров. Это позволяет подбирать показатели преломления и другие характеристики компонентов ДВР для решения каждой конкретной задачи.

Использование ДВР с полимерными гофрами в качестве датчиков позволяет предположить, что их чувствительность к внешним воздействиям будет выше, чем датчиков из стекла, так как температурные и упругооптические коэффициенты показателя преломления полимеров в несколько раз превосходят аналогичные параметры стекол.

При этом возникает вопрос: как влияет выбор материала сердечника и полимера на чувствительность оптических характеристик ДВР к внешним воздействиям. Поэтому целью работы был анализ влияния материала сердечника и полимерных гофров на чувствительность волоконного датчика на основе ДВР к температуре. Анализ проводился методом численного моделирования.

**Математическая модель.** Спектр ДВР состоит из резонансных полос отражения, возникновение которых связано с результатом взаимодействия волноводной  $LP_{01}$ -моды с модами оболочки  $LP_{0m}$  ( $m = 2, 3, 4, \dots$ ) волокна [9]. Резонансная длина волны ( $\lambda_0$ ) опреде-

ляется выражением  $\lambda_0 = (N_{01} - N_{0m})\Lambda$ , где  $N_{01}$  и  $N_{0m}$  – эффективные показатели преломления для мод  $LP_{01}$  и  $LP_{0m}$  соответственно;  $\Lambda$  – период ДВР. Зависимость резонансной длины волны от температуры может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{d\lambda_0}{dt} = \left( \frac{dN_{01}}{dt} - \frac{dN_{0m}}{dt} \right) \Lambda + (N_{01} - N_{0m}) \frac{d\Lambda}{dt}, \quad (1)$$

где  $t$  – температура.

В общем случае зависимость от температуры показателей преломления сердечника и оболочки может быть представлена в следующем виде:  $n_{co}(t) = n_{co}(t_0) + C_{co}\Delta t$  и  $n_{cl}(t) = n_{cl}(t_0) + C_{cl}\Delta t$ , где  $t_0$  – начальная температура;  $\Delta t = t - t_0$ ;  $C_{co}$ ,  $C_{cl}$  – термооптические коэффициенты сердечника и оболочки соответственно. Предположим, что  $C_{co}$  и  $C_{cl}$  не зависят от температуры, а резонансная длина волны зависит от эффективных показателей преломления сердечника и оболочки [10]. В этом случае уравнение (1) принимает вид

$$\frac{d\lambda_0}{dt} = \Lambda \left[ \left( C_{co} \frac{\partial N_{01}}{\partial n_{co}} + C_{cl} \frac{\partial N_{01}}{\partial n_{cl}} - C_{co} \frac{\partial N_{0m}}{\partial n_{cl}} - C_{cl} \frac{\partial N_{0m}}{\partial n_{cl}} \right) + \left( \frac{dN_{01}}{d\lambda} - \frac{dN_{0m}}{d\lambda} \right) \frac{d\lambda_0}{dt} \right]. \quad (2)$$

Используя теорию возмущения [11], можно упростить уравнение (2) и записать его в следующем виде:

$$\frac{d\lambda_0}{dt} \cong (C_{co} - C_{cl})(\eta_{01} - \eta_{0m})\Lambda\gamma; \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 - \Lambda \left( \frac{dN_{01}}{d\lambda} - \frac{dN_{0m}}{d\lambda} \right)},$$

где  $\eta_{01}$  и  $\eta_{0m}$  описывают фракции мощности в сердечнике для мод  $LP_{01}$  и  $LP_{0m}$  соответственно;  $\gamma$  – коэффициент модовой дисперсии [10]. Как показано в уравнении (3), спектральный сдвиг резонансной длины волны может быть как положительной, так и отрицательной величиной, в зависимости от коэффициента модовой дисперсии  $\gamma$ .

Теория связанных мод [9] описывает спектры пропускания и отражения ДВР и позволяет определить резонансную длину волны для интерферирующих мод в ДВР. Согласно теории связанных мод относительный коэффициент пропускания ДВР может быть представлен в следующем виде:

$$T(\delta) = \cos^2(\sqrt{\kappa^2 + \delta^2}L) + \frac{\delta^2}{\delta^2 + \kappa^2} \sin^2(\sqrt{\kappa^2 + \delta^2}L), \quad (4)$$

где  $\delta = (\pi/\Lambda)(\lambda_0 - \lambda)/\lambda$  – параметр отклонения длины волны  $\lambda$  от  $\lambda_0$ ;  $\kappa$  – коэффициент связи между встречно распространяющимися модами;  $L$  – длина ДВР. Из выражения (4) можно определить коэффициент пропускания на резонансной длине волны, т. е. при  $\delta = 0$ :

$$T_0 = T(0) = \cos^2(\kappa L).$$

Коэффициент связи  $\kappa$  зависит от модуляции показателя преломления вдоль волокна  $\Delta = n_{\text{ef1}} - n_{\text{ef2}}$ :

$$\kappa = \frac{\pi \Delta I}{\lambda};$$

$$I = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^a \psi_{01} \psi_{0m} r dr d\varphi}{\left( \int_0^{2\pi} \int_0^a \psi_{01} \psi_{01} r dr d\varphi \right)^{1/2} \left( \int_0^{2\pi} \int_0^a \psi_{0m} \psi_{0m} r dr d\varphi \right)^{1/2}},$$

где  $I$  – интеграл перекрытия по площади волокна между модами  $LP_{01}$  и  $LP_{0m}$ ;  $\psi_{01}$  и  $\psi_{0m}$  – волновые функции для мод  $LP_{01}$  и  $LP_{0m}$  соответственно;  $a$  – радиус волокна.

Зависимость коэффициента пропускания от температуры для резонансной длины волны описывается [9] выражением

$$\begin{aligned} \frac{dT_0}{dt} &= -\frac{\kappa L \sin(2\kappa L)}{I} \left( \frac{dI}{dt} - \frac{1}{\lambda_0} \frac{d\lambda_0}{dt} \right) = \\ &= -\frac{\kappa L \sin(2\kappa L)}{I} \left[ \left( C_{\text{co}} \frac{\partial I}{\partial n_{\text{co}}} + C_{\text{cl}} \frac{\partial I}{\partial n_{\text{cl}}} \right) + \left( \frac{\partial I}{\partial \lambda_0} - \frac{I}{\lambda_0} \right) \frac{d\lambda_0}{dt} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, уравнения (3) и (5) позволяют описать влияние температуры на оптические свойства ДВР.

**Результаты математического моделирования.** Методом численного моделирования исследовались два типа ДВР, имеющих следующие характеристики. Сердечником одной из них являлось кварцевое волокно ( $n = 1,45$ ) диаметром 4,46 мкм с периодическим гофрированным покрытием из полиуретана ( $n = 1,5$ ). Сердечником второй ДВР являлось стекло марки К8 ( $n = 1,51$ ) диаметром 4,46 мкм с аналогичным периодическим гофрированным полимерным покрытием на поверхности волокна. Термооптические коэффициенты показателя преломления для кварца и для стекла К8 равны  $10^{-5}$ ;  $8,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  соответственно.

Период ДВР составлял  $\Lambda = 411$  мкм. Геометрическая модель ДВР показана на рис. 1.

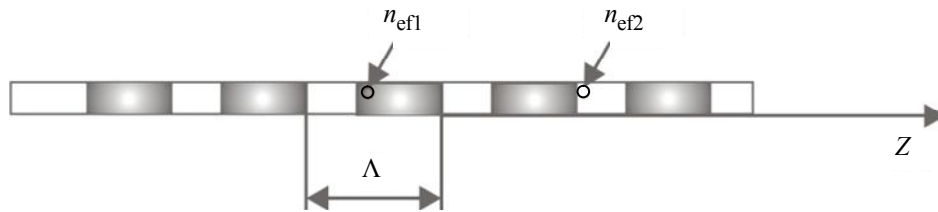


Рис. 1

Рассмотрим ДВР с полимерным покрытием на кварцевом волокне. Из зависимости, приведённой на рис. 2, а, видно, что изменение температуры на  $\Delta t = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$  приводит к спектральному сдвигу резонанса на  $\Delta \lambda = 50$  нм, т. е. чувствительность резонансной длины волны к изменению температуры равна  $0,714 \text{ нм}/^\circ\text{C}$ . На рис. 2, б представлены расчётные спектральные зависимости коэффициента пропускания ДВР для разных значений температур 0, 30 и 50  $^\circ\text{C}$  при фиксированной длине решётки  $d = 20$  мм. Из рисунка видно, что при увеличении температуры ко-

эффицент пропускания ДВР на фиксированной длине волны  $\lambda = 1480$  нм увеличивается, а на длине волны  $\lambda = 1520$  нм уменьшается. При разработке датчика температуры выгоднее использовать режим измерения на фиксированной длине волны [11].

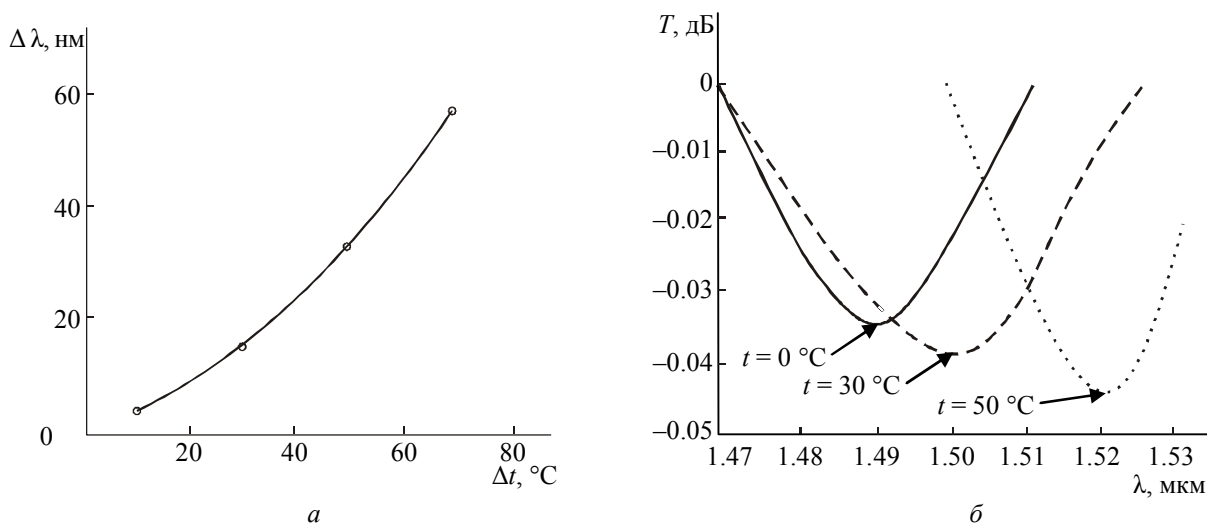


Рис. 2

На рис. 3, а, б представлены расчётные зависимости коэффициента пропускания на фиксированных длинах волн 1480 и 1510 нм от температуры при фиксированном значении  $\Delta = 0,25 \cdot 10^{-4}$  для разных значений длин ДВР. При длине решётки  $d = 20$  мм с ростом температуры до  $30^\circ\text{C}$  наблюдается незначительное изменение коэффициента пропускания ДВР  $\Delta T/\Delta t = -1,3 \cdot 10^{-4}$  дБ/°C при  $\lambda = 1480$  нм (рис. 3, а) и  $\Delta T/\Delta t = -1,3 \cdot 10^{-4}$  дБ/°C при  $1510$  нм (рис. 3, б). При увеличении длины решётки до  $d = 30$  мм чувствительность коэффициента пропускания ДВР к изменению температуры на  $30^\circ\text{C}$  увеличилась незначительно  $\Delta T/\Delta t = -1,5 \cdot 10^{-4}$  дБ/°C при  $\lambda = 1480$  нм (рис. 3, а) и  $\Delta T/\Delta t = -1,6 \cdot 10^{-4}$  дБ/°C при  $\lambda = 1510$  нм (рис. 3, б).

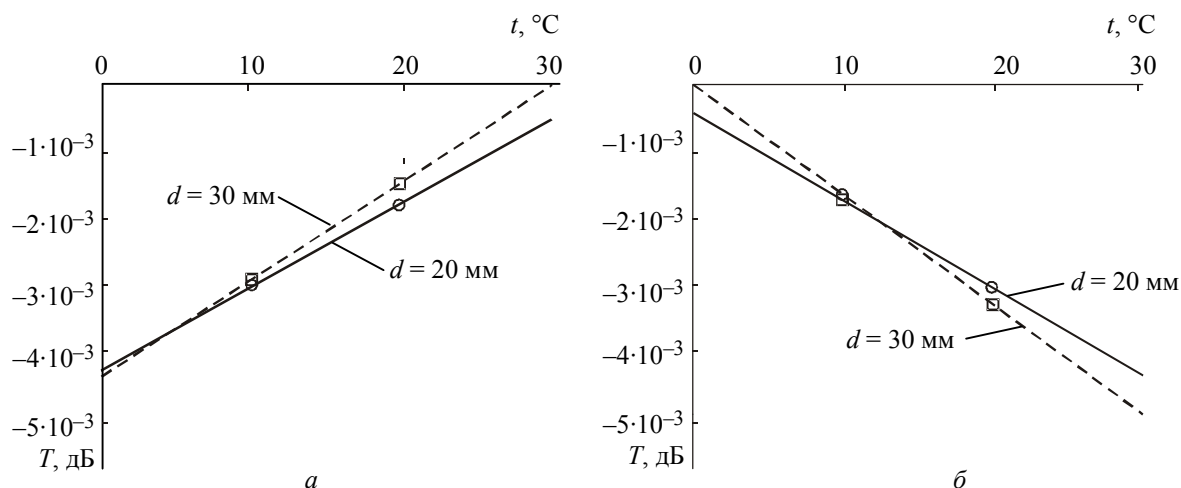


Рис. 3

На рис. 4, а, б представлены расчётные зависимости коэффициента пропускания на фиксированных длинах волн 1480 и 1510 нм от температуры при фиксированном значении длины решётки ( $d = 20$  мм) для разных значений  $\Delta$ . При  $\Delta = 0,25 \cdot 10^{-4}$  с ростом температуры

на 30 °С наблюдается незначительное изменение коэффициента пропускания ДВР, а чувствительность к температуре не превышает  $\Delta T/\Delta t = -1 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С при  $\lambda = 1480$  нм (рис. 4, а) и  $\Delta T/\Delta t = -1.3 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С при  $\lambda = 1510$  нм (рис. 4, б). В случае  $\Delta = 0,5 \cdot 10^{-4}$  с ростом температуры на 30 °С наблюдается увеличение чувствительности коэффициента пропускания ДВР до  $\Delta T/\Delta t = -3,6 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С при  $\lambda = 1480$  нм (рис. 4, а) и  $\Delta T/\Delta t = -6,6 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С при  $\lambda = 1510$  нм (рис. 4, б). Таким образом, изменяя период ДВР и резонансную длину волны, можно менять диапазон измеряемых температур от 0 до 100 °С, а подбором материала сердечника и гофрированной оболочки ДВР можно уменьшать либо увеличивать чувствительность к тому или иному физическому воздействию.

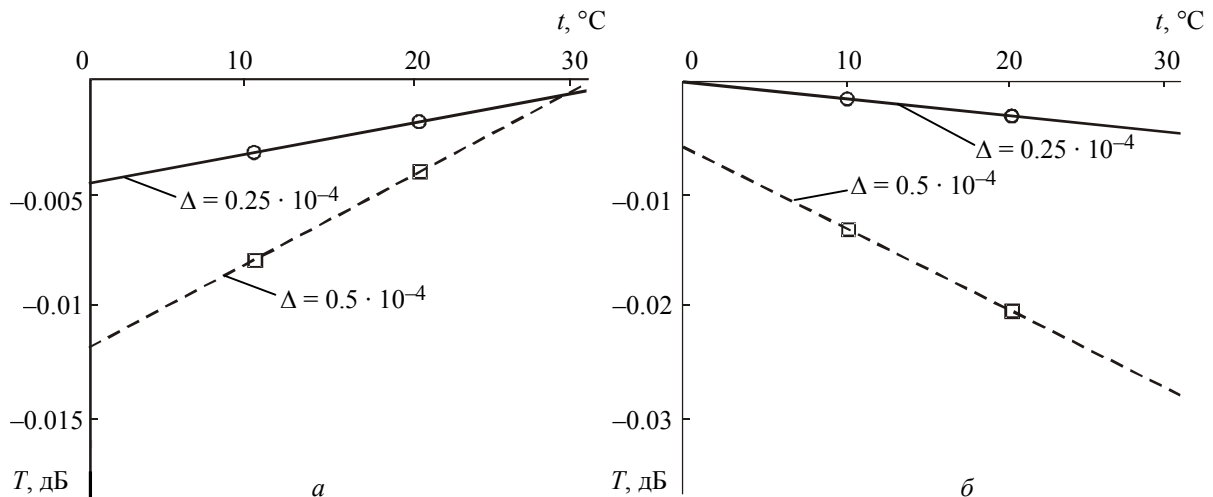


Рис. 4

Рассмотрим ДВР с полимерным покрытием на волокне из стекла марки К8. На рис. 5, а представлена расчётная зависимость резонансной длины волны от температуры, из которой видно, что значительное изменение температуры  $\Delta t = 70$  °С приводит к спектральному сдвигу резонанса на  $\Delta \lambda = 10$  нм, т. е. чувствительность резонансной длины волны

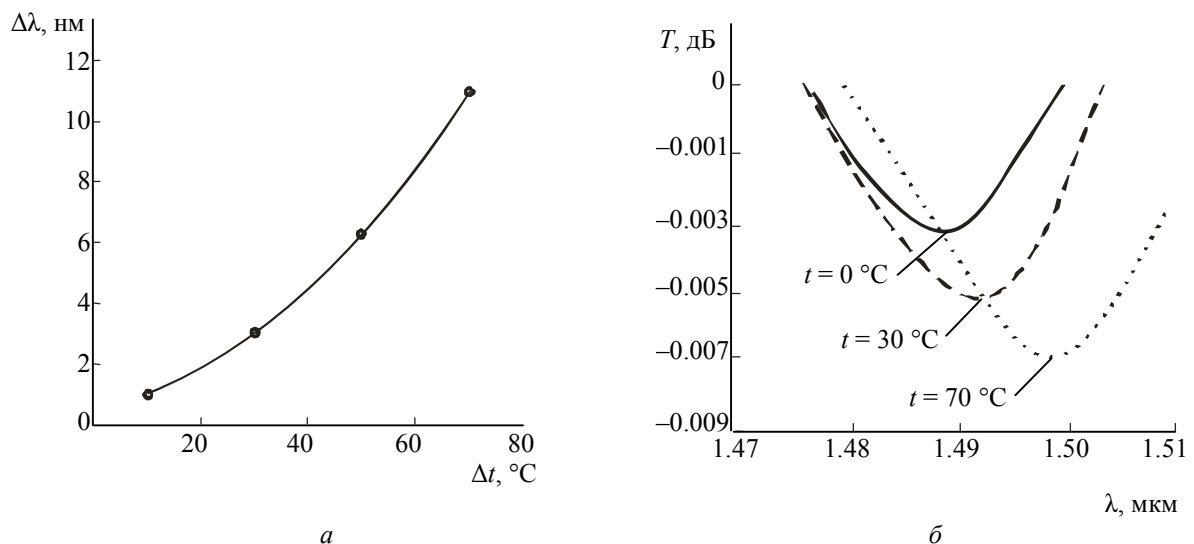


Рис. 5

к изменению температуры выше, чем у ДВР с полимерным покрытием на кварцевом волокне и равна 0,15 нм/°С. На рис. 5, б представлены расчётные спектральные зависимости коэффициента пропускания ДВР для разных значений температур 0, 30, 50 °С при фиксирован-

ной длине решётки  $d = 20$  мм. Из рисунка видно, что при увеличении температуры коэффициент пропускания ДВР на фиксированной длине волны ( $\lambda = 1500$  нм) уменьшается.

На рис. 6 представлена расчётная зависимость коэффициента пропускания ( $\lambda = 1500$  нм) ДВР от температуры при фиксированном значении  $\Delta = 0,25 \cdot 10^{-4}$  (а) и при фиксированном значении длины решётки  $L = 20$  мм (б).

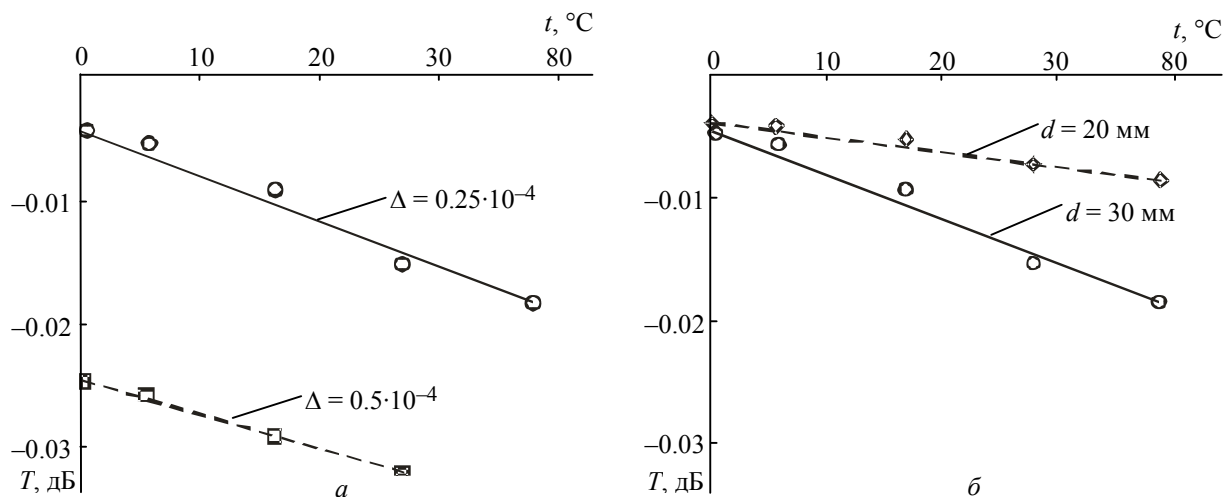


Рис. 6

В первом случае при длине решётки  $d = 20$  мм с ростом температуры до  $70$  °С наблюдается незначительное изменение коэффициента пропускания ДВР  $\Delta T/\Delta t = -4,3 \cdot 10^{-5}$  дБ/°С. В другом случае при увеличении длины решётки  $d = 30$  мм чувствительность коэффициента пропускания ДВР к изменению температуры на  $70$  °С увеличилась ( $\Delta T/\Delta t = -1,7 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С). Таким образом, с увеличением длины ДВР чувствительность коэффициента пропускания к температуре возрастает как в первом (рис. 3, а), так и во втором случае (рис. 5, а).

На рис. 6, б представлена расчётная зависимость коэффициента пропускания на резонансной длине волны ( $\lambda = 1500$  нм) от температуры при фиксированном значении длины решётки ( $d = 20$  мм) для разных значений  $\Delta$ . При  $\Delta = 0,25 \cdot 10^{-4}$  с ростом температуры до  $70$  °С наблюдается незначительное изменение коэффициента пропускания ДВР  $\Delta T/\Delta t = -1,42 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С. В случае  $\Delta = 0,5 \cdot 10^{-4}$  с ростом температуры до  $50$  °С наблюдается увеличение чувствительности коэффициента пропускания ДВР  $\Delta T/\Delta t = -1,6 \cdot 10^{-4}$  дБ/°С. Таким образом, при небольшом изменении  $\Delta$  происходит незначительное изменение коэффициента пропускания ДВР (рис. 6, б) в отличие от первого случая (рис. 3, б). Наибольшим температурным охватом обладает ДВР, построенная на стекле К8 (рис. 6, а), по сравнению с кварцем (рис. 3, а). Это подтверждает предположение о том, что подбором материала сердечника и гофрированной оболочки можно либо уменьшать влияние физического воздействия, либо увеличивать.

Метод численного моделирования показал, что чувствительность к изменению температуры ДВР с полимерным гофрированным покрытием не уступает чувствительности ДВР, изготовленных по классическим технологиям. Подбором материалов сердечника и полимерного гофрированного покрытия можно изменять чувствительность к измеряемым физическим воздействиям, например, к температуре.

Достоинствами ДВР с полимерным гофрированным покрытием являются большое разнообразие выбора материала для гофра и сердечника волокна, простота изготовления и низкая стоимость.



Работа проводилась при поддержке правительства Санкт-Петербурга (грант № 3,5/30-04/031) и «Гранта проектов аспирантов, докторантов и сотрудников СПбГЭТУ, молодых ученых по разделу III Темплана».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bhatia V., Vengsarkar A. M. Optical fiber long-period grating sensors // Optics Letters. 1996. Vol. 2, № 19. P. 692–694.
2. Shu X., Zhang L., Bennion I. Sensitivity characteristics of long-period fiber gratings // J. of Lightwave Technology. 2002. Vol. 20, № 2. P. 255–266.
3. James S. W., Tatam R. P. Optical fibre long-period grating sensors: characteristics and applications // Measurement Science and Technology. 2003. Vol. 14, № 5. P. R49–R61.
4. An all-fiber dense-wavelength multiplexer/demultiplexer using photoimprinted Bragg gratings / F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault et al. // IEEE Photonics Technology Letters. 1995. Vol. 7, № 4. P. 388–390.
5. CW high power 1.24  $\mu\text{m}$  and 1.48  $\mu\text{m}$  Raman lasers based on low loss phosphosilicate fibre / E. M. Dianov, M. V. Grekov, I. A. Bufetov et al. // Electronics Letters. 1997. Vol. 33, № 18. P. 1542–1544.
6. Archambault J.-L., Grubb S. G. Fiber Gratings in lasers and amplifiers // J. Lightwave Technol. 1997. Vol. 15, № 8. P. 1378–1390.
7. James S. W., Tatam R. P. Optical fiber long-period grating sensors: characteristics and application // Measur. Sci. and Technol. 2003. Vol. 4. P. R49–R61.
8. Сидоров А. И., Цирухин А. А. Формирование полимерных периодических структур на поверхности оптических волокон // ЖТФ. 2010. Т. 80, вып. 1. С. 125–129.
9. Long-period fiber gratings as band-rejection filters / A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins et al. // J. Lightwave Technol. 1996. Vol. 14. P. 58–65.
10. Mazurin O. V., Streltsina M. V., Shvaiko-Shaveikovskaya T. P. Handbook of Glass Data. Amsterdam: Elsevier, 1987.
11. Сидоров А. И., Цирухин А. А. Формирование и оптические свойства длиннопериодных волоконных решёток с полимерным покрытием // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. Т. 3. С. 15–24.

*A. A. Tsirukhin*

#### *INFLUENCE OF TEMPERATURE ON OPTICAL CHARACTERISTICS LONG-PERIOD OF THE GOFFERED FIBER GRATING*

*Results of numerical modelling of influence of a material of the core and polymeric crimps on sensitivity of the fiber gauge on the basis of LPG to temperature are presented.*

**Long-period grating, effective index of refraction, fiber sensor**



УДК 621.3.049.77.001.2

*С. Э. Миронов, А. Ю. Васильев*

## **ИТЕРАЦИОННОЕ СЖАТИЕ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПРИ ИЕРАРХИЧЕСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНВАРИАНТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОПОЛОГИИ МАКРОФРАГМЕНТОВ БИС**

*Описывается метод оптимизации иерархического проектирования топологии макрофрагментов БИС в технологически инвариантной концепции, основанный на итерационном согласовании габаритов и выводов топологий ячеек макрофрагмента БИС, полученных для конкретной технологии.*

**Иерархическое проектирование топологии, сжатие топологии, технологически инвариантное проектирование, макрофрагмент БИС, специализированный кремниевый компилятор**

**Согласование габаритов и положения выводов стыкуемых ячеек.** Целью управления сжатием топологии при технологически инвариантном проектировании ячеек заказного макрофрагмента является обеспечение стыковки соответствующих элементов топологий ячеек при дальнейшей сборке макроблока. Файлы описания топологии в виртуальных координатах обрабатываются программой сжатия, в результате чего эскиз топологии раскрывается до топологических примитивов в конкретной технологии с конкретными проектными нормами. При этом реальные координаты элементов топологии, находившихся на одной и той же виртуальной координате различных ячеек, могут быть различны. Тем более могут не совпадать реальные координаты элементов топологии, находившихся на различных виртуальных координатах ячеек. Рассмотрим в качестве примера процесс стыковки ячеек  $F1$  и  $F2$ , исходные топологические чертежи которых на основе сетки с постоянным шагом в жестких проектных нормах приведены на рис. 1.

Описанный в работе [1] метод согласования габаритов и положения выводов стыкуемых ячеек достаточно прост и нагляден. Именно в соответствии с ним строились иерархические технологически инвариантные специализированные кремниевые компиляторы [2]–[4], результаты работы которых приведены на рис. 2:

– на рис. 2, *а, б* приведены топологии схемы извлечения квадратного корня, сгенерированные для 5- и 6-разрядных операндов соответственно;

– на рис. 2, *в* приведена топология 8-разрядного (8×8) конвейерного матричного умножителя с поразрядной конвейеризацией.

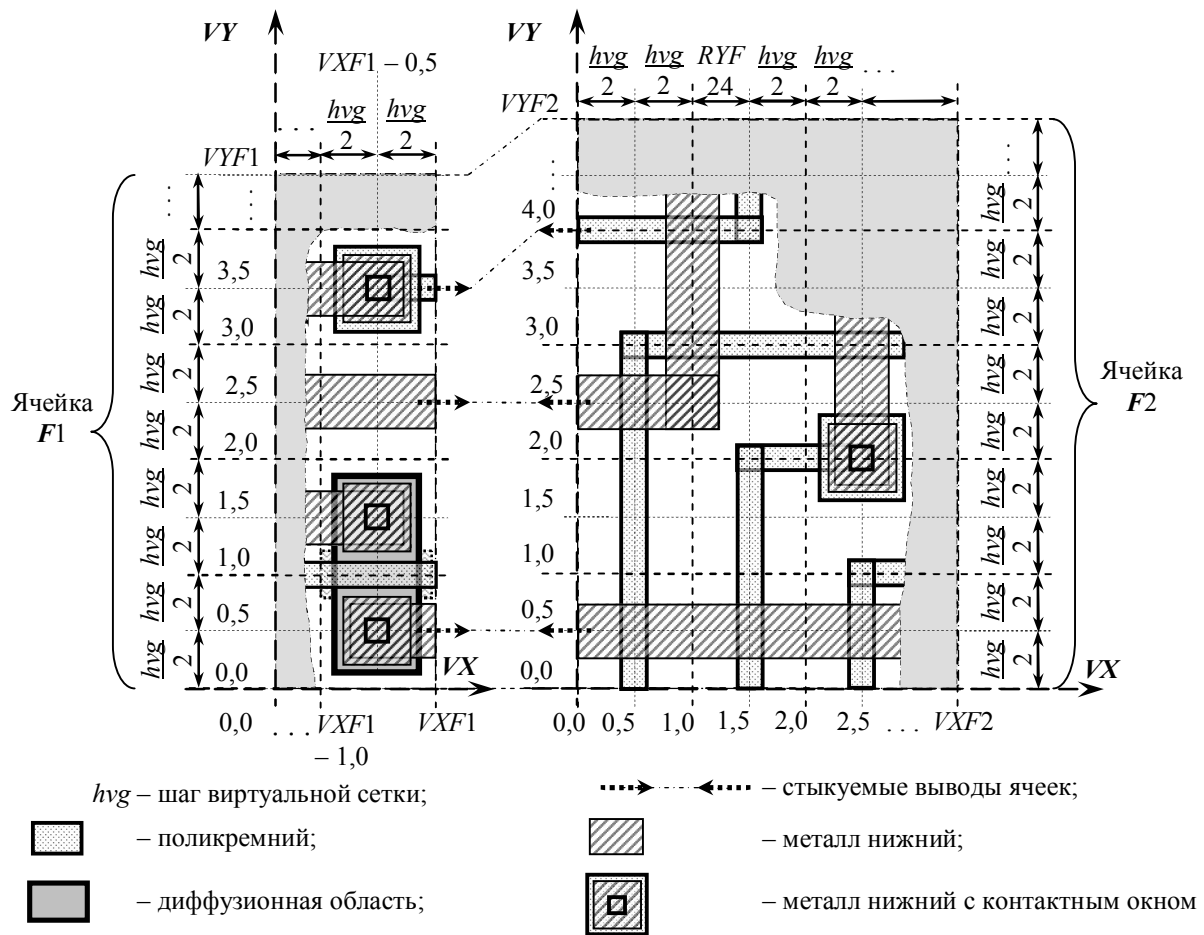


Рис. 1

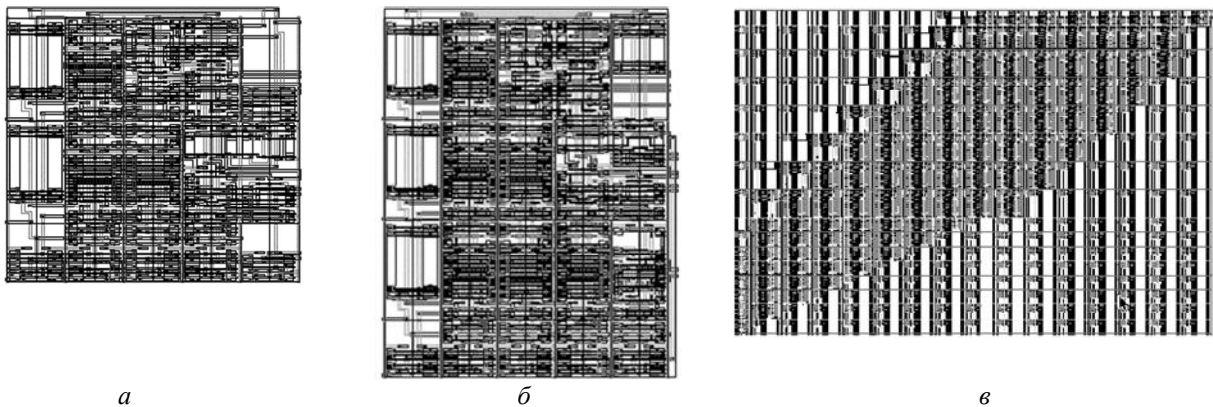


Рис. 2

Однако не всегда результат применения этого метода будет оптимальным.

Первым этапом обработки ячеек является их сжатие по горизонтали, вторым – этап вертикального сжатия ячеек. На рис. 3 представлены результирующие топологии.

При использовании простых алгоритмов сжатия линии виртуальной координатной сетки смещаются в направлении сжатия (в примере справа налево или сверху вниз):

– пока не совместятся с виртуальной линией, на которой располагается какой-либо элемент топологии;

– пока смещающиеся вместе с виртуальной линией расположенные на ней элементы не окажутся на минимально допустимом проектными нормами расстоянии от элементов в левой, ранее сжатой части топологии.

Таким образом, некоторые линии виртуальной сетки могут совмещаться друг с другом, как на рис. 3 в левой ячейке  $F1$  горизонтальные линии «1,5» и «2,0», «2,5» и «3,0» при вертикальном сжатии, а в правой ячейке  $F2$  вертикальные линии «1,0» и «1,5» или «2,0» и «2,5» при горизонтальном сжатии и горизонтальные линии «0,5», «1,0» и «1,5» или «2,0» и «2,5», «3,0» и «3,5» при вертикальном сжатии.

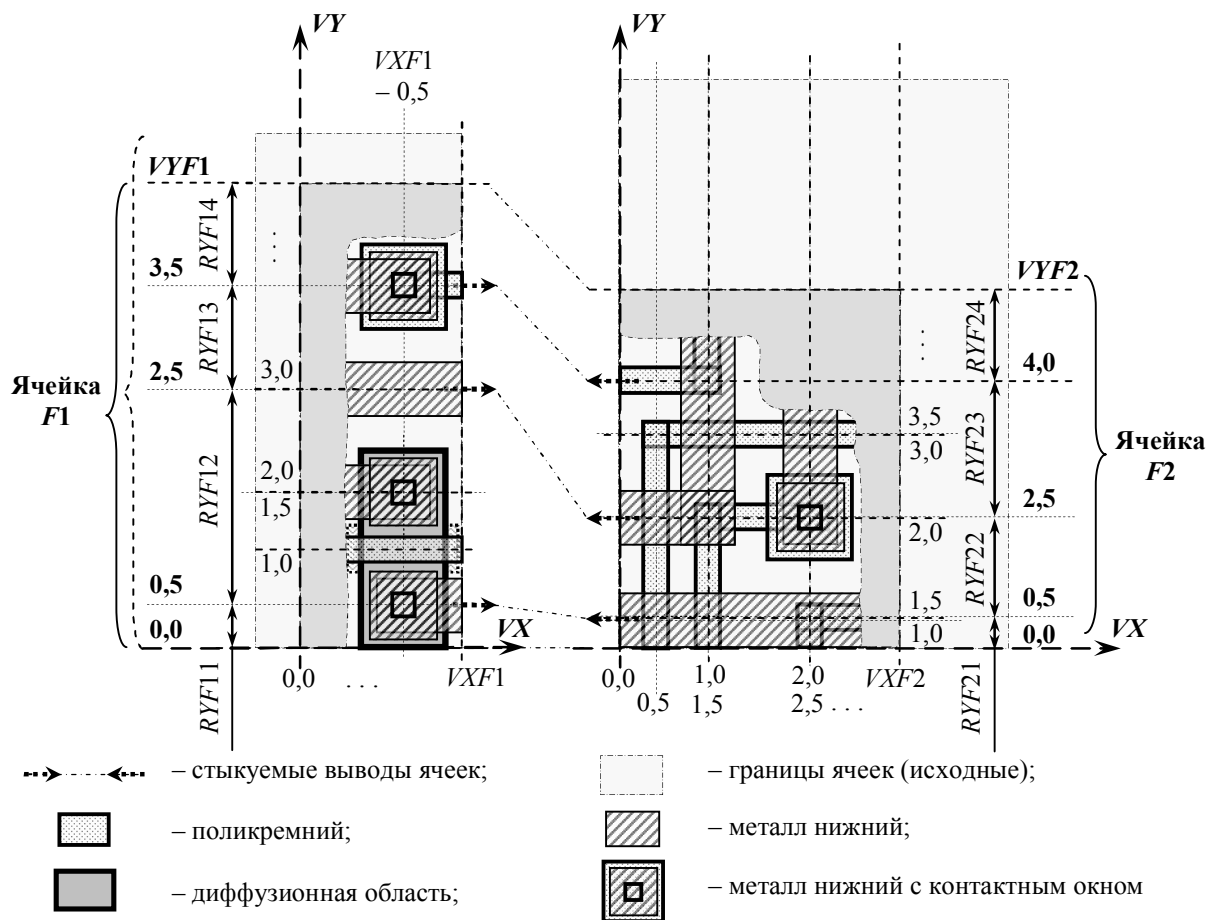


Рис. 3

При использовании сложных алгоритмов сжатия уже не линии, а отдельные элементы топологии или даже их части могут смещаться друг относительно друга, проскальзывая над соседними элементами в несвязанных с ними топологических слоях, что приводит к еще большим взаимным смещениям элементов, чем при использовании простых алгоритмов сжатия.

Полученные ячейки (рис. 3) имеют меньшую площадь, но и их габариты, и положение их выводов различны, а потому ни о какой стыковке элементов речи быть не может.

Для согласования стыкуемых ячеек большой интегральной схемы (БИС) в заданных проектных нормах необходимо выполнить следующие действия (рис. 3, 4):

– выбрать максимальные значения из пар расстояний между стыкуемыми объектами (выводами или границами ячеек, расположенными на виртуальных линиях с выделенными на рис. 3 жирным шрифтом номерами):

$$RY1 = \max (RYF11, RYF21) = RYF11; RY2 = \max (RYF12, RYF22) = RYF12;$$

$$RY3 = \max (RYF13, RYF23) = RYF23; RY4 = \max (RYF14, RYF24) = RYF14.$$

– повторить сжатие, используя полученные значения в качестве дополнительных (помимо технологических проектных норм) ограничений на взаимное расположение соответствующих элементов топологии стыкуемых ячеек.

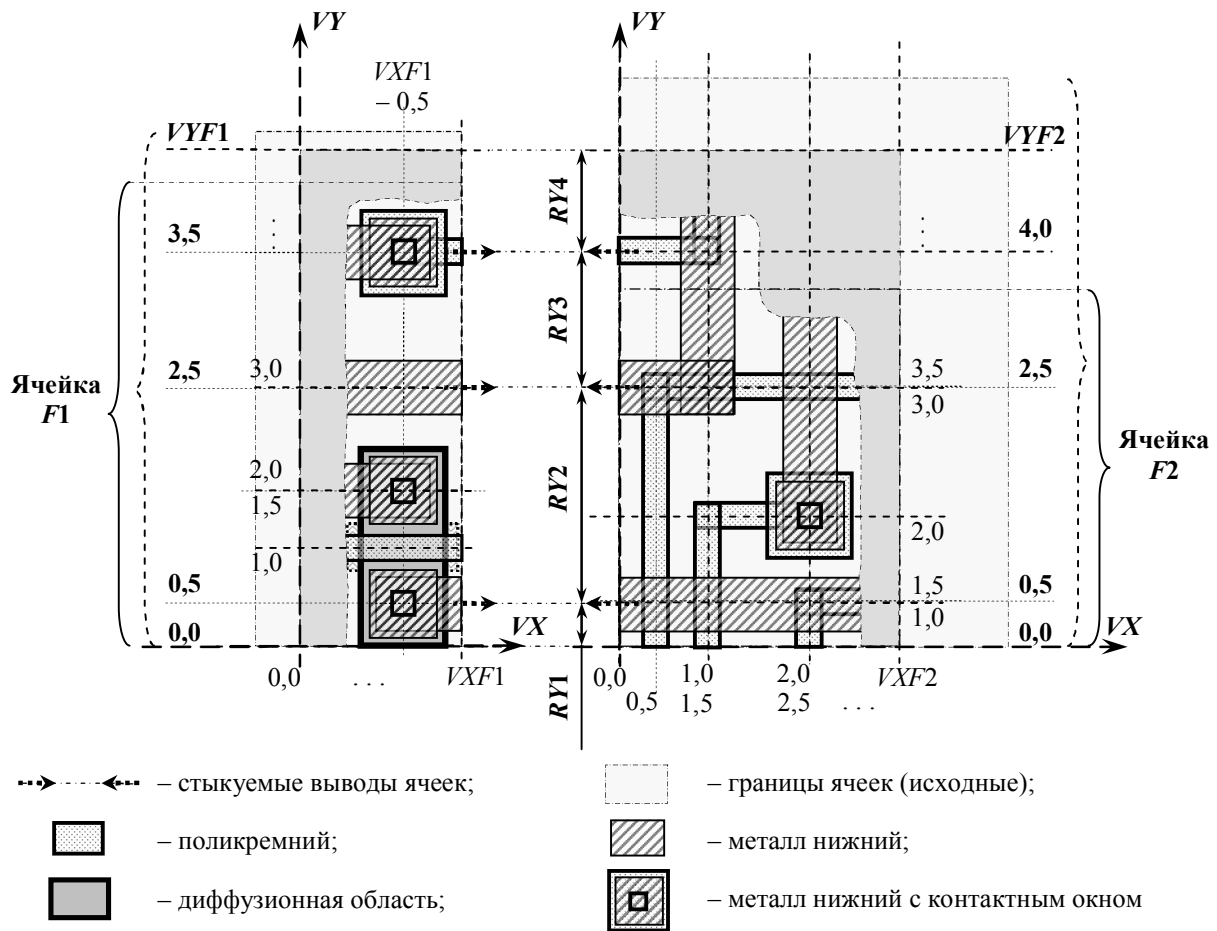


Рис. 4

Однако полученные в результате топологические чертежи (рис. 4), подготовленные для объединения в более крупный фрагмент БИС, обладают избыточной площадью на кристалле. Это связано с тем, что при сжатии расстояние между согласуемыми элементами (выводами или границами) стыкуемых ячеек определяется не только их взаимным влиянием, но и влиянием, оказываемым на них другими элементами топологии.

**Оптимизация иерархического проектирования топологии макроблоков. Итерационное сжатие топологии.** В примере на рис. 4 расстояние  $RY2$  между выводами ячеек  $F1$  и  $F2$  с виртуальными координатами 2,5 и 4,0 по оси  $VY$  чрезмерно велико в связи с тем, что в ячейке  $F2$  при сжатии без ограничений (рис. 3):

- вывод в слое металла на горизонтальной виртуальной линии 2,5, не встретив «препятствий», опустился до горизонтальной виртуальной линии 2,0;
- вывод в слое поликремния на горизонтальной виртуальной линии 4,0 существенно «отстал» от него, «упершился» в поликремниевую шину на виртуальной линии 3,0, в свою очередь, встретившую «препятствие» в лице контакта к поликремнию на виртуальной линии 2,0.

Избежать возникновения подобных ситуаций при сжатии возможно, лишь отказавшись от одновременного определения ограничений на взаимное расположение стыкуемых элементов топологии ячеек. Этот процесс нужно осуществлять итерационно, начиная

с «нижних» выводов, путем поэтапного сжатия топологии, определения положения очередных выводов стыкуемых ячеек, выбора максимального из полученных значений и повторения сжатия с использованием полученной величины в качестве еще одного очередного ограничения на взаимное расположение элементов стыкуемых ячеек.

В качестве иллюстраций к изложенному на рис. 5 и 6 представлены соответственно:

– топологии рассматривавшихся ячеек на этапе определения величины ограничения на расстояние между выводами ячейки  $F1$  с виртуальными координатами 2,5 и 3,5 по оси  $VY$  и выводами ячейки  $F2$  с виртуальными координатами 2,5 и 4,0 по оси  $VY$ ;

– результирующие топологии рассматривавшихся ячеек, в которых отсутствует избыточная площадь на кристалле.

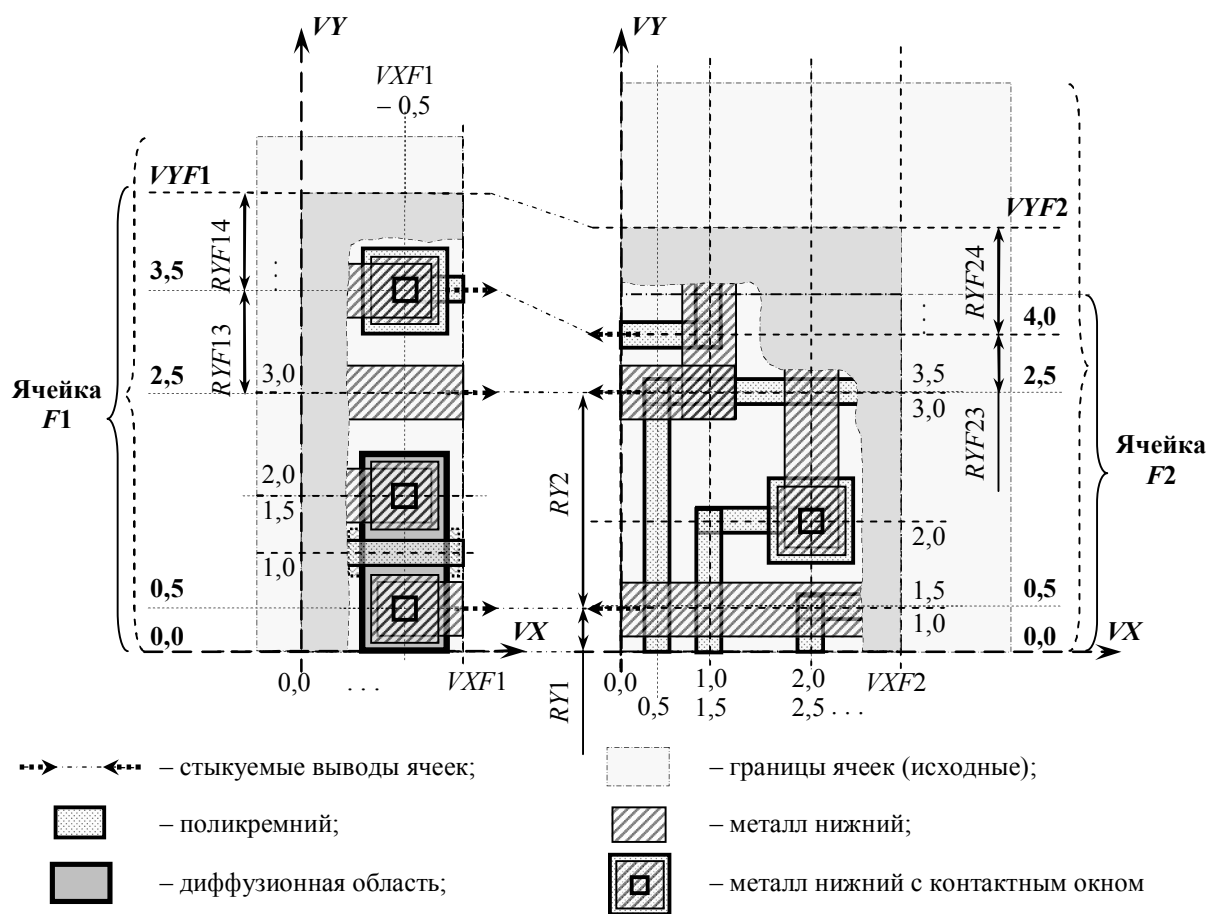


Рис. 5

Первая версия программы, реализующей данный подход, который в дальнейшем будем называть итерационным согласованием выводов и габаритов ячеек, включает процедуры, осуществляющие:

- чтение координат из соответствующих структур данных;
- определение значения ограничения на взаимное расположение выводов для очередного этапа сжатия топологии ячеек;
- запись очередного полученного значения ограничения в программу управления сжатием стыкуемых ячеек.

В качестве исходных данных для программы выступают наборы меток и значений виртуальных координат выводов и границ для двух фрагментов.

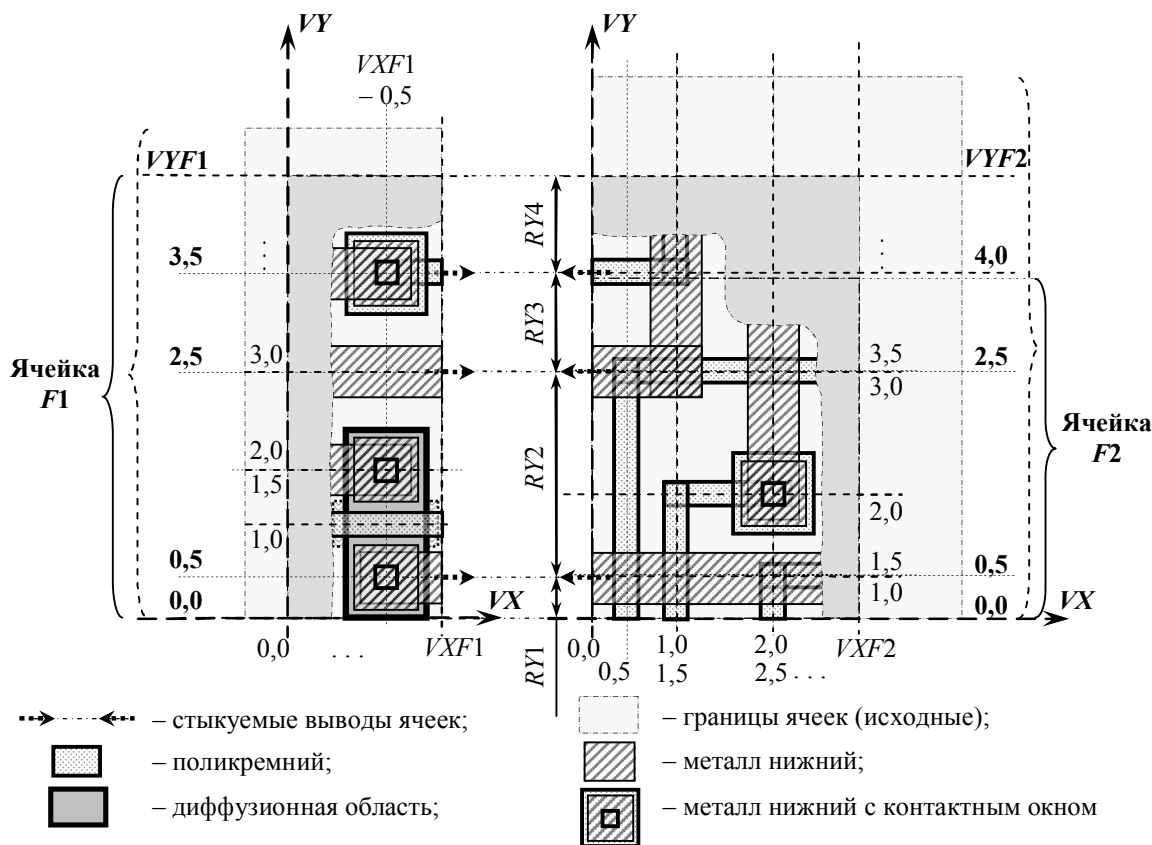


Рис. 6

Распространение метода итерационного согласования выводов и габаритов ячеек на произвольное число ячеек позволит существенно упростить и ускорить процесс иерархического проектирования макрофрагментов БИС, обеспечивая автоматическое согласование целых строк и столбцов разнотипных стыкуемых ячеек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов С. Э. Принципы организации иерархического проектирования топологии в системе символического проектирования на основе виртуальной сетки / Санкт-Петерб. гос. электротехн. ун-т. СПб., 1998. 10 с. Деп. в ВИНТИ 20.01.98, № 144-B98.
2. Миронов С. Э., Стрельников Е. В. Иерархический технологически инвариантный компилятор конвейерного матричного умножителя / Санкт-Петерб. гос. электротехн. ун-т. СПб., 1999. 35 с. Деп. в ВИНТИ 22.07.99, № 2391-B99.
3. Миронов С. Э., Галкин А. А. Иерархический технологически инвариантный компилятор схемы извлечения квадратного корня / Санкт-Петерб. гос. электротехн. ун-т. СПб., 1999. 37 с. Деп. в ВИНТИ 22.07.99, № 2392-B99.
4. Миронов С. Э., Галкин А. А., Стрельников Е. В. Иерархическое проектирование топологии регулярных макрофрагментов интегральных схем в технологически инвариантной концепции // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. 2006. Вып. 2. С. 50–54.

S. E. Mironov, A. U. Vasilev

#### ITERATION TOPOLOGY COMPACTION WITH LIMITATIONS IN HIERARCHICAL PROCESS-TOLERANT DESIGN OF VLSI MACROBLOCK TOPOLOGY

*Optimization method of VLSI macroblock topology hierarchical design in Process-Tolerant Conception is described. This method based on iteration agreement of cells size and cells input/output locations for cells in concrete technology.*

**Hierarchical topology design, topology compaction, process-tolerant design, VLSI macroblock, specials silicon compiler**

## ОБЗОР АЛГОРИТМОВ КАНОНИЧЕСКОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ

*Обсуждаются особенности алгоритмов одномерного и двумерного канонического корреляционного анализа в приложении к обработке изображений лиц. Показана сложность применения одномерных методов ССА и проведен анализ подходов к двумерному ССА.*

### Канонический корреляционный анализ, распознавание лиц, редукция размерности пространства признаков

В настоящее время активно развивается область информатики, связанная с биометрическими технологиями распознавания людей [1]. Кроме технологий идентификации и аутентификации людей, развиваются новые направления практической биометрии, например, распознавание эмоционального и психофизического состояния людей по их «портретам». Поэтому в последнее время специалисты по компьютерным технологиям и распознаванию образов (и изображений лиц) обратились к методу анализа канонической корреляции, который позволяет согласовывать наблюдения за объектом с разных, внешне не связанных между собой, сторон.

Метод канонического корреляционного анализа (Canonical Correlation Analysis – ССА), представленный Хоттелингом в 1930-х гг., изначально описывал соотношение между двумя *одномерными* рядами данных [2], [3] с прогнозом его применения к многомерным данным. Однако сложность и объем вычислений в ССА привели к тому, что на первое практическое применение ССА к наборам цифровых изображений потребовалось семьдесят лет ожиданий. Мощный скачок в развитии компьютерных технологий создал предпосылки для использования ССА в задачах обработки многомерных данных, в том числе изображений лиц и последовательности изображений лиц, а также других изображений, представляющих биометрические характеристики человека.

В технической литературе по распознаванию лиц и распознаванию эмоций пока есть только отдельные публикации, связанные с использованием метода ССА [4]–[9].

**Структура вычислений в ССА.** В рамках ССА информация об объекте (форма, модель или иная группа признаков) переводится из исходного пространства признаков в пространство канонических переменных (ПКП), и все дальнейшие операции осуществляются в этом пространстве. В данном случае объектом исследований является цифровое изображение, основным объектом которого является лицо.

Рассмотрим структуру вычислений в ССА. Пусть заданы два набора данных  $X$  и  $Y$ , состоящие из  $K$  векторов размером  $DIM \times 1$  каждый. На рис. 1 показаны три возможных варианта получения наборов признаков  $X$  и  $Y$ , где ЭП – соответствующие блоки экстракции признаков.

Целью ССА является определение двух матриц проекции, трансформирующих исходные данные в ПКП, чтобы выполнялось условие

$$\|U - V\| \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $U = W_x^{\circ} X$ ;  $V = W_y^{\circ} Y$  (« $\circ$ » – символ транспонирования).



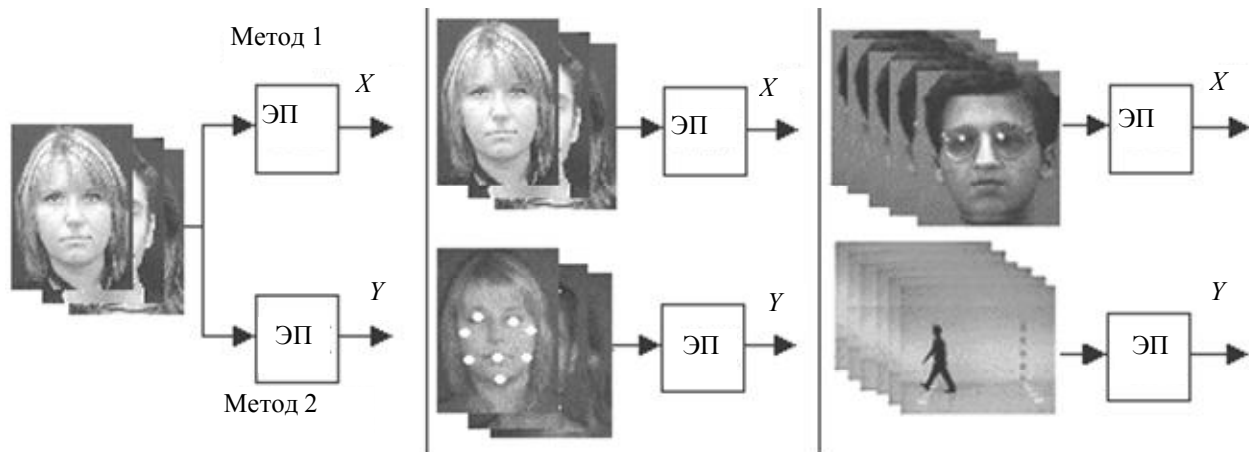


Рис. 1

Соответствующие матрицы проекции определяются на этапе решения двух задач на собственные значения [2], [3]:

$$\begin{cases} (C_{xx}^{-1}C_{xy}C_{yy}^{-1}C_{yx})W_x = W_x\Lambda_x; \\ (C_{yy}^{-1}C_{yx}C_{xx}^{-1}C_{xy})W_y = W_y\Lambda_y, \end{cases} \quad (2)$$

где  $C_{xx}, C_{yy}, C_{xy}, C_{yx}$  – матрицы ковариации исходных данных;  $\Lambda_x, \Lambda_y$  – диагональные матрицы собственных значений;  $W_x$  и  $W_y$  – матрицы проекции (матрицы собственных векторов); «-1» – знак обращения матриц (порядки всех матриц равны DIM).

Исходные данные, структура вычислений в ССА и результат ССА схематически представлены на рис. 2. Блоки, обозначенные как « $\otimes$ », реализуют процедуру проекции исходных данных в ПКП. ССА заканчивается выбором параметра  $d$  редукции размерности исходного пространства признаков (причем  $d \leq \min\{\text{DIM}, K\}$ ) и проверкой качества взаимного соответствия канонических переменных в «редуцированном» пространстве признаков. Эти операции реализуются в блоке «Верификация модели в ПКП».

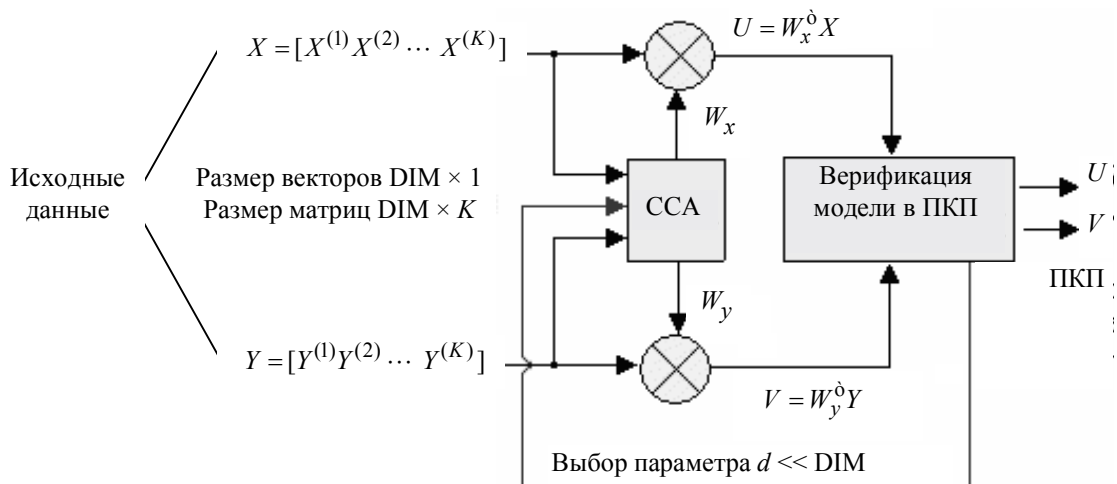


Рис. 2

В приложении к обработке изображений в биометрии входной информацией для ССА могут быть некоторые признаки исходных изображений (например, спектральные в базисе Фурье [10] или базисе собственного преобразования [6]), антропометрические точки на области лица [11] или эластичная модель лица (ЭМЛ) [11], [12].

Например, в [11], [12] используются два набора данных: модель лица (2D или 3D) и антропометрические точки лица. На рис. 3 показан пример системы, где входными данными являются ЭМЛ и гистограммы яркости изображений или ЭМЛ и спектр изображения лица.

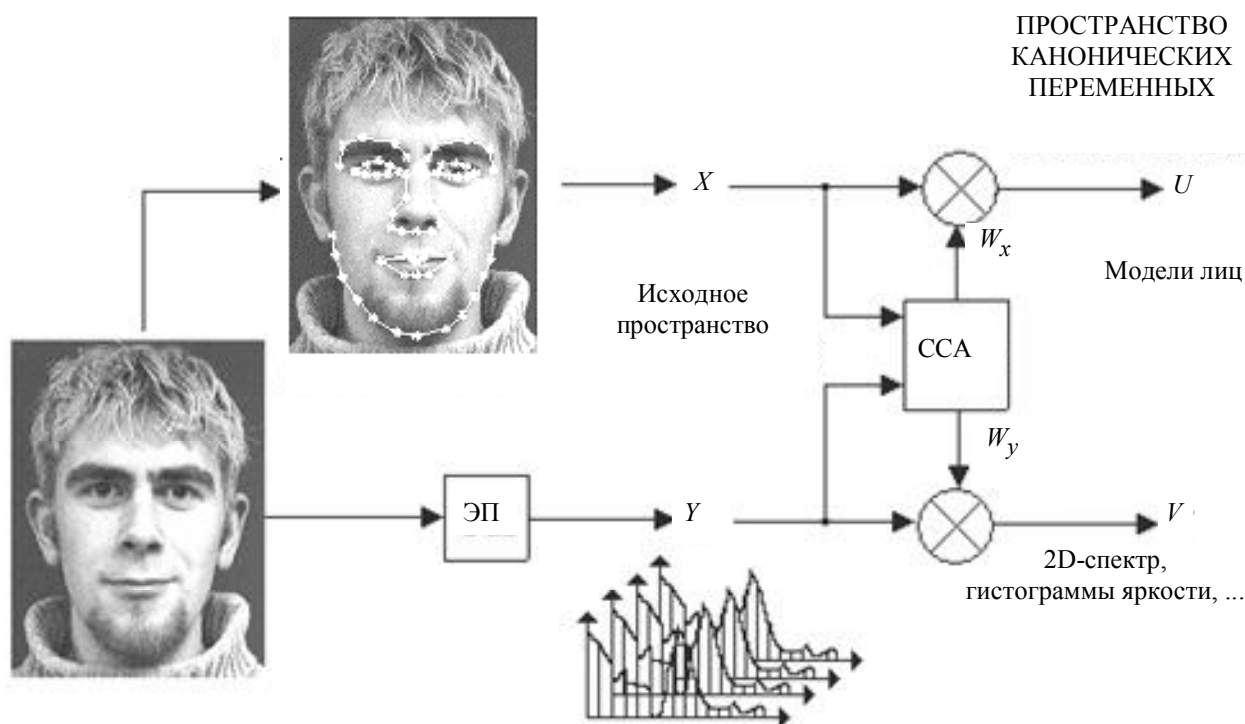


Рис. 3

**Одномерные методы реализации ССА.** Применение ССА в приложении к обработке изображений основано, как правило, на одномерном представлении исходного пространства признаков. Это объясняется тем, что возможность решения задачи (2) на собственные значения и сложность вычислений в (2) будет определяться исходной размерностью DIM векторов признаков в наборах данных  $X$  и  $Y$ . При этом для изображений размером  $M \times N$  пикселей размерность пространства определяется величиной  $MN$ . Это приводит к размерности пространства признаков (РПП) равной 10 000 уже при  $M = 100$  и  $N = 100$ . В практической биометрии, отвечающей стандарту<sup>1</sup>,  $\min\{M, N\} \gg 100$ , что приводит к РПП значительно выше 10 000. Кроме того, произведение матриц в (2) не дает симметрическую матрицу, поэтому общая матрица, полученная как результат перемножения этих матриц, потребует регуляризации. В связи с отмеченным, решение (2) не является тривиальным решением проблемы собственных чисел и может привести к неточностям вычислений и существенной неортогональности матриц проекции (1).

Высокая размерность данных приводит к невозможности прямого применения ССА для обработки изображений в биометрии. Поэтому в практике решения задач биометрии на основе ССА используются процедуры предварительной редукции РПП, что также не всегда эффективно или трудоемко [4]–[6], [9], [10].

<sup>1</sup> Biometric Data Interchange Formats. ISO/IEC JTC 1/SC 37 N 506., Part 5: Face Image Data. (March 22, 2004), <http://www.icao.int/mrtd/download/technical.cfm>.

В работах [4]–[6], [9], представляющих одномерный подход к реализации ССА, используются процедуры предварительной редукции РПП. Как правило, редукция осуществляется двумя последовательными шагами: уменьшением размера исходного изображения с трансформацией результата в вектор [5] и (или) реализацией дополнительной редукции РПП на основе методов анализа главных компонент [6] или спектральных признаков [10] из исходных изображений.

Например, на рис. 4 показан возможный вариант систем распознавания изображений разных категорий с использованием ССА (схема составлена по описанию алгоритмов в [4] и [5]).

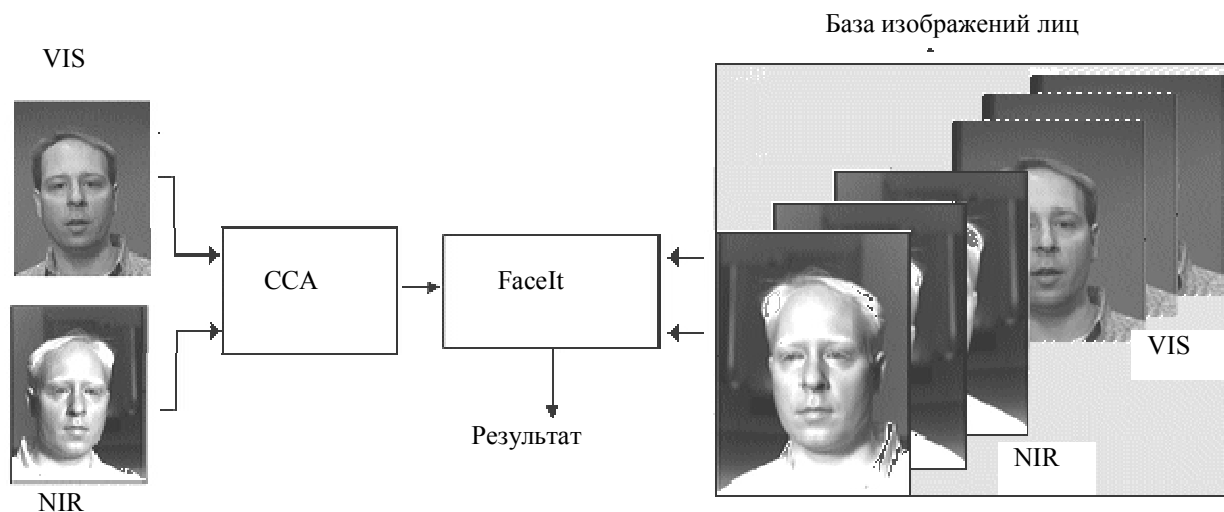


Рис. 4

Здесь VIS и NIR – исходные изображения лиц в видимом и инфракрасном свете. Эти изображения существенно различаются друг от друга, и прямое их сравнение не представляется возможным. Именно поэтому здесь осуществляется переход в ПКП.

На рис. 5 показан другой вариант аналогичной системы классификации изображений лиц в видимом и инфракрасном свете. Система составлена по описанию алгоритма [6].

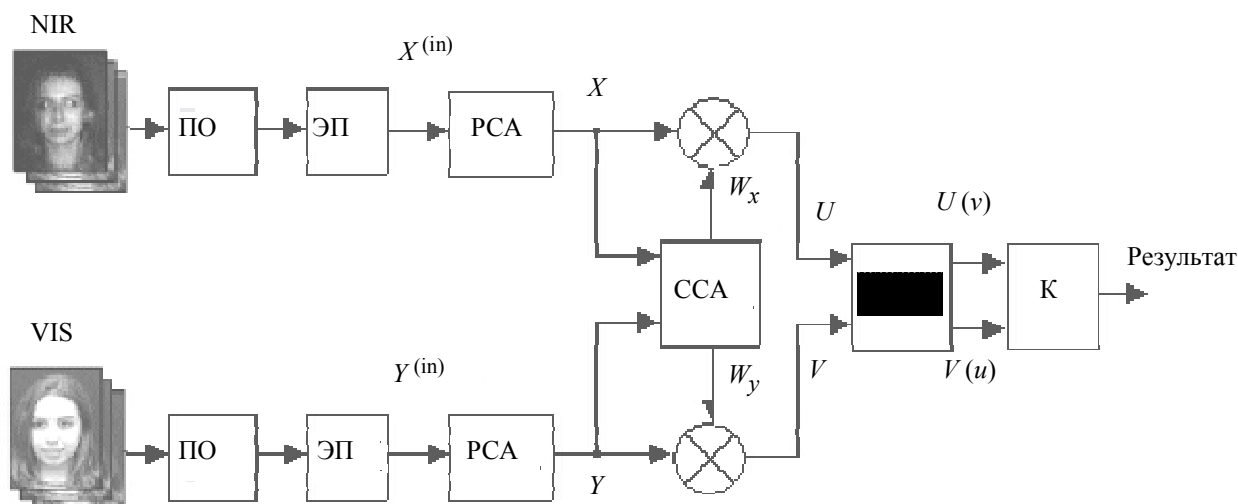


Рис. 5

Здесь ПО – блок предварительной обработки исходных изображений (уменьшение размера, нормализация яркости и выравнивание областей лица по линии глаз и расстоянию между центрами глаз); ЭП – блок экстракции признаков и формирования вектора признаков; PCA – блок

анализа главных компонентов [13] и редукции РПП; БМР – блок множественной регрессии; К – компаратор. Вместо блока PCA в [6] также использовался блок LDA – линейного дискриминантного анализа [13].

В экспериментах, представленных в [6], каждое исходное изображение (VIS и NIR) имело размеры  $M \times N$  пикселей. В блоке ПО эти изображения уменьшаются до размера  $142 \times 120$  пикселей и далее в блоке ЭП преобразуются в векторы признаков  $X^{(in)}$  и  $Y^{(in)}$  еще меньшего размера и, наконец, в блоке PCA трансформируются в ортогональное пространство признаков, образуя векторы  $X$  и  $Y$  размерности  $DIM = 199$ .

Затем применяется процедура ССА, на выходе которой получаются наборы канонических переменных  $U$  и  $V$ . Каждая отдельная переменная  $u(k) \in U$  и  $v(k) \in V$ , соответствующая отдельному исходному изображению, имеет размер  $100 \times 1$ . Далее в системе используется процедура множественной регрессии для взаимного отображения канонических переменных друг в друга –  $U(v)$  и  $V(u)$  и, наконец, новые данные  $U$  или  $V$  сравнивают с их отображениями  $U(v)$  и  $V(u)$  в компараторе.

Этот пример показывает, насколько сложно применение одномерных методов реализации ССА в приложении к обработке изображений.

**Анализ подходов к двумерным методам реализации ССА.** В работах [14]–[16] впервые были представлены различные варианты «двумерной реализации ССА» в приложении к обработке изображений лиц.

В работе [14] решения основаны на предварительной процедуре уменьшения размера исходных изображений до размера  $50 \times 50$  пикселей (или  $40 \times 50$ ) и выравнивания области лиц по линии глаз, а также на двух последовательных итерационных процедурах вычисления матриц собственных векторов с пороговым окончанием этих процедур. Эксперименты выполнены на базах AR и FERET [13]. Цель экспериментов – связать между собой изображения лиц с разной степенью освещенности (база AR) и изображения лиц с разным ракурсом (база FERET) для их последующего сравнения. Представленные в [14] результаты свидетельствуют об улучшении результата распознавания этих групп лиц с использованием подхода 2D ССА в сравнении с подходами, основанными на 1D ССА, 1D LDA и 2D LDA. При размерности ПКП не ниже  $10 \times 10$  результат распознавания составил максимум 74 %.

Эксперимент 1 показал, что выбранная пара изображений (темное и светлое) может быть взаимно распознана в ПКП. Однако, если распознавать изображения с другой освещенностью относительно одного из базовых, то этот факт может не подтвердиться. Такие эксперименты в работе не выполнены.

Эксперимент 2 представляет трансформацию пар изображений (фронтальное изображение, повернутое влево, а также фронтальное изображение, повернутое вправо) в ПКП и проверку результата их взаимного распознавания.

Перечислим недостатки подхода, описанного в статье [14]:

- не объясняется, почему в ПКП не достигнуто 100 % распознавания изображений в обоих экспериментах. Возможная причина в том, что решение задачи на собственные значения не было оптимизировано по точности;

- в рамках статьи остался невыясненным вопрос: для какой структуры данных применялся метод 2D ССА – для каждого класса отдельно (локальный подход) или для всех классов сразу (глобальный). Ответ на этот вопрос является принципиальным, поскольку связан с размерностью исходных данных;

– авторы работы [14] при мотивации своего подхода ссылаются на свои же работы 2004 года по 2D PCA и 2005 года по 2D LDA. Однако в этих работах представлены преобразования исходных изображений только по одному направлению изображений, а именно к строкам исходных изображений.

В работе [16] эксперименты выполнены на базе Cohn-Kanade [13], а решения основаны на выравнивании исходных изображений по трем антропометрическим пунктам лица и предварительной процедуре уменьшения размера изображения. Последняя заканчивается выделением двух областей лица – области рта и правого глаза – размерами  $53 \times 68$  и  $45 \times 51$  соответственно. Отдельные векторы проекций  $w_x$  и  $w_y$  вычисляются итерационно степенным методом с выбором начальных значений векторов этих матриц. Процесс заканчивается по достижении заданной сходимости (не увеличения значения параметра канонической корреляции). Цель использования ССА – связать между собой изображения областей рта и глаза так, чтобы можно было их реконструировать друг из друга с помощью многомерной регрессии. Решаемая задача – распознавание эмоций – может быть теперь основана на распознавании только области глаза с учетом ее устойчивой корреляции с областью рта в ПКП. Эксперименты это подтвердили для размерности ПКП не ниже  $28 \times 1$  и не выше  $11 \times 6$  и шести вариантов выражений лица (шести классов). Собственно распознавание эмоций выполнено для 2, 3 и 4 классов. Результаты распознавания эмоций составили 96, 80 и 68 % соответственно.

В [15] также применяется предварительная процедура уменьшения размера исходных изображений до размера  $28 \times 23$  пикселя, а ССА реализуется только в приложении к одному направлению уменьшенных изображений, а именно к строкам исходных изображений. Эксперименты выполнены на базе ORL [13]. Цель экспериментов – исследование зависимости результата распознавания от числа классов объектов в базе изображений и числа признаков в ПКП. Показано, что для 2 классов результат составил 85 %, а для 8 эталонов – 97 %. Число признаков изменялось от 5 до 25, однако существенных изменений результата распознавания не наблюдалось. При этом максимальный результат составил 93 %.

Анализируя результаты работ [15], [16], можно отметить:

– предложенные методы проверены на очень малом числе классов (от 2 до 4 и от 2 до 6 соответственно), и осталось не выясненным, какие результаты могут быть получены для большего числа классов;

– в [15] показано, что с ростом числа классов растет результативность распознавания. Обычно результат должен быть противоположным. Не ясно, является ли это ошибкой эксперимента или авторам не удалось вскрыть механизмы зависимости результата распознавания от числа классов объектов;

– результаты распознавания, представленные в [15] на двух графиках, не согласуются между собой, отличаясь более чем на 4 %. В связи с этим возникает дополнительный вопрос о репрезентативности выполненного эксперимента.

Современное развитие практической биометрии может быть основано на раскрытии связей между различными формами представления биометрической информации о людях с использованием метода ССА. Перспективным направлением является использование двумерных методов ССА, например, подход, основанный на представлении изображений как совокупности строк и столбцов и реализации ССА по этим совокупностям. Однако, как показал анализ, из публикаций [14]–[16] не вытекает общего подхода к использованию метода

2D ССА в биометрии и однозначного представления информации о лицах в ПКП. Кроме того, в [14]–[16] не представлено точных моделей выполненных экспериментов, что не позволяет ни повторить эти эксперименты, ни использовать их результаты.

Хотя метод 2D ССА интуитивно ясен, многие детали его реализации остаются за рамками известных публикаций. Все это требует тщательной алгоритмической проработки метода 2D ССА, а также полного исключения дополнительных операций редукции РПП и предварительного выравнивания исходных изображений.

Некоторые решения в этом направлении представлены в работе [17].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jain A. K. An Introduction to Biometric Recognition // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. Vol. 14, № 1. January 2004.
2. Hotelling H. Analysis of complex variables into principal components // J. of Educational Psychology. 1933. № 24. P. 417–441.
3. Hotelling H. Relations between two sets of variates // Biometryka. 1936. № 28. P. 321–377.
4. Reiter M., Donner R. Estimation of Face Depth Maps from Color Textures using Canonical Correlation Analysis // Computer Winter Workshop. 2006.
5. Reiter M., Donner R. 3D and Infrared Face Recognition from RGB data using Canonical Correlation Analysis // 18th International Conference. 2006. Vol. 1. P. 425–428.
6. Dong Yi, Rong Liu. Face Matching Between Near Infrared and Visible Light Images // Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4642. P. 523–530.
7. Kim T-K., Kittler J., Cipolla R. Learning discriminative canonical correlations for object recognition with image sets // IEEE Trans. on PAMI. 2007. Vol. 29, № 6.
8. Amit C. Kale, Aravind R. Face Recognition using Canonical Correlation Analysis // The National Conference on Communications. 2007. P. 48–52.
9. Shan C., Gong S., McOwan P. W. Fusing gait and face cues for human gender recognition // Neurocomputing 71. 2008. P. 1931–1038.
10. Szaber M., Kamenskaya E. Systemy rozpoznawania twarzy dla obrazów widzialnych i podczerwieni z wykorzystaniem CCA // Metody informatyki stosowanej. Vol. 15, № 3. 2008. P. 223–236.
11. Zepeda J. A. Y. Linear tracking of pose and facial features // Conference on Machine Vision Application (MVA2007 IAPR). May 16–18, 2007. Tokyo, Japan. P. 182–185.
12. Fast Active Appearance Model Search Using Canonical Correlation Analysis / R. Donner, M. Reiter, G. Langs et al. // IEEE Transaction on PAMI. October 2006. Vol. 28, № 10. P. 1960–1964.
13. Li S., Jain A. Handbook of Face Recognition. Springer, 2005.
14. Lee Sun Ho, Choi Seungjin. Two-Dimensional CCA // IEEE Signal Processing Letters. October 2007. Vol. 14, № 10. P. 735–738.
15. 2DCCA: A Novel Method for Small Sample Size Face Recognition / Zou Cai-rong, Sun Ning, Ji Zhen-hai, Zhao Li // IEEE Workshop on Application of Computer Vision. WACV'07. 2007. P. 43–47.
16. Shan C., Gong S., McOwan P. W. Capturing correlations among facial parts for facial expression analysis // Proceedings of BMVC'2007.
17. Кухарев Г. А., Каменская Е. И. Двумерный канонический корреляционный анализ в приложении к обработке изображений лиц // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 1. С. 23–29.

*E. Kamenskaya*

### *A SURVEY OF CANONICAL CORRELATION ANALYSIS ALGORITHMS IN IMAGE PROCESSING*

*In this paper characteristics of one- and two-dimensional Canonical Correlation Analysis algorithms are discussed in application to facial image processing. Complexity of one-dimensional CCA is explained, and various approaches to two-dimensional CCA are described.*

**Canonical Correlation Analysis, Face recognition, Feature space reduction**



УДК 62-581

*В. Л. Бугаёв*

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ СИСТЕМАХ**

*Рассматривается общая структура электроприводных систем. Затем дается определение электромагнитной совместимости, приводится описание источников и приемников помех, каналов связи, по которым передаются помехи. Из электроприводной системы выделяются основные источники и приемники помех, приводятся мощности и частоты коммутации применяемых в электроприводах силовых полупроводниковых устройств.*

**Электроприводная система, преобразователь частоты, электромагнитная совместимость, помеха**

Электроприводная система (ЭПС) – это управляемая электромеханическая система. На рис. 1 приведена общая структура ЭПС. Её назначение – преобразовывать электрическую энергию в механическую и обратно и управлять этим процессом. Электроприводная система имеет два канала – силовой и информационный [1]. По первому транспортируется преобразуемая энергия (широкие линии на рисунке), по второму осуществляется управление потоком энергии, а также сбор и обработка сведений о состоянии и функционировании системы, диагностика ее неисправностей (тонкие стрелки).

Силовой канал в свою очередь состоит из двух частей – электрической и механической, и обязательно содержит связующее звено – электромеханический преобразователь.

В электрическую часть силового канала входят устройства электрического преобразователя, передающие энергию от источника питания (шин промышленной электрической сети, автономного электрогенератора, аккумуляторной батареи и т. п.) к электромеханическому преобразователю и обратно и осуществляющие, если это нужно, преобразование электрической энергии. Электрические преобразователи бывают неуправляемыми (трансформатор, неуправляемый выпрямитель) и управляемыми (преобразователь частоты (ПЧ), устройство плавного пуска, мотор-генератор, инвертор), они могут иметь одностороннюю (выпрямитель) или двухстороннюю (преобразователь частоты с активным выпрямителем, мотор-генератор, управляемый выпрямитель с двумя комплектами вентилялей) проводимость. В случае односторонней проводимости преобразователя и обратном (от нагрузки) потоке энергии используется дополнительный блок рекуперации для преобразования тормозной энергии. Кроме того, в состав силовой части входит различная коммутационная и защитная

аппаратура, фильтры, дроссели и силовые кабели. Мощности электроприводов, входящих в состав электроприводных систем, лежат в диапазоне от сотен ватт до десятков мегаватт.

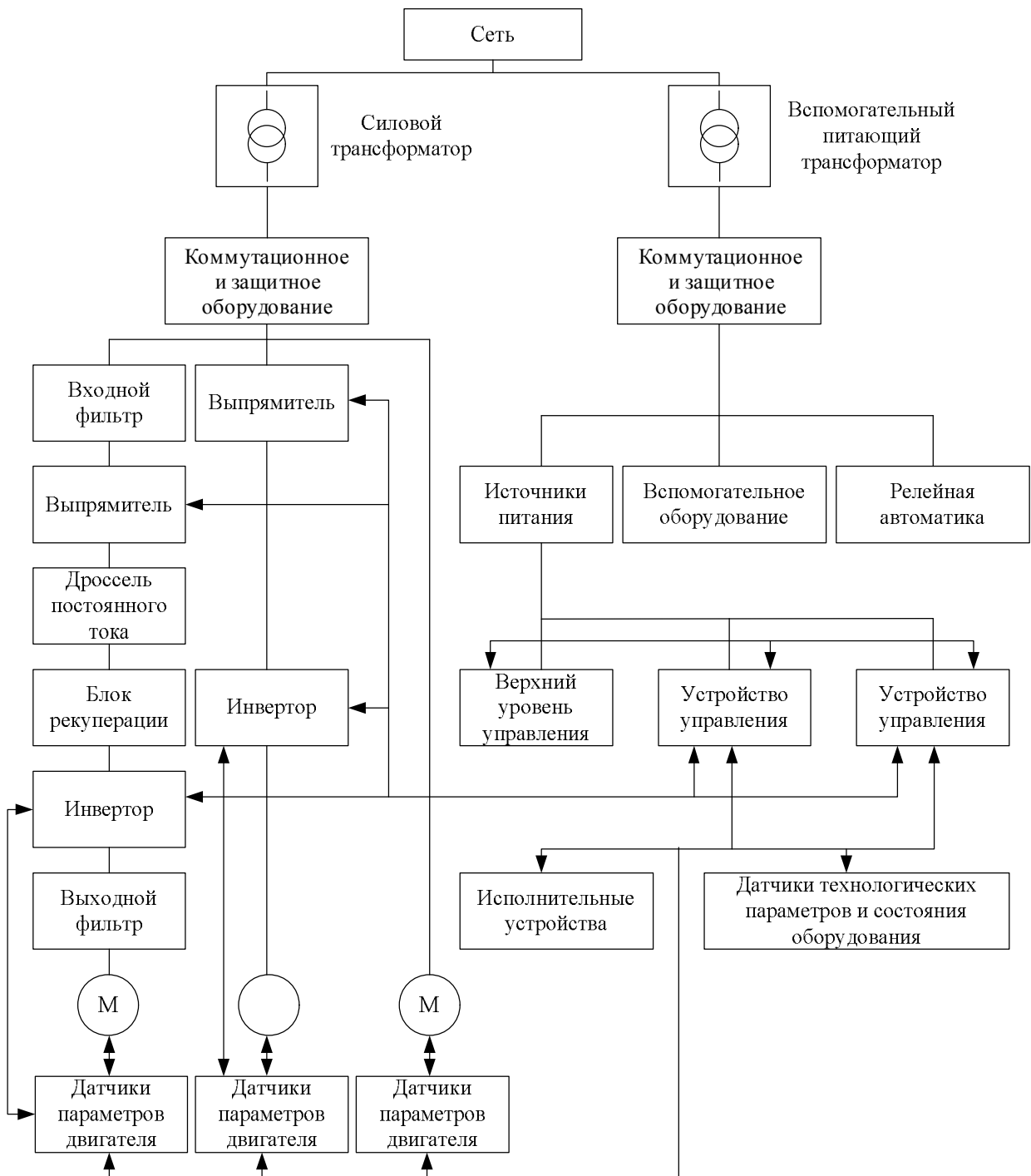


Рис. 1

Электропривод взаимодействует с системой электроснабжения или источником электрической энергии, с одной стороны, с технологической установкой или машиной, с другой стороны, и с информационной системой более высокого уровня – с третьей. В состав информационной системы входит микропроцессорная техника, сетевые интерфейсы, релейные и транзисторные устройства системы управления. Стандартные уровни полезных сигналов устройств управления: 5, 12, 24 В – дискретных сигналов; 0...5 В, 0...10 В,



–10...+10 В, 0...20 мА, 4...20 мА – аналоговых сигналов. Сетевые интерфейсы как правило имеют стандартные уровни сигналов, но информация в них кодируется, а также присутствует система проверок и диагностик, что существенно повышает надежность передачи информации.

Таким образом, ЭПС представляют собой многоуровневую структуру, включающую мощные источники и приемники (рецепторы) электрической энергии; распределительные устройства с разветвленными линиями передачи или кабельными трассами; защитную и коммутирующую аппаратуру; системы управления. Для обеспечения функционирования таких систем необходимо учитывать изменения ее параметров и функций из-за взаимовлияния отдельных элементов в рамках проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС).

Понятие «электромагнитная совместимость» определено в стандарте МЭК 60050 международным электротехническим словарем (МЭС) как «способность устройства, оборудования или системы функционировать удовлетворительно в их электромагнитной обстановке (ЭМО), не создавая недопустимых электромагнитных помех чему-либо в этой обстановке». При этом под электромагнитной обстановкой понимается множество электромагнитных явлений, существующих в данном месте (радиопомехи, влияние на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействие заземления и т. д.).

Чтобы более наглядно описать электромагнитные влияния технических средств, выделим: передатчики электромагнитных влияний (источник помех), механизмы связи (каналы связи) и поглотитель помех (приемник или рецептор) [2]. Это разделение условно, так как приемник, поглощая помехи, в свою очередь может влиять на другие приемники. А передатчик может поглощать помехи от других передатчиков.

Грубая модель влияния имеет ограниченное значение. Для целенаправленного планирования ЭМС системы должны быть известны:

- ЭМО (характеризуемая электрической и магнитной напряженностями электромагнитного поля);
- амплитудные значения напряжений и токов источника помех, частотные спектры, крутизна фронтов изменения напряжений и токов;
- механизм связи, например характеризуемый коэффициентами затухания или передаточными функциями;
- восприимчивость, или чувствительность, приемника помех, характеризуемая пороговыми значениями помех в частотной и временной областях.

ЭМО, в которой работают средства автоматизации (в том числе электроприводных систем), обусловлена наличием большого числа отдельных источников помех. При систематизации помехи можно разделить на две большие группы: естественные, обусловленные природными электромагнитными явлениями, и искусственные, образованные электромагнитными процессами в технических устройствах [3]. Среди известных естественных источников для средств автоматизации важны разряды атмосферного электричества, а также возможные разряды статического электричества между телами, получившими заряды разной полярности. В качестве искусственных источников электромагнитных помех рассматривают все процессы при нормальных рабочих и аварийных режимах приборов, машин, электроэнергетических установок, устройств информационной техники, находя-

щихся вблизи средств автоматизации. Основными источниками электромагнитных помех в ЭПС можно считать преобразователи частоты, работающие в нормальном режиме с частотами коммутации вентилях, лежащих в диапазоне от 2 до 20 кГц, при коммутируемом напряжении от сотен вольт до киловольт, нерегулируемые приводы при их пусках и изменениях нагрузки; необходимо учитывать также коммутацию релейной автоматики и разряды статического электричества. Основными последствиями помех являются следующие:

- зависание и изменение показаний отображающих индикаторов;
- перезапуск контроллеров и процессоров;
- зависание систем;
- выполнение ложных команд;
- разрушение входных фильтров;
- разрушение источников питания;
- разрушение входных цепей линий связи;
- ложное срабатывание систем связанное с резонансными явлениями входных фильтров;
- отклонение показаний измерительных систем.

Совершенствование приводной техники, в частности систем с частотным регулированием скорости электропривода, усложняет обеспечение допустимых уровней помехоустойчивости и уровней высокочастотных кондуктивных помех промышленных преобразователей в диапазоне 150 кГц...30 МГц [4]. В ГОСТ Р 51524 – 99 (Совместимость технических средств электромагнитная. Системы электрического привода с регулируемой скоростью вращения) говорится о том, что ЭПС должна удовлетворять установленным нормам гармонического состава тока в полосе частот от 100 Гц до 2 кГц, потребляемого из электрической сети, колебаний напряжения и фликера, вызываемых в электрической сети, а

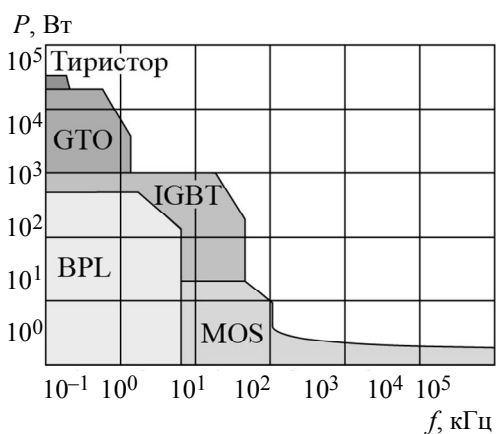


Рис. 2

также нормам промышленных радиопомех, создаваемых в полосе частот от 0.15 до 1000 МГц. На рис. 2 приведен график характеристик полупроводниковых устройств, используемых в силовых схемах, которые определяют их применение в различных областях [5]. Основу электропривода большой группы механизмов различного функционального назначения составляют асинхронный электродвигатель (АД) и ПЧ, включающий автономный инвертор напряжения (АИН) или тока (АИТ) на базе силовых полупроводниковых элементов – тиристоров SCR, GTO, IGC, а также силовых транзисторов IGBT, реализующий функцию синусоидальности выходного тока посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Дискретно формируемый сигнал выходного напряжения, вне зависимости от частоты, содержит последовательность импульсов различной длительности с одинаковой амплитудой, приблизительно в 1.35 раза превышающей действующее значение напряжения питания ПЧ и коротким временем нарастания:

- однооперационные тиристоры – 4...10 мкс;

- двухоперационные (запираемые) тиристоры GTO – 2...4 мкс;
- силовые транзисторы IGBT – 0.05...0.1 мкс.

Вследствие высокого быстродействия транзисторов IGBT, обеспечивающего минимизацию энергетических потерь привода, переходные процессы, вызванные коммутацией ключей АИН, приводят к образованию ВЧ-шумов и помех, причем источником электромагнитной помехи является ПЧ, а приемниками – трехпроводный соединительный кабель (как правило, экранированный) и обмотка статора асинхронного электродвигателя.

Приемником помехи является любое техническое средство, способное реагировать на электромагнитный сигнал или электромагнитную помеху. Электронные средства автоматизации при работе подвергаются более или менее сильным электромагнитным воздействиям. В какой степени эти воздействия приводят к временным нарушениям функционирования или к необратимым повреждениям, зависит от помехоустойчивости и стойкости к повреждению. Стойкость к повреждению означает в данном случае способность противостоять воздействиям, вызывающим необратимые нарушения функционирования, а помехоустойчивость – воздействиям, вызывающим обратимые нарушения. Основными приемниками электромагнитных помех в ЭПС являются микропроцессорные системы управления, датчики, а также любые линии питания и связи, которые при приеме помехи сами становятся вторичными источниками электромагнитных помех.

В то время как источники и приемники помех сравнительно легко могут быть охарактеризованы посредством измерения их излучений или пороговых значений помех [3], идентификация включенных между ними механизмов связи требует хорошего понимания электротехники и большого опыта в области практической схемотехники. В конце концов, речь часто идет о паразитных, не предусмотренных конструктором путях передачи (например, через емкости, индуктивности рассеяния), которые часто проявляются лишь в виде вызванных ими электромагнитных влияний. В зависимости от среды распространения и удаления от источника помехи достигают приемного электрического контура различными путями и их комбинациями (рис. 3). К примеру, электромагнитные помехи называют поступающими по проводам (кондуктивные помехи), если они проникают в приемник через одну или несколько линий, подходящих к приемнику, либо через пассивные элементы (конденсаторы, трансформаторы и т. д.). Токи, текущие по оплетке кабелей и в цепи питания, обуславливают так называемую гальваническую связь.



Рис. 3

Работа технического средства может приводить к появлению помех в виде электромагнитного поля. Напряжения и токи в кабеле создают электромагнитное поле, вызывающее наведенные напряжения в соседней кабеле. Для упрощения расчета можно отдельно рассматривать воздействие электрического поля, которое может быть представлено эквивалентной емкостной связью, и воздействие магнитного поля, которое можно представить цепью с взаимной индуктивностью. В ЭПС расстояние между кабелями в трассе, как правило, не превышает метра, поэтому для микросекундных процессов и помех с частотой до 300 МГц допустимо считать это расстояние ближней зоной и не учитывать волновой характер распространения электромагнитного поля [6].

Гальваническая связь появляется тогда, когда два электрических контура имеют общее сопротивление  $Z$ , будь то участок провода, сопротивление связи или двухполюсник иного вида. Падение напряжения на общем сопротивлении накладывается на полезный сигнал, тем самым влияя на функционирование приемника.

Электрическая (емкостная) связь возникает между двумя контурами, проводники которых находятся под различными потенциалами. Между такими проводниками существует электрическое поле, влияние которого может быть отражено в эквивалентной схеме введением емкостей утечек. Ток через паразитную емкость создает на внутренних сопротивлениях передатчика и приемника падение напряжения, которое накладывается на полезный сигнал как помеха.

Магнитная (индуктивная) связь возникает между двумя или несколькими контурами с током. Ток вызывает переменное магнитное поле, которое индуцирует в контуре, подверженном помехе, ЭДС, которая создает ток помехи в этом контуре.

Под связью через электромагнитное излучение будем понимать связь, при которой подверженная помехе приемная система находится в дальнем поле производимого источником поля излучения, следовательно, электрическое и магнитное поля возникают одновременно и связаны через волновое сопротивление вакуума.

На практике в большинстве случаев действуют одновременно несколько путей связи, и один путь при определенных обстоятельствах может содержать также несколько механизмов связи, что существенно затрудняет правильное объяснение появления помех.

Таким образом, для исследования ЭМС ЭПС необходимо решить следующие задачи:

- измерить амплитудные значения напряжений и токов силовых полупроводниковых приборов, входящих в состав преобразователя; скачки тока при пуске нерегулируемых приводов; помехи, возникающие при коммутации релейной автоматики; уровни электростатических разрядов;
- измерить напряженности электромагнитного поля и частотные спектры преобразователя;
- определить основные пути прохождения помехи, а также основные порты приемников помехи;
- определить восприимчивость или чувствительность каналов связи, датчиков и приемников сигнала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода. М.: Изд-во МЭИ, 2000. 162 с.
2. Шваб А. Электромагнитная совместимость / Пер. с нем. В. Д. Мазина и С. А. Спектора под ред. И. П. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1995. 480 с., ил.

3. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике / Пер. с нем. И. П. Кужкина под ред. Б. К. Максимова. М.: Энергоатомиздат, 1995. 304 с.; ил.
4. Шишкин С. В. Внешние фильтры электромагнитной совместимости частотно-регулируемого асинхронного электропривода с IGBT-инвертором // Силовая электроника. 2006. № 1. С. 12–19.
5. Дуплякин Е. А. IGBT или MOSFET? Оптимальный выбор // Электронные компоненты. 2000. № 1. С. 26–40.
6. Воршевский А. А., Гальперин В. Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств / СПбГМТУ. СПб., 2003. 317 с.

*V. L. Bugaev*

#### *ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ELECTRICAL DRIVE SYSTEMS*

*The general structure systems of electrical drive is considered. Then definition of electromagnetic compatibility is made, the description of sources and receivers of noises, communication channels on which noises are transferred is resulted. From systems of electrical drive are allocated the basic sources and receivers of noises, power capacities and frequencies of switching of power semi-conductor devices applied in electric drives are resulted.*

**System of electrical drive, frequency inverter, electromagnetic compatibility, noise**

УДК 615.849.1

*В. М. Опре, С. В. Гончаров*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НАГРЕВЕ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, СФОКУСИРОВАННЫМ ПОД ПОВЕРХНОСТЬЮ ТЕЛА**

*Приводится описание численной модели расчёта изменения пространственного распределения температур во времени при нагреве лазерным излучением, длина волны которого попадает в область частичной прозрачности нагреваемого объекта. Проведённые численные эксперименты позволили определить требования к лазеру и устройству фокусировки лазерного излучения.*

**Лазерное излучение, гипертермия, длина волны, уравнение теплопроводности**

Лазерный нагрев частично поглощающих сред может найти применение при нагреве внутренних органов объектов животного происхождения. Такой нагрев можно использовать при лечении целого ряда заболеваний, одним из которых является рак.

На этапе исследования и внедрения в медицинскую практику находится целый ряд устройств, принцип действия которых основан на малоинвазивном тепловом воздействии на опухоли [1]. Существенно осложняет лечение с помощью локального нагрева необходимость минимального травмирования окружающих тканей, для чего их нельзя перегревать выше 43 °С. Наиболее эффективные, высокотемпературные способы лечения используют интенсивные импульсные потоки энергии. Одним из источников такой энергии является лазерное (обычно ИК) излучение (лазерная гипертермия). В традиционных системах гипертермии импульсное лазерное излучение позволяет разогреть новообразование до требуемой температуры, в случае если оно доставлено к месту, в непосредственной близости от которого расположена опухоль (если это место находится внутри организма, лазерное излучение доставляется к нему по световоду лапароскопическим методом). При этом главной не решённой до настоящего времени проблемой является определение температуры, до которой разогрета область новообразования, и определение зоны термического влияния, что существенно сдерживает применение данных эффективных методов лечения. Ещё

сложнее решить эту проблему в случае нагрева сфокусированным под поверхностью тела лазерным излучением [2] с длиной волны, которая находится в областях частичной прозрачности в ИК-диапазоне (глубина проникновения в человеческий организм волн длиной 0.8...1.0 мкм составляет 3...6 см [3]). В этом случае определить динамическое распределение температурных полей в тканях живых организмов возможно только с использованием численного моделирования на математической модели исследуемого объекта.

**Постановка задачи расчёта нестационарного пространственного распределения температуры.** Лазерное излучение (ЛИ) обычно характеризуется цилиндрической симметрией, поэтому в работе использовалась запись уравнения теплового баланса в цилиндрических координатах  $r$  и  $z$  [4]:

$$\tilde{N}\rho \partial T/\partial t = 1/r \left( \frac{\partial}{\partial r} r(\lambda \partial T/\partial r) \right) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda \partial T/\partial z) + P_S(r, z, t), \quad (1)$$

где  $C$  – теплоемкость ткани;  $\rho$  – плотность ткани;  $T$  – температура в слое ткани;  $\lambda$  – теплопроводность ткани;  $P_S(r, z, t)$  – удельный объёмный энерговыклад, выделяемый лазерным излучением в данной точке пространства

В уравнении (1) возможно учесть энергию, выделяемую в данной точке за счёт тепла клеточного метаболизма, и кровотока, записав соответствующие члены в правую часть уравнения.

В проведенных численных экспериментах использовались следующие начальные и граничные условия (рис. 1):

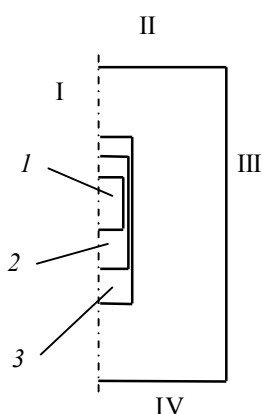


Рис. 1

1. Начальная температура всей исследуемой области принималась равной температуре тела:

$$T(z, r, 0) = 37 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2. На границе I вследствие осевой симметрии решаемой задачи в качестве граничного условия принималось отсутствие теплового потока:

$$\partial T/\partial Z = 0.$$

3. На границах, удалённых от зоны нагрева (II, III), температура принималась равной нормальной температуре тела:

$$T(z, r, t) = 37 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расстояние от зоны нагрева до удалённых границ определялось из численных экспериментов.

4. На поверхности тела (IV) в большинстве численных экспериментов принималось условие принудительного охлаждения проточной водой:

$$T(z, r, t) = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В процессе исследований была разработана программа расчёта задачи в вышеописанном приближении для программного пакета ANSYS.

Для оценки адекватности полученных данных в работе были проведены сравнения результатов численного и аналитического решений уравнения теплопроводности для случаев, имеющих достаточно простое аналитическое решение (динамика нагрева пластины с постоянным тепловым потоком на её поверхности и нагрев пластины точечным источником) [5].

**Результаты численных экспериментов.** При проведении численных экспериментов изменялись: мощность ЛИ ( $P_1$ ), диаметр пятна ЛИ на поверхности тела ( $D_{\text{пов}}$ ), фокусное расстояние используемой оптической системы ( $F$ ), расходямость лазерного излучения ( $\theta$ ), коэффициенты рассеяния среды ( $K_{\text{рас}}$ ). Эти параметры позволяли определить пространственное распределение плотности источников нагрева ( $P_S$ ). Один из вариантов подобного распределения представлен на рис. 1. На этом рисунке приведены границы областей с определённым значением  $P_S$ : 1 –  $1 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>3</sup>; 2 –  $4 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>3</sup>; 3 –  $1 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>3</sup>. Результаты численных расчётов, выполненных при использовании распределения плотности источников нагрева (рис. 1), приведены на рис. 2. На этом рисунке приведено распределение температуры через 1 с после начала нагрева.

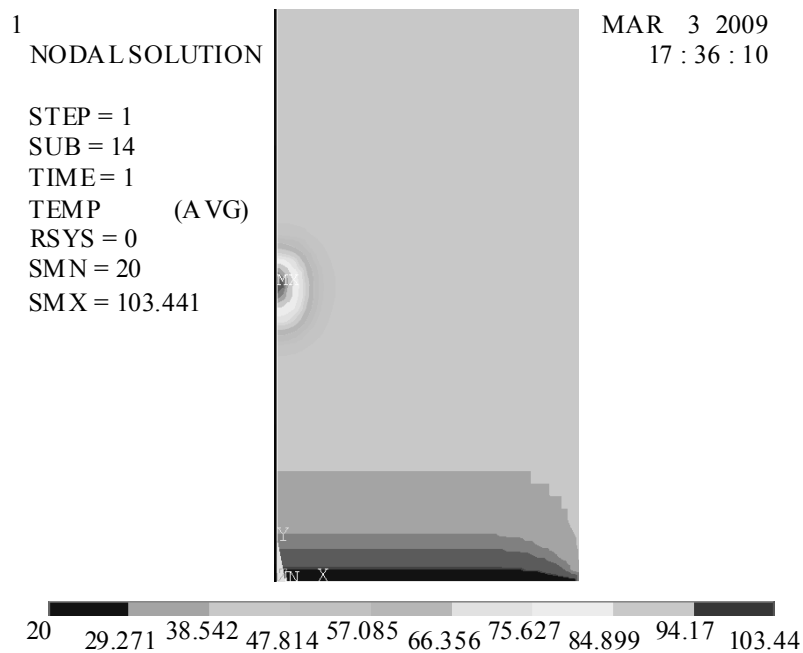


Рис. 2

Важнейшей характеристикой гипертермии является температура, до которой должна быть разогрета область с новообразованием. Другая, не менее важная характеристика – локальность нагрева. Дело в том, что для гибели клеток опухоли необходимо её нагреть. Но при этом обязательно греются и окружающие ткани, что в свою очередь приводит к гибели здоровых тканей организма. Локальность нагрева (о которой можно судить по границе области, где температура не превышает  $43^\circ\text{C}$ ) позволяет свести риск гибели окружающих тканей к минимуму.

Как показывают результаты численных экспериментов, максимальное расстояние от центра нагреваемой области до границы с  $T = 43^\circ\text{C}$  находится на оси пучка ЛИ. Поэтому на рис. 3 приведены графики распределе-

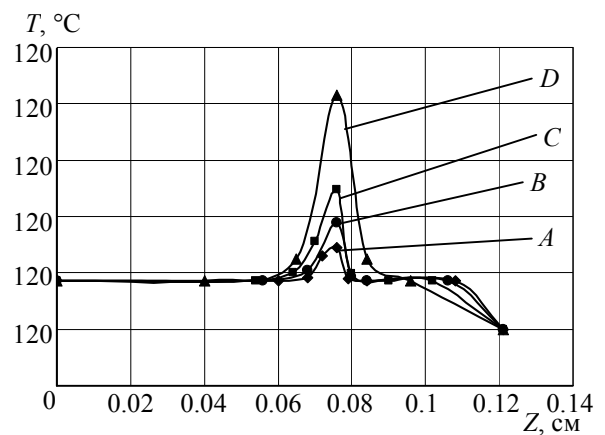


Рис. 3

ния температуры на оси пучка ЛИ в случае  $P = 30$  Вт,  $F = 5 \cdot 10^{-2}$  м,  $K_{\text{рас}} = 3$ ,  $D_{\text{пов}} = 2$  см в разные моменты времени после начала нагрева ( $A - t = 0.05$  с;  $B - t = 0.1$  с;  $C - t = 0.2$  с;  $D - t = 1$  с). Облучение лазером ведётся со стороны поверхности, расположенной на расстоянии 0.12 м от начала координат.

Результаты проведённых численных экспериментов свидетельствуют о следующем:

1. При глубине проникновения лазерного излучения в 5 см, коэффициенте рассеяния 3 (эти величины характерны для длины волны  $\sim 1$  мкм) и при расстоянии до нагреваемого объекта 5 см мощность источника должна быть не менее 30 Вт, расходимость его излучения  $\theta \leq 5$  мрад, а время воздействия 1...2 с. Время термической обработки ограничивается ростом температуры в окружающих тканях выше допустимого значения. При расчётах учитывалось, что нагрев окружающих тканей за счёт теплопроводности продолжается в течение некоторого времени после окончания действия излучения.

2. Параметры формирующей системы должны обеспечить диаметр луча на поверхности тела  $D_{\text{пов}} \geq 2$  см.

3. После окончания импульса необходима пауза в 10...15 с для уменьшения температуры до начального уровня во внутренних тканях. При соответствующих значениях мощности лазерного излучения и соотношении времени нагрев-охлаждение подобная операция может проводиться многократно.

4. При расстоянии до нагреваемого объекта 2.5 см мощность может составлять 10...20 Вт, а время воздействия – до 1 с. При этом резко снижаются требования по качеству лазерного излучения ( $\theta \sim 15...20$  мрад). При этих условиях возможно использование для нагрева не только одного лазера, генерирующего в одномодовом режиме, но и набора из нескольких лазеров (5–20 шт. мощностью 1...4 Вт), излучение каждого из которых направлено в точку нагрева.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осинский С. П. Гипертермия в клинической онкологии: современное состояние проблем (по итогам 20-й ежегодной конференции Европейского общества гипертермической онкологии) // Онкология. Научн.-практ. журн. (прил. к журн. «Экспериментальная онкология»). 2002. Т. 4. № 4. С. 288–292.
2. Боголюбов В. М. Общая физиотерапия. М: Медицина, 1999. 386 с.
3. Гончаров В. Д., Опре В. М., Фискин Е. М. Теоретические основы способа локального нагрева внутренних тканей человеческого тела // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Электротехника», 2006. № 1. С. 43–48.
4. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы / А. А. Углов, И. Ю. Смуров, А. Г. Гуськов и др. М.: Наука, 1991. 286 с.
5. Технологические лазеры. Справочник в 2-х т. / Под ред. Г. А. Абыльситова. М.: Машиностроение, 1991. Т. 1. 432 с.

*V. M. Opre, S. V. Goncharov*

### *STUDY OF THE DYNAMICS OF A CHANGE IN THE TEMPERATURE WITH THE HEATING BY LASER EMISSION FOCUSED UNDER THE BODY SURFACE*

*Is given the description of the numerical model of the calculation of a change in the spatial distribution of temperatures in the time with the heating by the laser emission, the wavelength of which falls into the region of the partial transparency of the object. Numerical experiments conducted made it possible to determine requirements for laser and device of the focusing of laser emission.*

**Temperature, penetration depth, laser emission**



## ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ВИНЕРА КАНАЛОВ СВЯЗИ ИТЕРАЦИОННО-ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

*Рассматривается применение итерационно-операторного метода для подавления нелинейных искажений сигналов в каналах связи, представленных нелинейной моделью Винера. Выполнено сравнение результатов итерационно-операторной компенсации с результатами, полученными линейной инверсией, инверсией высокого порядка и методом фиксированной точки.*

**Итерационно-операторный метод, слепая линеаризация, нелинейные искажения, нелинейная компенсация, модель Винера, канал связи**

Линеаризация моделей нелинейных устройств является актуальной задачей для различных областей современной техники. Многие устройства при практической реализации содержат существенно нелинейные элементы, что может привести к появлению нелинейных искажений, вызывающих снижение помехозащищенности и пропускной способности в системах связи, ухудшение качества воспроизведения аудиовизуальных программ и другие нежелательные последствия. Эффективными методами линеаризации являются методы компенсации нелинейных искажений [1].

Среди известных методов компенсации нелинейных искажений можно выделить большой класс методов «слепой» линеаризации, не требующих наличия «обучающего» сигнала [2]–[6]. Существуют следующие методы «слепой» линеаризации: инверсия высокого порядка [2], метод фиксированной точки [3], метод корней уравнения Вольтерры [4], итерационно-операторный метод [5], [6].

В статье итерационно-операторный метод применяется для линеаризации модели Винера каналов связи (КС). Источником нелинейных искажений сигналов в КС являются продукты работы усилителей мощности, вызывающие такие нежелательные эффекты, как комбинационные и интермодуляционные помехи, преобразование амплитудной модуляции в фазовую, подавление сигналов [1], [7].

**Нелинейная компенсация на основе итерационно-операторного метода.** Итерационно-операторный метод нелинейной компенсации предполагает синтез нелинейного операторного уравнения компенсатора и применение итерационной процедуры для его решения.

Пусть исходное устройство описано нелинейным нерекурсивным уравнением

$$y(n) = A(q)[x(n)] + N[x(n)], \quad (1)$$

где  $x(n)$ ,  $y(n)$  – входной и выходной сигналы устройства соответственно,  $n$  – нормированное дискретное время,  $q$  – оператор смещения; линейный оператор  $A(q)$  в уравнении (1) имеет вид

$$A(q) = \sum_{i=0}^{I_a-1} a_i q^{-i};$$

нелинейный полиномиальный оператор –

$$N[x(n)] = \sum_{m=2}^L \sum_{i_1=0}^{I_1} \sum_{i_2=i_1}^{I_2} \dots \sum_{i_m=i_{m-1}}^{I_m} h_{i_1 i_2 \dots i_m} x(n-i_1) x(n-i_2) \dots x(n-i_m).$$

Процедура синтеза компенсатора заключается в построении его нелинейного оператора таким образом, чтобы оператор каскадного соединения исходного устройства и компенсатора был линейным.

На рис. 1 представлены схемы каскадного соединения компенсатора и исходного нелинейного устройства. В зависимости от конкретной задачи могут использоваться два способа подключения компенсатора: предкомпенсатор (рис. 1, а) и посткомпенсатор (рис. 1, б). Для формирования соотношения вход-выход компенсатора, справедливого при любом способе его подключения, введем в рассмотрение входной  $u(n)$  и выходной  $w(n)$  сигналы компенсатора.

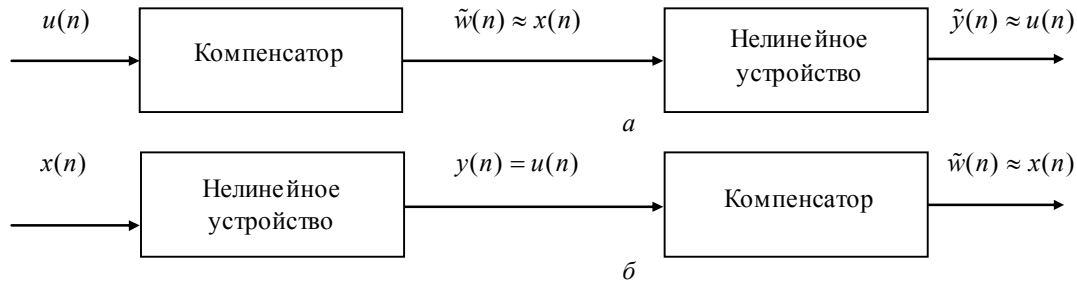


Рис. 1

С учетом уравнения (1) и соотношений  $w(n) = x(n)$ ,  $u(n) = y(n)$  запишем нелинейное операторное уравнение исходного устройства:

$$u(n) = A(q)[w(n)] + N[w(n)]. \quad (2)$$

После переноса слагаемых из правой части в левую, инверсии полученного выражения и прибавления к обеим его частям сигнала  $w(n)$  равенство (2) принимает вид

$$w(n) = w(n) + A^{-1}(q)[u(n) - (A(q)[w(n)] + N[w(n)])], \quad (3)$$

где  $A^{-1}(q) = 1/A(q)$  – оператор линейной устойчивой внутренней подсистемы компенсатора, реализующий линейную свертку сигнала с бесконечной импульсной характеристикой, определяемой данным оператором. Таким образом, линейному оператору  $A^{-1}(q)$  соответствует разностное уравнение с бесконечным числом слагаемых. На практике применяют конечные разностные уравнения, следовательно, для реализации необходимо приближенно описать оператор  $A^{-1}(q)$ :

$$A^{-1}(q) \cong \sum_{i=0}^{I_n-1} a_i^{(\text{In})} q^{-i} = \text{In}(q), \quad (4)$$

где  $a_i^{(\text{In})}$ ,  $i = 0, 1, \dots, I_n - 1$  – отсчеты инверсной импульсной характеристики,  $\text{In}(q)$  – приближенное описание оператора.

Решение уравнения (3) получено с помощью метода последовательных приближений. С учетом описания линейного инверсного оператора (4) итерационная процедура решения уравнения (3) имеет вид:

– 1-я итерация

$$\tilde{w}_1(n) = \text{In}(q)[u(n)]; \quad (5)$$

–  $k$ -я итерация

$$\tilde{w}_k(n) = \tilde{w}_{k-1}(n) + \ln(q) \left[ u(n) - \left( A(q) [\tilde{w}_{k-1}(n)] + N [\tilde{w}_{k-1}(n)] \right) \right], \quad k \geq 2. \quad (6)$$

Выражение (5) задает начальное приближение переменной  $w(n)$ .

Замена выходного сигнала  $w(n)$  сигналом  $\tilde{w}(n)$  в выражениях (5), (6) обусловлена приближенным нахождением решения нелинейного операторного уравнения с помощью итерационной процедуры, а также усечением бесконечной импульсной характеристики линейной инверсной подсистемы компенсатора.

Выражение (6) преобразуется к виду

$$\tilde{w}_k(n) = \underbrace{\ln(q) \left[ u(n) - N [\tilde{w}_{k-1}(n)] \right]}_1 + \underbrace{\Delta_{k-1}(n)}_2, \quad (7)$$

где

$$\Delta_{k-1}(n) = \tilde{w}_{k-1}(n) - \ln(q) \left[ A(q) [\tilde{w}_{k-1}(n)] \right]. \quad (8)$$

В правой части равенства (7) содержатся две составляющие: 1 – результат компенсации нелинейности исходного устройства, 2 – погрешность линейной инверсии линейной составляющей модели исходного устройства, обусловленная приближенным описанием оператора  $A^{-1}(q)$ .

Отметим, что составляющая 2 равенства (7) – результат линейной инверсии высокого порядка (большего, чем  $(I_n - 1)$ ) линейной составляющей модели исходного устройства. Это приводит к существенному уменьшению влияния погрешности приближенного описания линейного инверсного оператора  $A^{-1}(q)$  на общую погрешность компенсации. Таким образом, для сокращения вычислительных затрат при реализации итерационно-операторной процедуры компенсации можно уменьшить порядок линейной инверсной подсистемы компенсатора.

Сходимость итерационно-операторной процедуры компенсации обеспечивается при выполнении принципа сжатых отображений [8]. Из указанного принципа с учетом (3) получено условие сходимости [6]:

$$\left| 1 - \|\ln(q)\| \left( \|A(q)\| + \sum_{m=2}^L m \left( \sum_{i_1=0}^{I_1} \sum_{i_2=i_1}^{I_2} \dots \sum_{i_m=i_{m-1}}^{I_m} |h_m(i_1, i_2, \dots, i_m)| \right) \right) \right| < 1, \quad (9)$$

где  $\|A(q)\| = \max_{i \in [0, I_a - 1]} |a_i|$ ,  $\|\ln(q)\| = \max_{i \in [0, I_n - 1]} |a_i^{(In)}|$ .

**Модель КС, описание действующих сигналов и методов компенсации.** Структурная схема нелинейной модели КС представлена на рис. 2. Изображенная структура представляет собой нелинейную модель Винера, которая является частным случаем нелинейной модели Вольтерры (1). Модель КС состоит из линейной дискретной системы (блок ЛДС) с передаточной функцией

$$H(z) = 1.0119 - 0.7589i + (-0.3796 + 0.5059i)z^{-1}$$

и безынерционного нелинейного преобразователя (блок БНП), соотношение вход-выход которого описывается следующим выражением:

$$\dot{i}(n) = \dot{v}(n) + 0.2\dot{v}^2(n) + 0.1\dot{v}^3(n), \quad (10)$$

где  $\dot{v}(n)$  – выходной сигнал линейной части модели КС (рис. 2) [9].

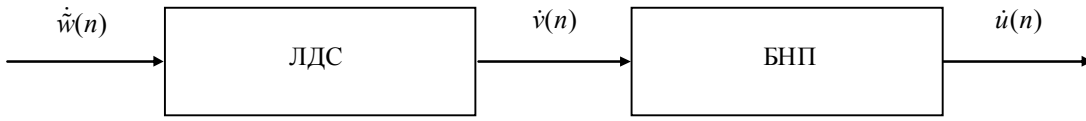


Рис. 2

Для компенсации нелинейных искажений сигналов в модели КС синтезированы посткомпенсаторы согласно схеме, изображенной на рис. 1, б, на основе:

– итерационно-операторного метода, описанного выражениями (5), (7), (8) и с учетом комплексности сигналов имеющего вид

$$\dot{w}_1(n) = \text{In}(q)[\dot{i}(n)], \quad k=1, \quad (11)$$

$$\dot{w}_k(n) = \text{In}(q)\left[\dot{i}(n) - N[\dot{w}_{k-1}(n)]\right] + \dot{\Delta}_{k-1}(n), \quad k \geq 2,$$

где  $\dot{\Delta}_{k-1}(n) = \dot{w}_{k-1}(n) - \text{In}(q)\left[A(q)[\dot{w}_{k-1}(n)]\right]$ ;

– метода фиксированной точки [3]:

$$\dot{w}_1(n) = \text{In}(q)[\dot{i}(n)], \quad k=1,$$

$$\dot{w}_k(n) = \text{In}(q)\left[\dot{i}(n) - N[\dot{w}_{k-1}(n)]\right], \quad k \geq 2;$$

– инверсии высокого порядка [2], соответствующей методу фиксированной точки при  $k=2$ ;

– линейной инверсии, реализуемой в соответствии с выражением (11).

Компенсация рассмотрена на классах фазоманипулированных сигналов (PSK-сигналов) и сигналов квадратурной амплитудной модуляции (QAM-сигналов). Сравнение методов компенсации выполнено путем вычисления погрешности, обеспечиваемой каждым из них в равномерной метрике:

$$\delta_{m,k} = \max_{n \in [3; R]} \left| \dot{w}(n) - \dot{w}_k(n) \right|, \quad k \geq 1,$$

и в среднеквадратичной метрике:

$$\varepsilon_k = \frac{1}{R-3} \sqrt{\sum_{n=3}^R \left| \dot{w}(n) - \dot{w}_k(n) \right|^2}, \quad k \geq 1,$$

где  $R = 20\,000$  – количество отсчетов входного сигнала  $\dot{w}(n)$  КС.

**Результаты моделирования.** В процессе исследований установлено, что точность компенсации, полученная линейной инверсией и инверсией высокого порядка, практически не изменяется с увеличением порядка линейной инверсионной подсистемы компенсатора начиная со значения  $(I_n - 1) = 7$ . Все дальнейшие результаты представлены для случая  $(I_n - 1) = 7$ .

В табл. 1 приведены погрешности компенсации нелинейности модели КС, полученные методами слепой линеаризации при PSK- и QAM-воздействиях.

Таблица 1

Входной сигнал КС	Погрешность	Тип компенсации			
		Линейная инверсия	Инверсия высокого порядка	Метод фиксированной точки	Итерационно-операторный метод
8PSK	$\delta_K$	$3.17 \cdot 10^{-1}$	$1.83 \cdot 10^{-1}$	$4.21 \cdot 10^{-3}$	$4.90 \cdot 10^{-9}$
	$\varepsilon_K$	$8.51 \cdot 10^{-4}$	$4.22 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-5}$	$5.45 \cdot 10^{-12}$
16PSK	$\delta_K$	$3.12 \cdot 10^{-1}$	$1.98 \cdot 10^{-1}$	$4.34 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-8}$
	$\varepsilon_K$	$8.46 \cdot 10^{-4}$	$4.18 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-5}$	$7.82 \cdot 10^{-12}$
4QAM	$\delta_K$	$3.03 \cdot 10^{-1}$	$1.95 \cdot 10^{-1}$	$4.29 \cdot 10^{-3}$	$9.77 \cdot 10^{-9}$
	$\varepsilon_K$	$8.39 \cdot 10^{-4}$	$4.41 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-5}$	$1.38 \cdot 10^{-11}$
16QAM	$\delta_K$	$2.86 \cdot 10^{-1}$	$1.82 \cdot 10^{-1}$	$3.39 \cdot 10^{-3}$	$7.11 \cdot 10^{-9}$
	$\varepsilon_K$	$5.08 \cdot 10^{-4}$	$1.99 \cdot 10^{-4}$	$1.08 \cdot 10^{-5}$	$3.49 \cdot 10^{-12}$

Погрешности метода фиксированной точки и итерационно-операторного метода в указаны табл. 1 на 40-й итерации расчета ( $K = 40$ ).  $K$  – номер итерации, начиная с которой эти погрешности изменялись незначительно. Данные табл. 1 получены при выполнении условия сходимости применяемых итерационных процедур (условие (9), [6]).

На рис. 3 приведены результаты компенсации для случая входного сигнала 8PSK.

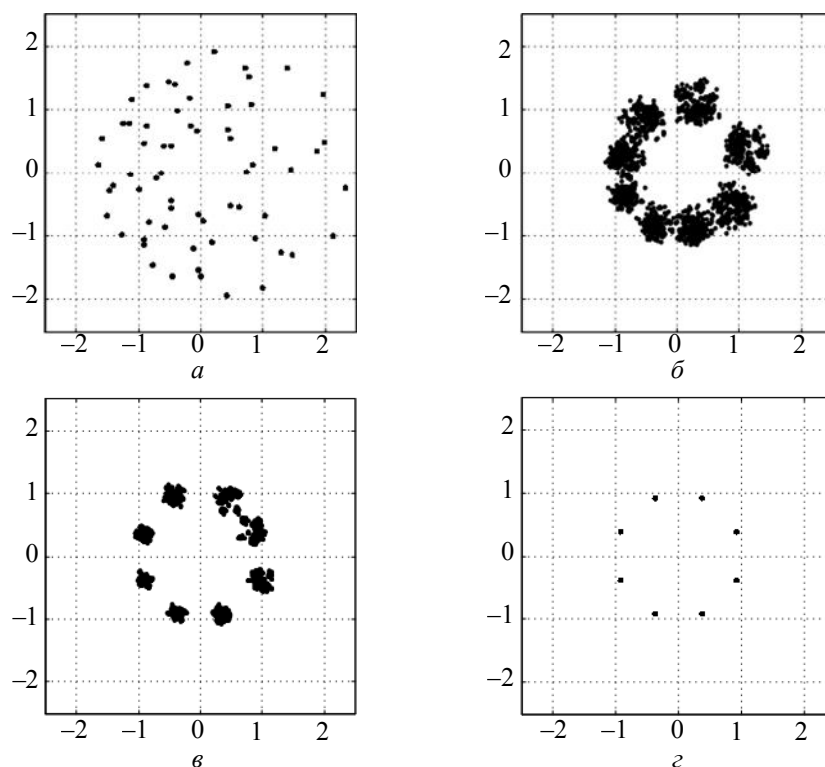


Рис. 3

На рис. 3, *a* изображен выходной сигнал модели КС (10), на рис. 3, *б–г* – сигналы, полученные линейной инверсией, инверсией высокого порядка и итерационно-операторным методом соответственно. Сигнал, восстановленный методом фиксированной точки, совпадает с изображенным на рис. 3, *г*. На рис. 4 приведены аналогичные сигналы, полученные при 16QAM-воздействии в КС.

Из табл. 1 и рис. 3, 4 видно, что на классах PSK- и QAM-сигналов наименьшую погрешность компенсации в равномерной и среднеквадратичной метриках обеспечивает итерационно-операторный метод.

В результате исследований установлено, что точность компенсации нелинейных искажений итерационно-операторным методом не зависит от порядка линейной инверсной подсистемы компенсатора  $(I_n - 1)$ , тогда как остальные рассмотренные методы таким свойством не обладают. Указанное свойство может быть использовано для уменьшения вычислительной сложности итерационно-операторной процедуры без снижения точности компенсации.

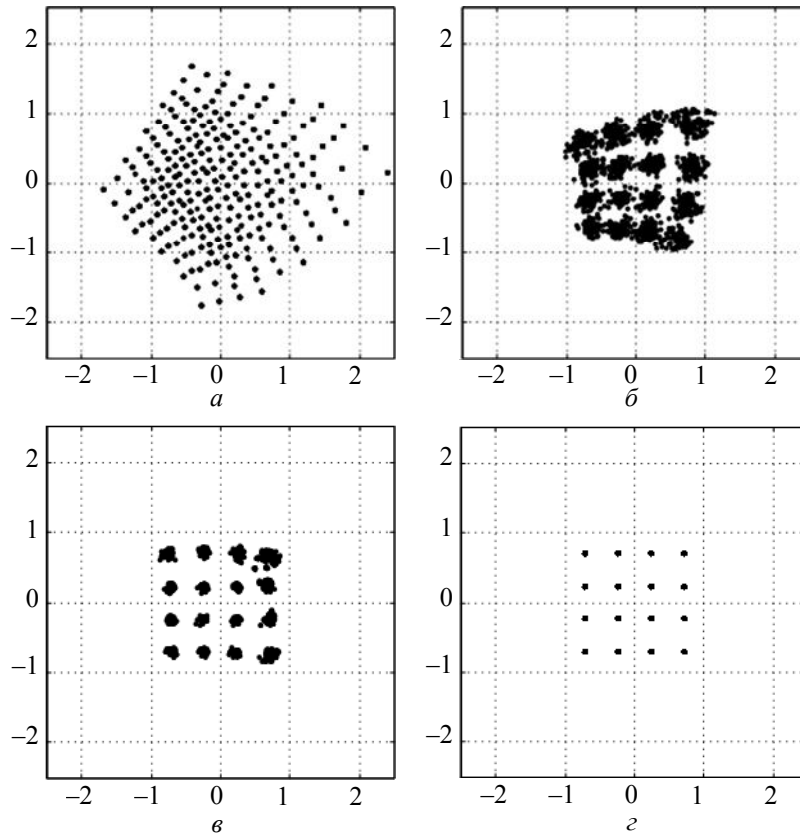


Рис. 4

Линеаризация модели КС выполнена при действии в нем гауссовской помехи. В этом случае выражение (10) имеет вид

$$\dot{i}(n) = \dot{v}(n) + 0.2\dot{v}^2(n) + 0.1\dot{v}^3(n) + \dot{\xi}(n),$$

где  $\dot{v}(n)$  – выходной сигнал линейной дискретной части модели КС (см. рис. 2); помеха  $\dot{\xi}(n)$  – комплексный гауссовский процесс со среднеквадратичным отклонением

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{R-3} \sum_{n=3}^R |\dot{\xi}(n)|^2} \quad (R = 20\,000), \text{ определяемым из отношения сигнал/шум:}$$

$$\text{SNR} = 20 \lg \left( \frac{\sqrt{\sum_{n=3}^R |\dot{v}(n) + 0.2\dot{v}^2(n) + 0.3\dot{v}^3(n)|^2}}{\sqrt{\sum_{n=3}^R |\dot{\xi}(n)|^2}} \right).$$

Результаты компенсации для PSK-воздействий представлены в табл. 2. В табл. 3 приведены соответствующие данные для QAM-воздействий. В табл. 2, 3 для метода фиксированной точки и итерационно-операторного метода указаны значения  $K$  – номера последней итерации расчета.

Таблица 2

Входной сигнал КС	SNR, дБ	Погрешность	Тип компенсации			
			Линейная инверсия	Инверсия высокого порядка	Итерационно-операторный метод, метод фиксированной точки	
					Погрешность	К
8PSK	15	$\delta_K$	$5.46 \cdot 10^{-1}$	$4.82 \cdot 10^{-1}$	$4.74 \cdot 10^{-1}$	9
		$\varepsilon_K$	$1.18 \cdot 10^{-3}$	$9.72 \cdot 10^{-4}$	$8.60 \cdot 10^{-4}$	
	25	$\delta_K$	$3.47 \cdot 10^{-1}$	$2.26 \cdot 10^{-1}$	$1.45 \cdot 10^{-1}$	10
		$\varepsilon_K$	$8.91 \cdot 10^{-4}$	$5.07 \cdot 10^{-4}$	$2.74 \cdot 10^{-4}$	
	35	$\delta_K$	$3.16 \cdot 10^{-1}$	$1.91 \cdot 10^{-1}$	$5.24 \cdot 10^{-2}$	12
		$\varepsilon_K$	$8.45 \cdot 10^{-4}$	$4.28 \cdot 10^{-4}$	$8.74 \cdot 10^{-5}$	
	45	$\delta_K$	$3.11 \cdot 10^{-1}$	$1.85 \cdot 10^{-1}$	$1.48 \cdot 10^{-2}$	14
		$\varepsilon_K$	$8.52 \cdot 10^{-4}$	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$3.12 \cdot 10^{-5}$	
16PSK	15	$\delta_K$	$5.78 \cdot 10^{-1}$	$4.76 \cdot 10^{-1}$	$4.59 \cdot 10^{-1}$	9
		$\varepsilon_K$	$1.19 \cdot 10^{-3}$	$9.74 \cdot 10^{-4}$	$8.67 \cdot 10^{-4}$	
	25	$\delta_K$	$3.72 \cdot 10^{-1}$	$2.25 \cdot 10^{-1}$	$1.44 \cdot 10^{-1}$	9
		$\varepsilon_K$	$8.83 \cdot 10^{-4}$	$5.07 \cdot 10^{-4}$	$2.74 \cdot 10^{-4}$	
	35	$\delta_K$	$3.07 \cdot 10^{-1}$	$1.88 \cdot 10^{-1}$	$4.66 \cdot 10^{-2}$	12
		$\varepsilon_K$	$8.45 \cdot 10^{-4}$	$4.24 \cdot 10^{-4}$	$8.78 \cdot 10^{-5}$	
	45	$\delta_K$	$3.17 \cdot 10^{-1}$	$1.92 \cdot 10^{-1}$	$1.47 \cdot 10^{-2}$	13
		$\varepsilon_K$	$8.45 \cdot 10^{-4}$	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$3.11 \cdot 10^{-5}$	

Таблица 3

Входной сигнал КС	SNR, дБ	Погрешность	Тип компенсации			
			Линейная инверсия	Инверсия высокого порядка	Итерационно-операторный метод, метод фиксированной точки	
					Погрешность	К
4QAM	15	$\delta_K$	$5.13 \cdot 10^{-1}$	$4.99 \cdot 10^{-1}$	$4.21 \cdot 10^{-1}$	8
		$\varepsilon_K$	$1.19 \cdot 10^{-3}$	$9.81 \cdot 10^{-4}$	$8.61 \cdot 10^{-4}$	
	25	$\delta_K$	$3.77 \cdot 10^{-1}$	$2.21 \cdot 10^{-1}$	$1.37 \cdot 10^{-1}$	8
		$\varepsilon_K$	$8.87 \cdot 10^{-4}$	$5.21 \cdot 10^{-4}$	$2.70 \cdot 10^{-4}$	
	35	$\delta_K$	$3.18 \cdot 10^{-1}$	$2.02 \cdot 10^{-1}$	$4.22 \cdot 10^{-2}$	12
		$\varepsilon_K$	$8.48 \cdot 10^{-4}$	$4.52 \cdot 10^{-4}$	$8.76 \cdot 10^{-5}$	
	45	$\delta_K$	$3.06 \cdot 10^{-1}$	$1.95 \cdot 10^{-1}$	$1.60 \cdot 10^{-2}$	14
		$\varepsilon_K$	$8.48 \cdot 10^{-4}$	$4.42 \cdot 10^{-4}$	$3.09 \cdot 10^{-5}$	
16QAM	15	$\delta_K$	$3.89 \cdot 10^{-1}$	$3.29 \cdot 10^{-1}$	$2.83 \cdot 10^{-1}$	6
		$\varepsilon_K$	$7.95 \cdot 10^{-4}$	$6.64 \cdot 10^{-4}$	$6.31 \cdot 10^{-4}$	
	25	$\delta_K$	$3.19 \cdot 10^{-1}$	$2.03 \cdot 10^{-1}$	$9.75 \cdot 10^{-2}$	8
		$\varepsilon_K$	$5.41 \cdot 10^{-4}$	$2.81 \cdot 10^{-4}$	$1.98 \cdot 10^{-4}$	
	35	$\delta_K$	$2.94 \cdot 10^{-1}$	$1.85 \cdot 10^{-1}$	$3.21 \cdot 10^{-2}$	10
		$\varepsilon_K$	$5.05 \cdot 10^{-4}$	$2.07 \cdot 10^{-4}$	$6.35 \cdot 10^{-5}$	
	45	$\delta_K$	$2.69 \cdot 10^{-1}$	$1.71 \cdot 10^{-1}$	$1.07 \cdot 10^{-2}$	12
		$\varepsilon_K$	$4.96 \cdot 10^{-4}$	$1.98 \cdot 10^{-4}$	$2.24 \cdot 10^{-5}$	

Анализ табл. 2, 3 показывает, что:

– итерационно-операторный метод и метод фиксированной точки дают одинаковые погрешности в равномерной и среднеквадратичной метриках, меньшие по сравнению с погрешностями неитерационных методов;

– с ростом SNR погрешности итерационных методов уменьшаются существенно быстрее, чем погрешности инверсных методов;

– самую низкую точность компенсации обеспечивает линейная инверсия.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы. Для подавления нелинейных искажений сигналов в КС, представленном нелинейной моделью Винера, применен итерационно-операторный метод. На основе операторного уравнения исходного устройства синтезировано уравнение посткомпенсатора, решение которого найдено с помощью итерационной процедуры.

В ходе исследований установлено, что точность компенсации итерационно-операторным методом не зависит от порядка внутренней линейной инверсной подсистемы компенсатора. Это свойство может быть использовано для уменьшения вычислительной сложности реализации итерационно-операторной процедуры без снижения точности компенсации.

Выполнена компенсация нелинейных искажений для сигналов с разными видами модуляции (PSK и QAM). Показано, что:

– итерационно-операторный метод обеспечивает меньшие равномерную и среднеквадратичную погрешности по сравнению с линейной инверсией, инверсией высокого порядка и методом фиксированной точки;

– при действии в КС гауссовского шума метод фиксированной точки и итерационно-операторный метод обеспечивают одинаковую точность компенсации, более высокую по сравнению с другими рассмотренными методами.

#### Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / 2-е изд., испр.; Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. 1104 с.
2. On the convergence of Volterra filter equalizers using a  $p$ th-order inverse approach / Y.-W. Fang, L.-C. Jiao, X.-D. Zhang, J. Pan // IEEE Trans. SP. 2001. Vol. 49. № 8. P. 1734–1744.
3. Nowak R. D., Van Veen B. D. Volterra filter equalization: a fixed point approach // IEEE Trans. SP. 1997. Vol. 45. № 2. P. 377–388.
4. Redfern A. L., Zhou G. T. A root method for Volterra systems equalization // IEEE Signal Proc. Letters. 1998. Vol. 5. № 11. P. 285–288.
5. Соловьева Е. Б. Синтез нелинейных эквалайзеров методом простых итераций // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2004. Т.47, № 11. С. 61–70.
6. Соловьева Е. Б. Итерационный метод компенсации нелинейных искажений в каналах связи // Цифровая обработка сигналов. 2005. № 1. С. 2–8.
7. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь / Пер. с англ. под ред. В. В. Маркова. М.: Связь, 1979. 592 с.
8. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 632 с.
9. Ле Хай Нам. Рекуррентный нейросетевой эквалайзер с алгоритмом расширенного фильтра Калмана // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2006. № 2. С.71–79.

S. A. Degtyarev

#### LINEARIZATION OF WIENER MODEL OF COMMUNICATION CHANNELS USING THE ITERATIVE OPERATOR METHOD

*The application of the iterative operator method for suppression of nonlinear distortions of signals in the communication channels represented by nonlinear Wiener model is considered. Received results are compared with the results of linear inverse,  $p$ -th order inverse and fixed point approach.*

**Iterative operator method, blind linearization, nonlinear distortion, nonlinear compensation, Wiener model, communication channel**





УДК 534.232

*Б. Г. Степанов*

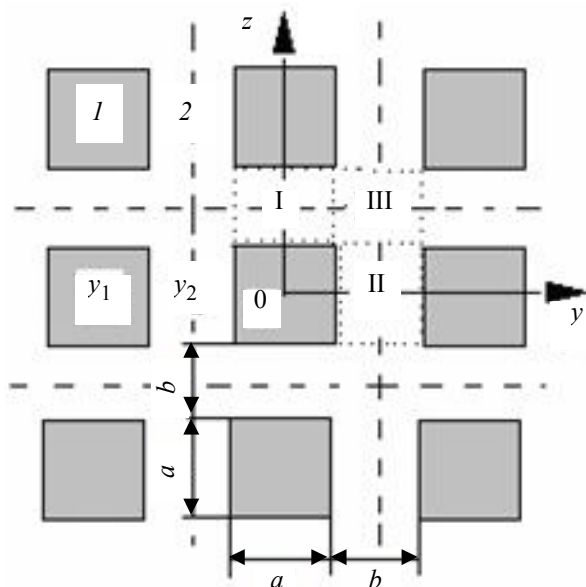
## **ОЦЕНКА РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЫЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ АНТЕННЫ, СОСТАВЛЕННОЙ ИЗ СТЕРЖНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ТЫЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Приводится численная оценка реактивной составляющей сопротивления излучения для тыльной поверхности плоской антенны, составленной из стержневых преобразователей с водозаполненными зазорами между ними.*

**Антенна, сопротивление излучения, компенсация тыльного излучения**

В работах [1]–[3] рассматривались принцип построения и некоторые результаты расчетов частотных характеристик безэкранных однонаправленных стержневых преобразователей с комбинированной компенсацией тыльного излучения. При этом предполагалось, что преобразователи работают в составе антенны, обеспечивающей достаточную нагруженность как во фронтальном, так и в тыльном направлениях на водную среду с удельным импедансом  $z_0$ , т. е. сопротивление излучения в указанных направлениях для преобразователей считалось чисто активным. Строго говоря, при расчете полевых характеристик антенн, в том числе и частотных характеристик, следует учитывать как собственные, так и вносимые сопротивления излучения образующих их преобразователей [4]. Во фронтальном направлении излучающая апертура антенны формируется внешними поверхностями фронтальных накладок преобразователей. Если поперечные размеры этих поверхностей находятся в пределах  $0.5 \lambda_0 \leq a + b < \lambda_0$  (рисунок), где  $\lambda_0$  – длина звуковой волны в воде, а амплитуды колебательных скоростей на них независимы и равны между собой, то можно пренебречь вносимым сопротивлением излучения [4] и приближенно считать, что собственное сопротивление излучения является чисто активным, а его удельное значение стремится к  $z_0$ . Что касается излучения в тыльном направлении, то здесь излучающая

апертура антенны (рисунок) формируется поверхностью тыльных накладок преобразователя  $I$  с поперечным сечением меньшим, чем у фронтальных, и поверхностью водозаполненных зазоров  $2$ . При этом колебательные скорости  $v_1$  и  $v_2$  на соответствующих участках апертуры антенны по результатам решения задачи оказываются взаимосвязанными как через условия компенсации и специального фазированного возбуждения преобразователей [1], [3], так и через сопротивления излучения обоих участков, входящих в формулы для  $v_1$  и  $v_2$ . Строгое решение задачи требует использования итерационных методов вычисления, не всегда обладающих достаточной степенью сходимости. В связи с этим определенный интерес представляет оценка справедливости ранее принятого приближения на базе расчетной модели бесконечной периодической решетки, образованной тыльными торцами стержневых преобразователей и водозаполненных зазоров между ними (рисунок).



Для простоты решения задачи положим, что тыльные поверхности преобразователей имеют форму квадрата со стороной  $a$ , а ширина водозаполненных зазоров  $b$ . Пусть в сечении  $x = 0$  (плоскость  $yOz$ ) колебательная скорость тыльного торца преобразователя будет  $v_1$ , а колебательная скорость водной среды в зазорах  $v_2$ . Тогда, колебательная скорость  $v(y, z)$  в плоскости  $yOz$  является периодической функцией и может быть представлена двойным рядом Фурье

$$v(y, z)|_{x=0} = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} e^{j\Omega(qy+rz)},$$

где  $\Omega = \frac{2\pi}{a+b} = \frac{2\pi}{T}$ ;  $T = a + b$  – пространственный период изменения колебательной скорости. Коэффициенты этого ряда определяются выражением

$$C_{qr} = \frac{1}{T^2} \int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} v(y, z) e^{-j\Omega(qy+rz)} dy dz.$$

Тогда, в соответствии с постановкой задачи, выполнив необходимые вычисления, получим:

$$C_{qr} = \frac{1}{a+b} \left\{ v_1 a^2 F(qa) F(ra) + v_2 ab \left[ F(qb) F(ra) (-1)^q + F(qa) F(rb) (-1)^r \right] + v_2 b^2 F(qb) F(rb) (-1)^{q+r} \right\}, \quad (1)$$

$$\text{где } F(qa) = \frac{\sin \frac{qa\Omega}{2}}{\frac{qa\Omega}{2}}, \quad F(ra) = \frac{\sin \frac{ra\Omega}{2}}{\frac{ra\Omega}{2}}, \quad F(qb) = \frac{\sin \frac{qb\Omega}{2}}{\frac{qb\Omega}{2}}, \quad F(rb) = \frac{\sin \frac{rb\Omega}{2}}{\frac{rb\Omega}{2}}.$$

Определив распределения колебательной скорости в плоскости  $yOz$ , можно записать выражение для нее в распространяющейся волне с произвольной координатой  $x$ :

$$v(x, y, z) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} e^{jk_x x + j\Omega(qy + rz)}. \quad (2)$$

При этом волновое число  $k_0 = \omega/c_0$  (где  $\omega$  – круговая частота;  $\tilde{n}_0$  – скорость звука водной среды, в которую происходит излучение) должно удовлетворять соотношению

$$k_0^2 = k_x^2 + (q\Omega)^2 + (r\Omega)^2. \quad (3)$$

В общем случае может излучаться бесконечное число спектральных составляющих. Составляющая волнового вектора вдоль оси  $x$  будет:  $k_x = k_0 \cos \alpha_{qr}$ , где  $\alpha_{qr} = \arcsin \frac{\lambda_0}{a+b} \sqrt{q^2 + r^2}$  – угол излучения относительно оси  $x$ , определяемый из соотношения (3). В приближении плоских волн удельное входное сопротивление для спектра с номерами  $q$  и  $r$  будет [5]:  $z_{qr} = \frac{z_0}{\cos \alpha_{qr}}$ . Будем полагать, что все спектры, кроме нулевого,

являются вырожденными. Это будет при условии  $k_0 < \Omega$  или  $\lambda_0 > a+b$ , т. е. длина волны в жидкости должна быть больше пространственного периода решетки. Данное условие приводит к соотношению:  $\cos \alpha_{qr} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{qr}} = j \sqrt{\frac{\Omega^2}{k_0^2} (q^2 + r^2) - 1}$ . Тогда для

удельного входного сопротивления получим:  $z_{qr} = \frac{-jz_0}{\sqrt{\frac{\Omega^2}{k_0^2} (q^2 + r^2) - 1}}$ , т. е. входное сопротивление  $z_{qr}$  имеет инерционный характер.

С учетом выражения (2) звуковое давление в волне, излучаемой в тыльном направлении, запишем в следующем виде:  $p(x, y, z) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} e^{jk_x x + j\Omega(qy + rz)}$ . Тогда среднее

значение звукового давления при  $x = 0$  на тыльном торце одного преобразователя будет:

$$\bar{p}_{\tilde{n}_0} = \frac{1}{a^2} \int_{-a}^a \int_{-a}^a p(x, y, z) dy dz \Big|_{x=0} = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(qa) F(ra). \text{ Удельное сопротивление излучения для тыльного торца преобразователя, работающего в составе антенны, найдем как}$$

$$Z_{\tilde{n}_0} = \frac{\bar{p}_{\tilde{n}_0}}{v_1} = \frac{1}{v_1} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(qa) F(ra). \quad (4)$$

Определим среднее звуковое давление, действующее на водозаполненный зазор ( $x = 0$ ) в расчете на один преобразователь. Для простоты вычисления рассмотрим области I, II и III. Тогда среднее звуковое давление в указанных областях, соответственно, будет:

$$\bar{p}_1 = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(ra) F(qb) e^{jq\pi}; \quad \bar{p}_2 = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(qa) F(rb) e^{jr\pi}; \quad (5)$$

$$\bar{p}_3 = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(qb) F(rb) e^{j(q+r)\pi}.$$

Полное среднее звуковое давление в водозаполненном зазоре определим как

$$\bar{p}_{\hat{a}} = \frac{ab(\bar{p}_1 + \bar{p}_2) + b^2\bar{p}_3}{2ab + b^2}. \quad (6)$$

Используя формулы (5) и (6), получим выражение для удельного сопротивления излучения в водяных зазорах:

$$Z_{\hat{a}} = \frac{1}{v_2} \frac{1}{2ab + b^2} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} \left\{ ab \left[ F(ra)F(qb)(-1)^q + F(qa)F(rb)(-1)^r \right] + b^2 F(qb)F(rb)(-1)^{q+r} \right\}. \quad (7)$$

Проведем оценку реактивной составляющей сопротивления излучения для рассматриваемой периодической структуры при условии отсутствия спектра нулевого порядка. Тогда в соответствии с выражением (1) получим:

$$C_{00} = \frac{1}{(a+b)^2} \left[ v_1 a^2 + v_2 (2ab + b^2) \right] = 0. \quad (8)$$

Отсюда найдем  $a^2 v_1 = -v_2 (2a+b)b$ . По сути, это равенство определяет условие компенсации тыльного излучения [1].

Рассмотрим некоторые результаты численной оценки. Сравним реактивные составляющие сопротивления излучения периодической структуры и круглого поршня в жестком экране. Для удобства перейдем от формы тыльной накладки прямоугольного сечения  $S_a = a^2$  к сечению круглой формы  $S_R = \pi R^2$  радиуса  $R$ , но той же площади  $S_R = S_a$ . Тогда получим  $R = a/\sqrt{\pi} \approx 0.56a$  или  $a = \sqrt{\pi} \cdot R \approx 1,77R$ . Удельное значение реактивной составляющей сопротивления излучения круглого поршня в жестком экране известно и определяется как  $\chi_{\Pi} = -jz_0 \frac{2S_1(2k_0R)}{2k_0R}$ , где  $S_1(2k_0R)$  – функция Струве [6]. Максимальное значение  $\chi_{\Pi \max}$  достигается при  $kR \approx 1.38$  ( $2R \approx 0.44\lambda_0$ ). Для области более низких частот ( $k_0R \leq 0.5$ ) выражение для  $\chi_{\Pi}$  может быть представлено более простой и удобной для дальнейшего сравнения формулой  $\chi_{\Pi} \approx -jz_0 k_0 R \frac{8}{3\pi}$ . Причем на частоте  $k_0R \approx 0.5$  значение  $\chi_{\Pi}$  составляет  $\sim 0.7\chi_{\Pi \max}$ .

Положим, что  $a = b$ . Этот вариант соответствует случаю, когда площадь излучения фронтальной накладки в 3 раза, а водозаполненных зазоров в 2 раза превышает площадь излучения тыльной накладки. Тогда получим:

$$Z_{\text{ст}} = \frac{1}{v_1} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{qr} z_{qr} F(qa)F(ra);$$

$$Z_{\text{в}} = \frac{1}{v_2} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \frac{1}{3} C_{qr} z_{qr} F(qa)F(ra) \left[ (-1)^q + (-1)^r + (-1)^{q+r} \right];$$

$$C_{qr} = \frac{1}{4} \left\{ v_1 + v_2 \left[ (-1)^q + (-1)^r + (-1)^{q+r} \right] \right\} F(qa)F(ra); \quad z_{qr} = \frac{-jz_0 k_0 a}{\pi \sqrt{q^2 + r^2 - (2a/\lambda_0)^2}}.$$

Для рассматриваемого случая  $a = b$  и с учетом условия отсутствия спектра нулевого порядка можно записать  $F^2(qa) = \frac{4}{(q\pi)^2}$ ;  $F^2(ra) = \frac{4}{(r\pi)^2}$  и  $\nu_1 = -3\nu_2$ , тогда получим:

$$Z_{\text{ст}} = -jz_0 \frac{4k_0a}{\pi^5} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \frac{1 - \frac{1}{3} [(-1)^q + (-1)^r + (-1)^{q+r}]}{q^2 r^2 \sqrt{q^2 + r^2 - (2a/\lambda_0)^2}},$$

где  $q \neq 0$  и  $r \neq 0$ . При четных значениях  $q$  и  $r$  числитель под знаком суммы обращается в ноль. Для других вариантов  $q$  и  $r$  – значение числителя равно  $1/3$ . Тогда с учетом четности выражения под знаком суммы и условия (8) максимальное значение  $Z_{\text{ст}}$  при  $a = b$  будет:

$$Z_{\text{ст}} \approx -\frac{jz_0 4k_0a}{3\pi^5} \sum_{q=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{2}{a^2 r^2 \sqrt{q^2 + r^2 - (2a/\lambda_0)^2}}. \quad (9)$$

Для удельного сопротивления излучения водного зазора аналогично получим:

$$Z_{\text{в}} = -j \frac{z_0 4k_0a}{3\pi^5} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \frac{[-3 + (-1)^q + (-1)^r + (-1)^{q+r}] [(-1)^q + (-1)^r + (-1)^{q+r}]}{q^2 r^2 \sqrt{q^2 + r^2 - (2a/\lambda_0)^2}}.$$

Для четных значений  $q$  и  $r$  числитель под знаком суммы также равен нулю. Для других вариантов  $q$  и  $r$  – значение числителя под знаком суммы равно 4. Тогда с учетом четности выражения под знаком суммы и условия (8) максимальное значение  $Z_{\text{в}}$  при  $a = b$  будет:

$$Z_{\text{в}} \approx -\frac{jz_0 16k_0a}{3\pi^5} \sum_{q=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{2}{q^2 r^2 \sqrt{q^2 + r^2 - (2a/\lambda_0)^2}}. \quad (10)$$

Поскольку  $2a/\lambda_0 < 1$ , то при больших значениях  $q$  и  $r$  последним слагаемым под знаком корня в выражениях (9) и (10) можно пренебречь. Тогда численная оценка сумм в выражениях (9) и (10) при  $0 \leq 2a/\lambda_0 \leq 1$  дает значения 2.3...2.96. Выбрав максимальное значение сумм, с учетом представления  $a \approx 1,77R$ , окончательно получим:

$$Z_{\text{ст}} \approx -jz_0 \frac{7}{\pi^5} k_0R; \quad Z_{\text{в}} \approx -jz_0 \frac{28}{\pi^5} k_0R. \quad (11)$$

Сопоставление выражений для  $\chi_i$  и (11) при заданной геометрии антенны показывает, что значения удельной реактивной составляющей сопротивления излучения стержневого преобразователя  $Z_{\text{н0}}$  в тыльном направлении почти в 37 раз, а водозаполненных зазоров  $Z_{\text{в}}$  в 9.3 раза меньше, чем значение удельной реактивной составляющей сопротивления излучения для поршня  $\chi_i$  в жестком экране.

Положим теперь, что площадь излучения фронтальной накладки в два раза больше площади излучения тыльной накладки, т. е. подобно случаю более близкого к вариантам, рассмотренным в [1], [2]. Тогда  $(a+b)^2 = 2a^2$ , откуда получим:  $b = a(\sqrt{2} - 1)$ . С учетом соотношения (8) найдем:  $\nu_1 = -\nu_2$ . При выбранном соотношении  $a$  и  $b$  пространственный период

$$\Omega = \frac{2\pi}{a+b} = \frac{\sqrt{2}\pi}{a}, \text{ тогда получим: } F(qa) = \frac{\sin qa_{\Omega}}{qa_{\Omega}}; F(ra) = \frac{\sin ra_{\Omega}}{ra_{\Omega}}; F(qb) = \frac{\sin qb_{\Omega}}{qb_{\Omega}};$$

$$F(rb) = \frac{\sin rb_{\Omega}}{rb_{\Omega}}, \text{ где } a_{\Omega} = \frac{a\Omega}{2} = \frac{\pi}{\sqrt{2}}; b_{\Omega} = \frac{b\Omega}{2} = \pi \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right); z_{qr} = \frac{-jz_0 k_0 a}{\sqrt{2}\pi \sqrt{q^2 + r^2 - 2(a/\lambda_0)^2}}.$$

Подставив эти выражения в общие формулы (1), (4) и (7), с учетом перехода от стержня квадратного поперечного сечения ( $a \times a$ ) к круглому – радиуса  $R$ , после вычисления двойных сумм и выбора их максимальных значений, окончательно получим:

$$Z_{ст} \approx Z_{в} \approx -j \cdot 0.02 \cdot z_0 k_0 R. \quad (12)$$

Сопоставление выражений для  $\chi_{г}$  и (12) при выбранной геометрии антенны показывает, что удельные значения реактивных составляющих сопротивления излучения тыльного торца стержневого преобразователя и водозаполненных зазоров, взятые по максимальной оценке, в 42.5 раза меньше, чем соответствующее значение круглого поршня в жестком экране. Полученный результат – уменьшение более чем на порядок реактивной составляющей сопротивления излучения рассматриваемой периодической структуры, в определенной мере можно объяснить эффектом акустического короткого замыкания – противофазным взаимодействием отдельных участков тыльной поверхности антенны.

Таким образом, в первом приближении при выполнении условия (8) можно пренебречь реактивной составляющей сопротивления излучения рассматриваемой периодической антенны и считать ее акустическую нагрузку чисто активной, в том числе и для модели преобразователей [1], [2], входящих в ее состав.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малахов В. Б., Степанов Б. Г. Стержневой преобразователь с комбинированной компенсацией тыльного излучения // Изв. ЛЭТИ: науч. тр. 1989. Вып. 407. С. 96–106.
2. Малахов В. Б., Степанов Б. Г. Увеличение полосы пропускания однонаправленного стержневого преобразователя // Тез. докл. V Дальневост. акуст. конф. Владивосток, 1989. Ч. 1. С. 9–11.
3. А. С. № 1823774 / Малахов В. Б., Степанов Б. Г. Способ возбуждения стержневого гидроакустического преобразователя. Оpubл. 12.10.1992.
4. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Гидроакустические антенны. Л.: Судостроение, 1984.
5. Бреховских Л. М., Годин О. А. Акустика неоднородных сред. Т. 1: Основы теории отражения и распространения звука. М.: Наука, 2007.
6. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стриган. М.: Наука, 1979.

*B. G. Stepanov*

*ESTIMATION OF A REACTIVE COMPONENT OF RESISTANCE OF RADIATION FOR A BACK SURFACE OF THE ANTENNA DONE FROM ROD TRANSDUCERS WITH COMBINED COMPENSATION OF BACK RADIATION*

*The numerical estimation of a reactive component of resistance of radiation for a back surface of the flat antenna made of rod transducers with the gap full of water between them is given.*

**The antenna, resistance of radiation, compensation of back radiation**



УДК 62.316:454.5

*Е. П. Попечителей, К. Н. Болсунов*

## **МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОЙ ГРУППЫ ОПЕРАТОРОВ**

*Рассмотрен класс методик, предназначенных для изучения функциональных характеристик малых групп специалистов, занятых решением общей профессиональной задачи. Такая группа рассматривается как малая группа операторов; для изучения согласованности их действий и обучения взаимопониманию организуется групповой эксперимент с использованием биотехнических измерительно-вычислительных систем и тестовых визуальных изображений в виде «полосковых» символов.*

**Малая группа, функциональные характеристики, тестовые изображения, биотехническая система, гомеостатические методики**

Биотехнические системы (БТС) [1], позволяющие решать многочисленные прикладные задачи с участием человека-пользователя таких систем, завоевывают все большее признание. Среди этих систем особое место занимают биотехнические измерительно-вычислительные системы (БТИВС), позволяющие построить на их основе разнообразные технологии для изучения функциональных характеристик человека [2]. Все возможности БТИВС реализуются за счет использования сюжетных тестовых изображений различного содержания, параметрами которых управляет испытуемый – оператор (О). Под «сюжетами» в данном случае понимается широкий спектр визуальных изображений, информационное содержание которых зависит от конкретной прикладной задачи, решаемой с их помощью.

В соответствии с назначением БТИВС выделяют несколько функциональных возможностей визуальных изображений [3], [4], среди которых рассматриваются и зрительные тесты. С их помощью изучаются свойства зрительной системы человека и характеристики его личности, оценивается уровень овладения навыками и приемами труда; они позволяют даже предложить технологии частичной коррекции функционального состояния. Такие исследования можно проводить в реальном времени, в любых условиях, даже в процессе выполнения человеком функциональных обязанностей. Эти возможности особенно интересны для задач контроля над состоянием человека, управляющего сложной технической системой.

Используя принципы организации исследований индивидуальных характеристик человека, можно предложить методики исследования группы специалистов, которые сообща решают общую задачу. Данная работа посвящена разработке методик организации функциональных исследований для малой группы операторов на основе изучения реакций членов группы на специально сформированные тестовые изображения.

**Принципы организации работы оператора с изображением.** Для разработки методик организации групповых экспериментов сначала необходимо уяснить принципы, с применением которых строятся БТИВС для изучения индивидуальных свойств человека. Такие системы хорошо известны [5], [6], а опыт их построения и использования позволяет сформулировать несколько принципов организации работы человека с изображением:

- с помощью специальных генераторов визуальных образов формируются тесты, характеристики сюжетов которых (параметры изображения) регулируются независимо;
- зрительные тесты отображаются на экранах цветных растровых индикаторов, причем часто на изображениях удается отобразить как начальный тест, так и его изменения, связанные с работой человека с изображением;
- для оператора (О) предусматривается индивидуальный пульт управления сюжетом зрительного теста ПУ<sub>О</sub>;
- при управлении сюжетами обеспечивается однозначная связь действий О по управлению параметрами тестов с целенаправленными изменениями сюжетов;
- содержание сюжетов выбирается в зависимости от исследуемого параметра человека.

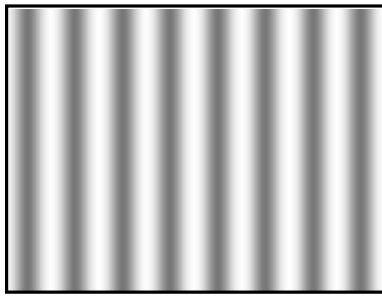
Таким образом, при формировании содержания тестовых изображений и управлении ими используется так называемый принцип «непосредственного редактирования», при реализации которого О управляет параметрами изображений с помощью достаточно развитой структуры манипуляторов – органов управления содержанием изображений, объединенных в ПУ<sub>О</sub>. Оператор управляет сюжетом через ПУ<sub>О</sub> в соответствии с полученным заданием привести исходное изображение к заранее оговоренному виду. Действия по управлению сюжетом отражают принимаемые человеком в каждый момент времени решения, поэтому регистрация управляющих сигналов с ПУ<sub>О</sub> предоставляет экспериментальные данные для выявления интересующих исследователя характеристик.

В качестве примера на рис. 1 приведено несколько тестовых изображений, используемых при изучении контрастной чувствительности зрения (*a*), при оценке особенностей цветового зрения (*b*), при исследовании разрешающей способности бинокулярного восприятия (*в*).

В первом варианте теста (тест *a*) испытуемый изменяет контраст полос до момента их субъективного исчезновения, что и фиксируется как конечный результат. Цветовой тест (тест *b*) содержит два фрагмента разного цвета; при регулировке цвета одного из фрагментов оба фрагмента субъективно исчезают, а разница в установке параметров цвета для них характеризует особенности цветового восприятия. В третьем тесте (тест *в*) обе картинка сдвигаются и фиксируется момент, когда они сливаются для испытуемого в единый образ [3].

**Малая группа операторов (МГО).** Приведенные принципы позволяют предложить автоматизированные исследовательские комплексы типа БТИВС, приспособленные для изучения, тренировки и оценки состояния малой группы операторов, которые работают совместно над решением общей задачи.

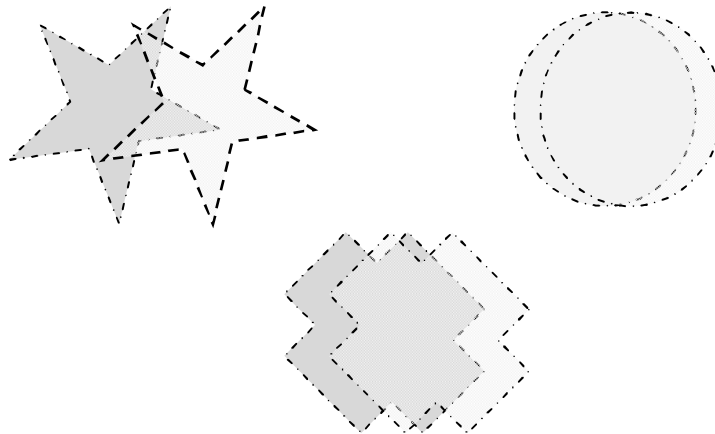




а



б



в

Рис. 1

Малая группа – это «системный социальный объект, выделяемый на основе определенных признаков (наличие или характер совместной деятельности, уровень развития межличностных отношений, особенности организаций и т. п.)» [7]. При этом член группы представляется как индивид, систематически общающийся и взаимодействующий с другими индивидами, состоящими в МГО. Его действия и мнение оказывает влияние на работу всей группы.

Структура группы подразумевает распределение функциональных обязанностей членов группы в их совместной деятельности, набор ролей (действий, ожидаемых от человека, за которым закреплены определенные функциональные обязанности) и набор норм (правил, предписаний, требований, инструкций). Групповые процессы подразумевают процессы сплочения или разобщения группы, развитие групповых норм, психологического климата в коллективе, формирование лидерства, развитие симпатий и антипатий и т. д.

Применительно к МГО действует принцип иерархичности. Это подразумевает, что малая группа является частью системы более высокого уровня, в которой она выступает как единая биологическая подсистема (макроорганизм), для которой характерны процессы групповой динамики. Состояние такой подсистемы должно описываться другими функциональными показателями, чем состояние каждого О. В то же время качество групповой деятельности в каждый момент совместной работы в значительной степени зависит от функционального состояния включенных в группу операторов.

Конечно, на начальных стадиях обучения многие параметры сформированной группы не определены даже при тщательном подборе членов такой группы. Организация сложной деятельности, глубоко связанной с последующей профессиональной задачей, ко-

торая затрагивает владение специфическим набором приемов и навыков работы, не должна затенять главную задачу – оценку принципиальной возможности объединения выбранных специалистов в одной группе. Но и эта задача не решается сразу. Требуется проведение тщательных и продолжительных исследований, так как для любой организованной совместной работы необходимо время для ее освоения, для приобретения элементарных навыков взаимопонимания. Вот эта задача и может быть относительно просто решена с помощью БТИВС и специальных биотехнических технологий.

**Методы групповых исследований.** Основной проблемой, решаемой при реализации БТИВС для исследования групповой деятельности (БТИВС-ГрД), является разработка специальных технологий, позволяющих оценить (выработать) соответствующий навык или умение, связанные с особенностями взаимодействия внутри малого коллектива специалистов [5], [6]. При этом рассматриваются системы, имеющие целью:

- отработку конкретных навыков и умений, например совместного управления техническими системами;
- подбор МГО для оптимального решения определенного класса профессиональных задач и оценку эффективности их совместной работы.

В действиях членов МГО всегда можно выделить ряд простых компонентов, из которых составляется сложная последовательность действий каждого человека-оператора (ЧО) и группы в целом. Простые действия, такие, как указание или выделение объекта из многих, слежение за одним из них, регулировка его положения, размеров, цвета, других параметров, специфичны для разных прикладных задач. Они включаются в состав различных сложных поведенческих актов, тренировка которых требует усилий.

Отработку взаимопонимания при совместной работе лучше начинать с заданий, рассчитанных на простые тестовые реакции членов группы, для которых не требуется владение сложными навыками профессиональной деятельности. Затем можно переходить к освоению сложных поведенческих актов. Процесс обучения целесообразно представить в виде двух самостоятельных этапов:

- обучение простым согласованным действиям;
- обучение сложным профессиональным последовательностям действий.

На первом этапе необходимо освоить приемы согласованного управления при решении простых тестовых задач. Второй этап можно решать с помощью тренажно-моделирующих комплексов, в которых по возможности учитываются все особенности профессиональной работы [1].

Простота двигательных актов и совместный характер выполнения тестового задания являются основой для разработки не только технологий формирования навыков совместной работы. На этом этапе непосредственно в ходе выполнения задания легко оценить характеристики всей группы как целостной подсистемы. При этом можно оценить в отдельности вклад каждого О в общий результат.

Сформулируем ряд требований, которым должен удовлетворять процесс моделирования взаимосвязанной деятельности группы людей.

1. Максимальная простота тестовых заданий, исключающая необходимость предварительного освоения специальных навыков для их выполнения.

2. Однотипность конкретной деятельности каждого члена группы по выполнению тестового задания.

3. Взаимозависимость деятельности всех членов группы.

4. Опосредованность оценки результатов работы группы через регистрирующую аппаратуру.

5. Обязательная статистическая обработка результатов выполнения тестового задания.

Все эти требования легко выполнить, воспользовавшись изложенными ранее принципами организации исследований. Правда, их необходимо дополнить еще несколькими:

– каждый оператор имеет индивидуальный пульт управления ПУ<sub>О</sub>;

– тестовые изображения строятся из однотипных деталей, параметрами которых управляют отдельные операторы;

– обеспечивается взаимовлияния работы каждого оператора на результат работы других;

– отображаются на общем индикаторе: задание на совместную работу (эталон решения) и результат работы в каждый момент времени (рабочая зона), чтобы легко различать степень несоответствия общего результата эталону и вклада в общий результат работы каждого О.

**Гомеостатические методики изучения совместной деятельности.** Все перечисленные требования и принципы построения исследований реализуются в гомеостатических методиках изучения совместной деятельности малой группы операторов. При этом используются БТИВС, аналогичные системам для изучения индивидуальных характеристик человека, в которые добавляются лишь несколько новых блоков. Известны два подхода к построению методик организации работы МГО на основе гомеостатического метода. Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из них.

Первый вариант основан на *принципе прямого уравнивания* (предложен Ф. Д. Горбовым в 1970 г.). В соответствии с ним за счет работы всех членов группы поддерживается постоянство некоторого заранее выбранного общего параметра в тестовом задании, который и рассматривается как результат совместной работы МГО. Любой оператор из МГО ориентируется при выработке команд управления лишь на общий результат деятельности группы. В таких тестах текущее значение выходного параметра зависит от конкретных действий каждого О<sub>і</sub>, однако не предусматривается оценка индивидуального вклада конкретного члена группы в общий результат. В то же время такая информация представляется очень важной для оценки эффективности работы группы. Небольшая модификация этой методики позволяет получать и эту информацию, для чего необходимо отображать действия конкретного О<sub>і</sub>, задавая ему «частный» эталон – частное задание, к достижению которого он должен стремиться. При таком подходе общее эталонное тестовое задание состоит из частных эталонных заданий для каждого члена группы МГО. Например, при поддержке постоянства величины электрического напряжения за счет деятельности всей группы каждому члену группы указывается общее устанавливаемое напряжение и напряжение, регулируемое конкретным оператором, – его «частное» напряжение, с которым он входит в общий результат. Регистрируются изменения общего напряжения, вариации установки частных заданий в разные моменты времени, общее время работы по решению тестовой задачи. Все результаты вместе – это экспериментальные данные, по которым можно судить о согласованности действий членов группы. Известны

варианты методики создания общей температуры воды в душе с независимой регулировкой температуры участниками эксперимента, регулировкой силы тока и других величин, управление которыми зависит от работы нескольких человек.

Второй вариант методик основан на *принципе относительного уравнивания* [5]. В соответствии с этим принципом для создания условий взаимосвязанной деятельности предусматривается специальный способ формирования тестового задания.

Каждый тест содержит две части – эталонную и рабочую. В эталонной части отображается конечный результат работы, т. е. тот, к достижению которого должна стремиться вся группа в процессе эксперимента. Кроме того, каждому  $O_i$  дается индивидуальное задание – частный эталон, которого он должен достичь при выполнении общего теста, а общий эталонный результат является суммой частных эталонов. Вся группа видит общий эталон и эталон каждого  $O_i$ . В рабочей части теста отображаются текущие результаты деятельности каждого оператора и всей группы в целом. Задание считается выполненным, когда достигнуты параметры рабочей части, которые полностью совпадут с параметрами общего эталона, т. е. будут выполнены и частные задания. При этом дополнительно в поле зрения всех членов МГО отображается отклонение текущего результата общей работы от эталона. Форма такого представления может быть произвольной, но такой, чтобы эта информация способствовала успешному достижению конечной цели совместной работы, т. е. достижению общего эталона.

Для обеспечения условий совместной работы выполнение каждым оператором своего частного задания должно определяться в первую очередь собственными действиями этого оператора и в некоторой (устанавливаемой заранее) степени зависеть от качества выполнения своих частных заданий остальными операторами. Все частные эталоны должны четко различаться в тестовом задании при достаточной наглядности отличий общего результата от общего эталона. Группа как бы «собирает» эталон по частям, но каждая часть зависит от деятельности всех операторов. В связи с этим в некоторых вариантах реализации этих технологий общий результат может автоматически формироваться только за счет сложения частных результатов.

Примерами таких заданий с визуализацией вложения каждого члена группы в общий результат могут быть визуальные изображения-тесты так называемых «полосковых символов» [5] (рис. 2). Такие символы формируются на экране монитора коллективного пользования (МКП), и каждый  $O_i$  имеет возможность изменить ширину (или положение, высоту и т. п.) только своего индивидуального символа (ИС), при этом он может наблюдать изменения индивидуальных символов других  $O_i$ .

На рис. 2 *а, б* представлены визуальные тесты, выполненные по модифицированному первому принципу. Здесь задается эталонный размер общего теста  $T_3$  как сумма размеров изображений «индивидуальных» полос, причем размер каждой полосы регулируется независимо. Размер экрана может не совпадать с размером теста  $T_0 \neq T_3$ , поэтому на экране становятся видимыми все действия членов МГО. В рабочей части изображения необходимо установить общий размер рабочего полоскового символа  $T_p = T_3$ . Вклад каждого оператора в общий результат отражает размер индивидуальной полосы. Для оценки деятельности группы в целом он не имеет значения, но для выявления вклада каждого оператора информация содержится в виде совокупности управляющих команд по регулировке ширины индивидуальной полосы.

Формально деятельность группы описывается квадратной матрицей коэффициентов влияния  $\mathfrak{R}_{NN}$  [5]:

$$\mathfrak{R}_{NN} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{N1} & \cdots & \alpha_{NN} \end{bmatrix},$$

где  $N$  – число операторов в группе, и каждый элемент матрицы  $\mathfrak{R}_{NN}$  отражает влияние конкретного оператора  $O_i$  на другого оператора  $O_j$ .

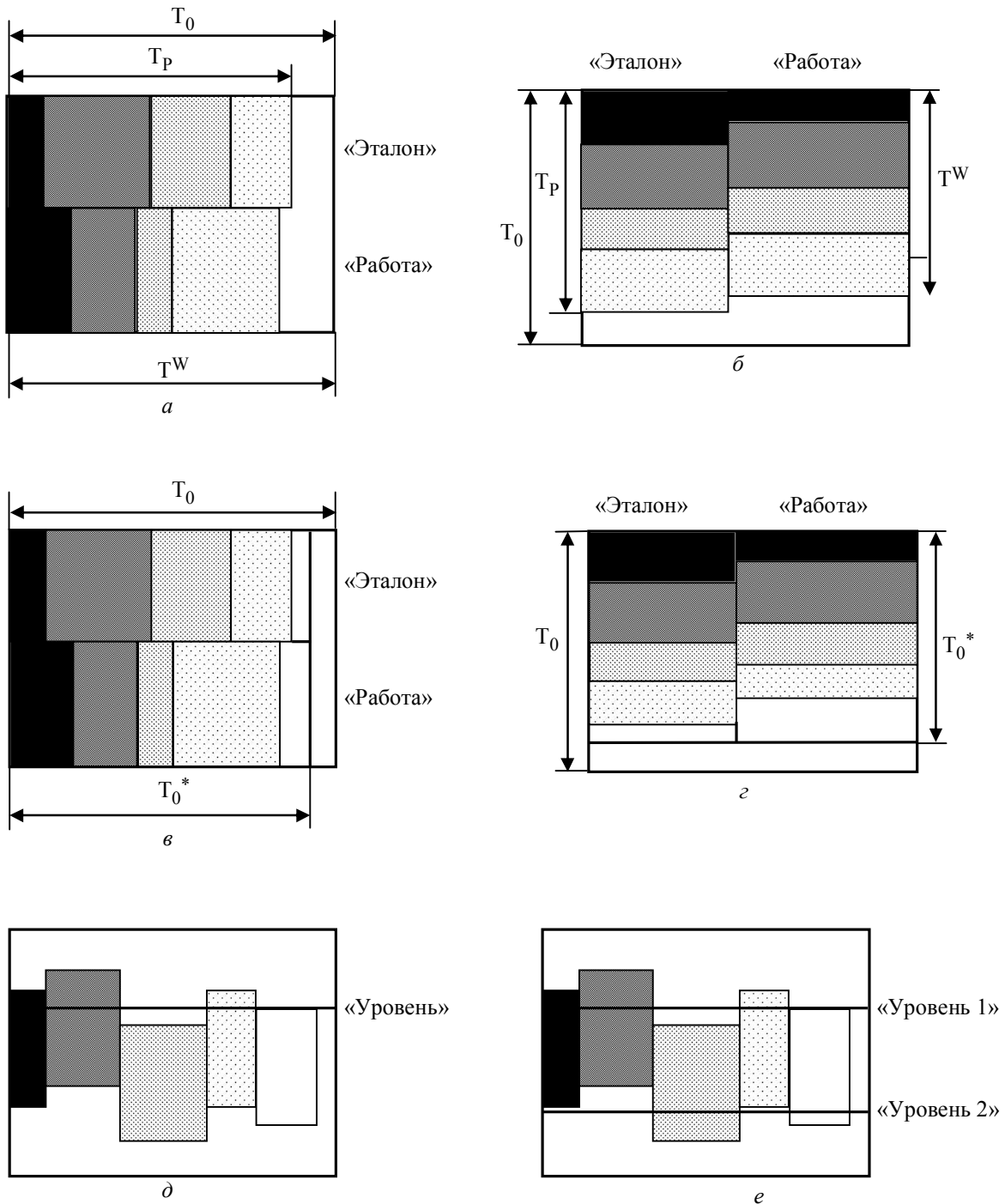


Рис. 2

Наиболее простой случай соответствует матрице, в которой все диагональные коэффициенты равны некоторой величине  $\alpha = \text{const}$ , а остальные – нулю (все  $\alpha$  удовлетворяют условию  $0 \leq \alpha \leq 1$ ). Все ИС имеют равную ширину, значение  $\alpha$  определяет чувствительность управления шириной ИС. Изменяя значения диагональных  $\alpha$ , можно смоделировать разные тестовые изображения. Изменяя другие элементы матрицы, можно устанавливать разную степень влияния конкретного ЧО на результат работы других ЧО, т. е. создавать условия для реализации принципа неравновесного уравнивания. Для эталонной части изображения-теста используется тот же принцип управления.

Изменение недиагональных коэффициентов используется при формировании методик второго типа. Основным условием для них является фиксация размера общей картины, поэтому любые изменения каждого из частных символов будут влиять на изменения ширины остальных, что и создает основу совместной деятельности. Примеры тестовых изображений разной сложности приведены на рис. 2, в–е.

Особенностью данного подхода является то, что задание легко варьировать путем изменения его эталонной части, которую также просто отобразить на общем экране, например в верхней или левой его части (см. рис. 2, в, з). Для решения тестовой задачи оператор имеет простейший регулятор ширины полосы – одномерный манипулятор, позволяющий изменять размер индивидуальной полосы. Варианты, представленные на рис. 2, д, е, отличаются повышенной сложностью манипулятора. Для изображения на рис. 2, д требуется двухкоординатный манипулятор, а с изображением на рис. 2, е человек работает с манипулятором с большим количеством степеней.

Сформулированные принципы построения биотехнических измерительно-вычислительных систем для проведения групповых исследований по совместной деятельности малых групп операторов позволяют предложить большое разнообразие методик выполнения таких исследований. Среди возможных тестовых визуальных изображений особое место занимают изображения полосковых символов, содержащих набор полос по числу операторов в группе, так как такие изображения наилучшим способом отвечают требованиям к организации групповых экспериментов. С их помощью легко реализовать оба известных подхода к таким экспериментам при обеспечении широких методических возможностей организации конкретных вариантов работы группы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биотехнические системы. Теория и проектирование / Под ред. В. М. Ахутина. Л.: Изд-во ЛГУ. 1981. 220 с.
2. Попечителей Е. П. Биотехнические измерительно-вычислительные системы с тестовыми воздействиями // Изв. СПбГЭТУ. Вып. 478. 1995 С. 8–15.
3. Попечителей Е. П., Ахлаков М. К., Болсунов К. Н. Тестовые системы в медико-биологических исследованиях: Учебн. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2003 80 с.
4. Попечителей Е. П. Человек в биотехнической системе: Учеб. пособие. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2006. 160 с.
5. Попечителей Е. П. Модели гомеостатических методик для исследования групповой деятельности операторов // Медицинская техника, 1996. № 4. С. 13–19.
6. Попечителей Е. П., Болсунов К. Н. Методики изучения групповой деятельности малых групп специалистов // Биотехнические системы в медицине и биологии. СПб.: Политехника. 2002. С. 110–115.
7. Червинская К. Р., Щелкова О. Ю. Медицинская психодиагностика и инженерия знаний / Под ред. проф. Л. И. Вассермана. СПб.: Изд-во Ювента; М.: Изд. центр «Академия», 2002.

*There is considered the methods class, which is intended for the study of behavioral descriptions of specialists group, busy with the decision of general professional task. Such a group is investigated as a small group of operators, for the study of co-ordination of their actions teaching to the mutual understanding a group experiment is organized with the use of the biotechnical instrumentation-calculable systems and visual test images as images of «stripes».*

**Small group, functional descriptions, test images, biotechnical system, homeostatic methods, images of «stripes»**

УДК 544.431.15.

*А. И. Мамыкин, М. В. Листов*

## **КИНЕТИКА РЕЛАКСАЦИИ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ И ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНА В ЖИДКИХ СУБСТАНЦИЯХ ОРГАНИЗМА**

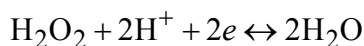
*Рассмотрена кинетика релаксации свободных радикалов на примере экспериментальной модели экзофтальма и полимиозита. Показано, что наблюдение энергетического спектра свободных радикалов дает возможность диагностики на раннем этапе многих социально значимых заболеваний, а также индивидуальной коррекции антиоксидантной системы организма с целью ослабления патогенного воздействия окислительного стресса.*

**Свободные радикалы в биологических системах, релаксация свободных радикалов, антиоксидантная активность, перенос электрона, энергетический спектр радикала**

В настоящее время известно большое количество социально значимых заболеваний, в которых тканевые повреждения сопровождаются развитием окислительного стресса. В патогенезе этих заболеваний свободные радикалы играют решающую роль. Аналогичные процессы происходят под действием источников ионизирующего излучения, а также при бактериальных инфекциях. Во всех случаях наличие в организме естественного или искусственного источника свободных радикалов вызывает в клеточных мембранах окисление липидов с образованием новых свободных радикалов. Развивается цепная реакция радикалов, в которой первичный высокоэнергетический радикал, оказывая непосредственное патогенное воздействие на клеточные системы организма, способен дополнительно продуцировать определенный набор вторичных радикалов, усиливая, тем самым, свое неблагоприятное действие.

Физические процессы, связанные с релаксацией радикалов в жидких субстанциях организма, как правило, проходят в несколько этапов, каждый из которых представляет собой окислительно-восстановительную реакцию с переносом электрона. На каждом из этапов возможно появление вторичных радикалов.

На рис. 1 представлена экспериментальная модель экзофтальма и полимиозита, иллюстрирующая развитие клеточной патологии на фоне цепной реакции [1]. Возникновение указанных заболеваний достаточно уверенно связывается с избыточным образованием перекиси водорода, хлорноватистой кислоты и гидроксила, которые в организме могут участвовать в следующих окислительно-восстановительных реакциях:



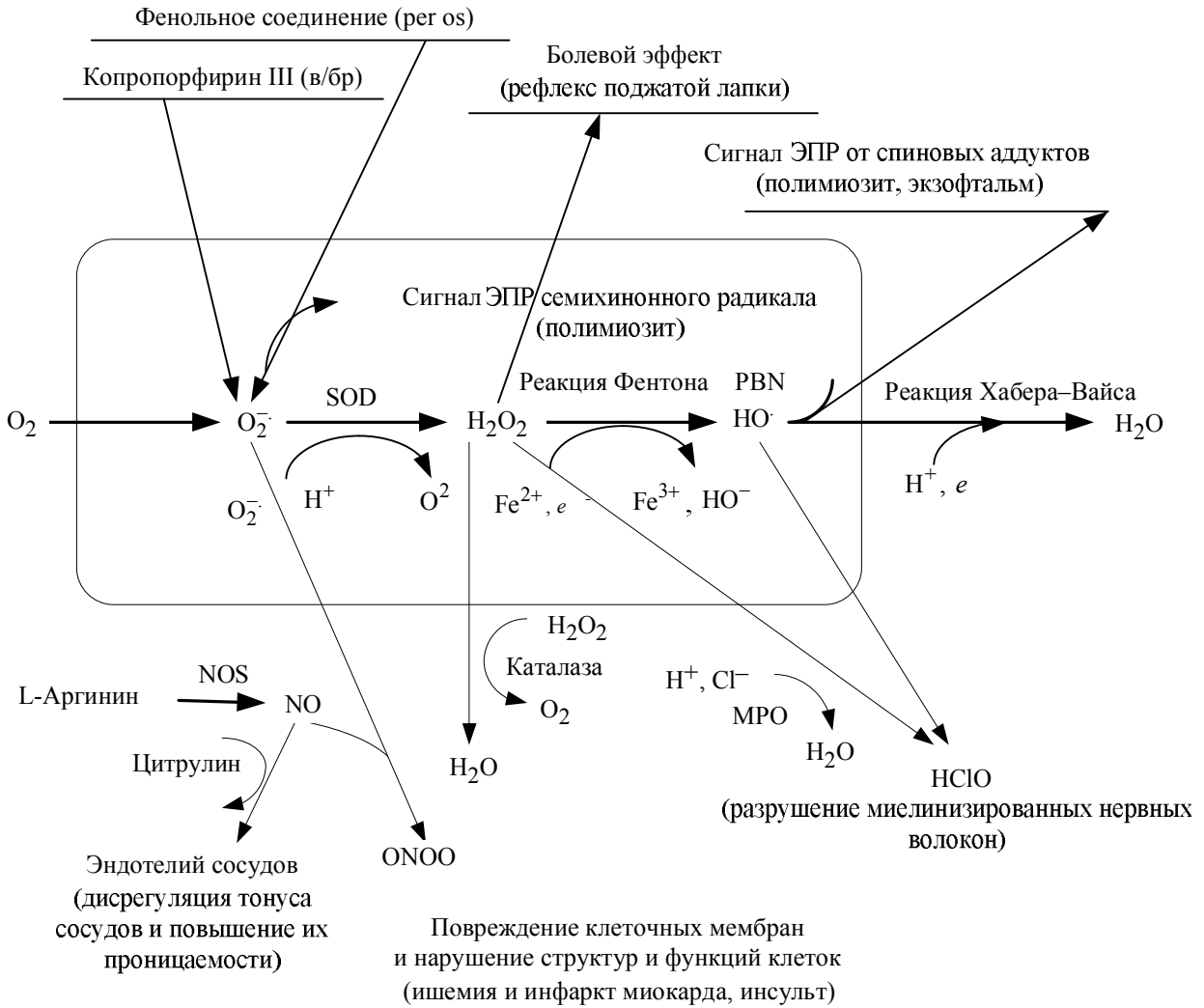
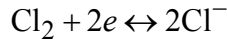
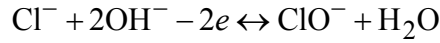
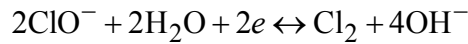
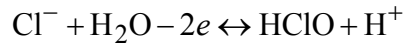
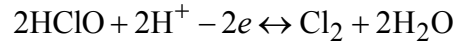


Рис. 1

Рассматривая релаксацию (уменьшение концентрации до уровня гомеостаза) этих трех составляющих цепной реакции, можно составить для них подобие энергетической диаграммы (рис. 2) с внутренними связями [2], которая позволяет описать процесс системой уравнений.

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = -w_1n_1 - w_{12}n_1 - w_{13}n_1; \\ \frac{dn_2}{dt} = -w_2n_2 + w_{12}n_1 + w_{23}n_3; \\ \frac{dn_3}{dt} = -w_3n_3 + w_{13}n_1 - w_{23}n_3. \end{cases}$$



Релаксация каждого из радикалов к состоянию гомеостаза описывается следующими закономерностями.

- Для перекиси водорода –

$$n_1(t) = n_{10} \exp\{-w_{1\text{ef}} t\},$$

где эффективная вероятность перехода (скорость релаксации) соответствует выражению

$$w_{1\text{ef}} = w_1 + w_{12} + w_{13}.$$

Релаксация гидроксила, который является конечным продуктом всех реакций с участием радикалов, происходит в соответствии с формулой

$$n_2 = -\frac{n_{10}}{w_{1\text{ef}} - w_2} \left( w_{12} - \frac{w_{13}w_{23}}{w_{1\text{ef}} - w_{3\text{ef}}} \right) \exp(-w_{1\text{ef}} t) - \frac{n_{10}}{w_{3\text{ef}} - w_2} \frac{w_{13}w_{23}}{w_{1\text{ef}} - w_{3\text{ef}}} \exp\{-w_{3\text{ef}} t\} +$$

$$+ n_{10} \left[ \frac{w_{12}}{w_{1\text{ef}} - w_2} + \frac{w_{13}w_{23}}{(w_{1\text{ef}} - w_2)(w_{3\text{ef}} - w_2)} \right] \exp\{-w_2 t\},$$

где

$$w_{3\text{ef}} = w_3 + w_{23}.$$

- Для хлорноватистой кислоты релаксационная зависимость имеет вид

$$n_3 = n_{10} \frac{w_{13}}{w_{1\text{ef}} - w_{3\text{ef}}} \exp\{-w_{3\text{ef}} t\} \left( 1 - \exp\{-(w_{1\text{ef}} - w_{3\text{ef}}) t\} \right).$$

Полученные выражения дают возможность оценить эффективность антиоксидантных механизмов организма, в частности, рассматривая избирательное воздействие антиоксидантов [3] на подавление конкретного процесса электронного переноса. Эффективность антиоксидантных процессов оценивается по изменению концентрационной дозы [4] радикала. Концентрационная доза определяет величину воздействия радикала и определяется по аналогии с интенсивностью спектральной линии. Для рассмотренных составляющих цепной реакции дозы определяются следующими выражениями.

- Для перекиси водорода –

$$D_1 = \frac{n_{01}}{w_{1\text{ef}}}; \quad (1)$$

- для гидроксила –

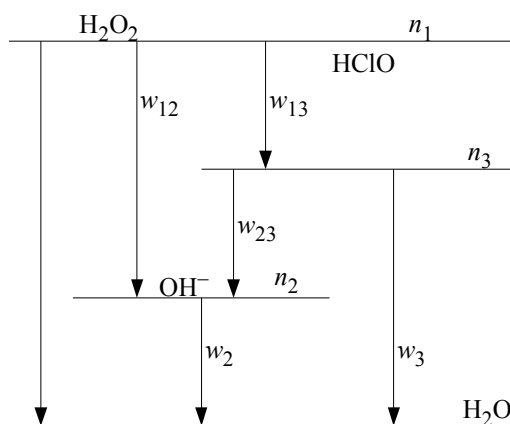


Рис. 2

$$D_2 = n_{10} \left\{ \frac{w_{12}}{w_{1ef} w_2} + \frac{w_{13} w_{23}}{w_{1ef} (w_{3ef} - w_2)} \left[ \frac{(w_{1ef} + w_2)}{w_2 (w_{1ef} - w_{3ef})} - \frac{(w_{1ef} + w_{3ef})}{w_{3ef} (w_{1ef} - w_2)} \right] + \frac{w_{13} w_{23} (w_{3ef} + w_2)}{w_{3ef} w_2 (w_{1ef} - w_{3ef}) (w_{1ef} - w_2)} \right\}; \quad (2)$$

• для хлорноватистой кислоты –

$$D_3 = n_{10} \frac{w_{13}}{w_{1ef} w_{3ef}}. \quad (3)$$

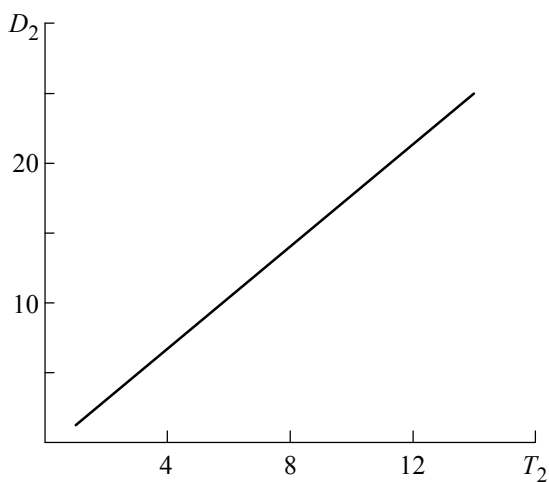
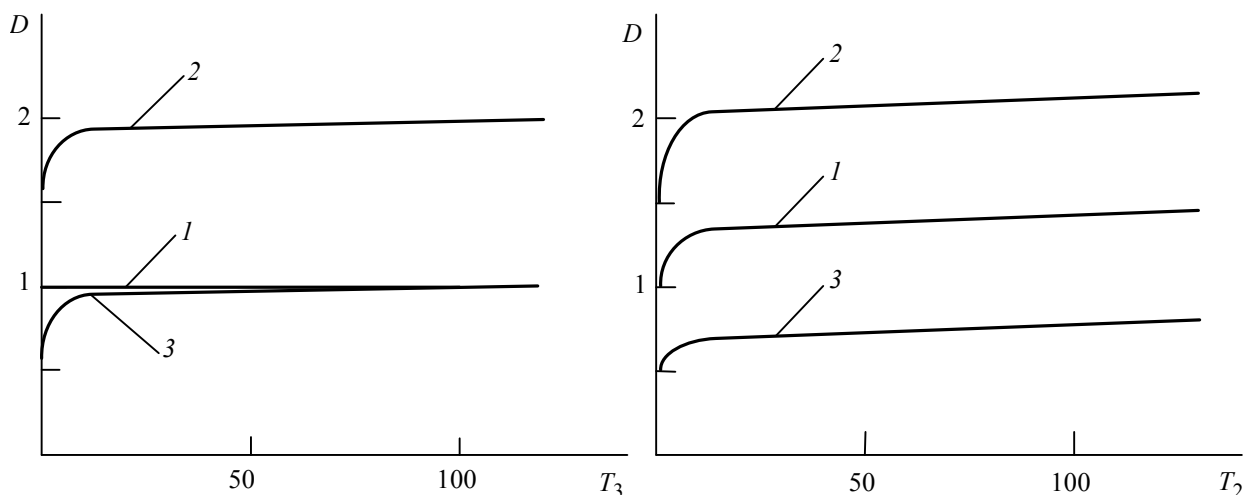


Рис. 3

Из выражений (1)–(3) следует, что релаксация каждого радикала существенно зависит от двух факторов: скорости реакции, продуктом которой являются радикалы последующих поколений, и скорости собственной релаксации радикала. Исключение составляет конечный радикал в цепи (в нашем случае гидроксил), на котором заканчивается цепная реакция.

Для конечного радикала существенной особенностью является возможность его накопления (рис. 3) при слабом механизме специфической для этого радикала антиоксидантной активности.

Результаты моделирования дозы гидроксила представлены в зависимости от времени собственной релаксации этого радикала (величина, обратная вероятности перехода). Во всех случаях стабилизация конечного продукта цепной реакции (ослабление соответствующего механизма антиоксидантной активности) может приводить к неограниченному росту дозы этого радикала даже при малой его продукции в реакциях переноса. Этот эффект не распространяется на других участников реакции. При избирательной стабилизации любого из радикалов дозы как стабилизируемого радикала, так и остальных, выходят на асимптоты (рис. 4 и 5).



Следует отметить, что начальный рост не является настолько катастрофическим, как при стабилизации гидроксила. Примечательно, что в данном случае во всем диапазоне времен релаксации выполняется соотношение

$$D_1 + D_3 = D_2,$$

которое можно трактовать как закон сохранения концентрационных доз, согласно которому концентрационная доза конечного радикала равна сумме концентрационных доз всех предшествующих радикалов цепи.

Учет энергетики радикалов осуществляется введением понятия «энергетическая радикальная доза», связанного с электродным потенциалом рассматриваемого радикала относительно воды [2].

Рассмотренная здесь модель цепной реакции радикалов позволяет исследовать проблему антиоксидантной активности организма и его систем. В конечном итоге, разработав соответствующие физические методы непосредственной регистрации энергетического спектра цепной реакции радикалов, можно будет говорить о возможности ранней диагностики многих социально значимых заболеваний и их предотвращения с помощью индивидуальной коррекции антиоксидантных механизмов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное моделирование патологических состояний со свободнорадикальной этиологией и их математическое описание / Г. Г. Родионов, Н. Н. Плужников, М. В. Листов, А. И. Мамыкин // Тр. междунар. конф. «Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии». ФГУП Российский федеральный ядерный центр, ВНИИЭФ. Саров, 2009. С. 88–97.
2. Листов М. В., Мамыкин А. И. Энергетическая схема и кинетика релаксации свободных радикалов в условиях гомеостаза // Тр. всерм. науч.-практ. конф. «Инновационная деятельность в вооруженных силах Российской Федерации». МО РФ, ЛВО, Военная академия связи. Санкт-Петербург, 2009. С. 327–332.
3. Листов М. В., Мамыкин А. И. Математическая модель развития системных заболеваний соединительной ткани // Усовершенствование способов и аппаратуры, применяемых в учебном процессе, медико-биологических исследованиях и клинической практике. Вып. 38. ВМА. СПб., 2007. С. 69–70.
4. Листов М. В., Мамыкин А. И. Эффективность избирательных механизмов антиоксидантной активности в условиях цепной реакции свободных радикалов // Тр. всерм. науч.-практ. конф. «Инновационная деятельность в вооруженных силах Российской Федерации». МО РФ, ЛВО, Военная академия связи. Санкт-Петербург, 2009. С. 332–334.

*A. I. Mamykin, M. V. Listov*

#### *RELAXATION KINETICS OF FREE RADICALS AND ELECTRON TRANSFER IN LIQUID SUBSTANCES OF AN ORGANISM*

*There has been considered some ideas of relaxation kinetics of free radicals for experimental model exophthalm and polymyosite. It is shown that analyse of a power spectrum of free radicals gives a chance of early diagnostics of many socially significant diseases, and also the possibility of individual correction of antioxidant systems for the purpose to reduce the pathogenic influence of oxidising stress.*

**Free radicals in biological systems, relaxation of free radicals, antioxidant activity, electron transfer, energy spectrum of radicals**



УДК 615.47:378(470)

*К. Н. Болсунов, В. А. Куземкин, Е. П. Попечителев*

## **КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОПОСТАВИМЫХ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПУСКНИКОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ «БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

*Рассмотрены пути совершенствования образовательных программ, связанные с внедрением концепции фундаментальной части медико-технической подготовки, а также определением последовательности изучения учебных дисциплин и развитием методической работы.*

### **Компетентностная модель, двухуровневая подготовка, биотехнические системы**

Высокий уровень техники и технологий в отраслях мировой экономики требует для своего динамичного развития специалистов с фундаментальной базовой подготовкой в области разработки, проектирования и эксплуатации технических систем, связанных с обеспечением и учетом биологического фактора в быту, биологических науках, медицине и на производстве. Только подготовка выпускников на стыке целого ряда фундаментальных дисциплин позволяет им успешно работать в избранной сфере деятельности, обладать универсальными и предметно-специализированными компетенциями, что обеспечивает их социальную мобильность и устойчивость на рынке труда.

Сказанное определяет настоятельную необходимость подготовки квалифицированных специалистов, способных решать на уровне мировых стандартов целый ряд задач комплексного характера по оценке и управлению процессами жизнедеятельности живых систем в разных условиях их существования. Это относится к изучению предельных возможностей живых организмов различного уровня сложности, поиску оптимальных условий для жизнедеятельности (в частности, к исследованию влияния факторов внешней среды на состояние организма человека и животных) и ускоренного развития различных организмов (в особенности человека). Особое значение имеют технические методы выявления интеллектуальных способностей человека на ранних стадиях его формирования, методики их быстрого развития (специальные методы ускоренного обучения), разработка и исследование последствий использования новых методов диагностики и лечения, а также лекарственных препаратов, пищевых добавок, условий жизни и т. п.

Отмеченные факторы привели к формированию систем и технологий нового типа, определяемых как биотехнические системы и биотехнические технологии. При этом под *биотехническими системами* понимается особый класс технических систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления, а под *биотехническими технологиями* – технологии, основанные на применении биотехнических систем, обеспечивающие разнообразные потребности живых систем и включающие операции с самими биологическими системами.

Повышение интереса к биотехническим системам и технологиям определяется следующими факторами:

– расширением областей исследований, в которых в качестве объекта исследования выступают биологические объекты (БО) разных видов;

– расширением сферы решения прикладных вопросов, связанных с повышением эффективности использования человеческого фактора;

– созданием систем, аппаратов и приборов, в которые БО включены как активные элементы;

– усилением роли человеческого фактора в индустриальном обществе, при этом невозможно обойтись:

- без обеспечения оптимальных условий для работы и жизнедеятельности, а следовательно, без использования систем диагностики и управления состоянием в реальном времени, обучения, профориентации и профотбора, тестирования и т. п.;

- без создания специальных технических средств, так называемых каналов взаимодействия, позволяющих включать человека (а при необходимости и другие БО) в комплекс управления сложными системами:

- в практической медицине – для диагностики, лечения, профилактики и реабилитации;

- в биологии – для проведения биологических исследований: контроля состояния животных, оказания дозированных воздействий, изучения предельных возможностей организмов и их поведения в экстремальных условиях, обработки экспериментальных данных и т. п.,

- в экологии – для контроля состояния окружающей среды (ОС), а также для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их биологических и медицинских последствий,

- в агротехническом комплексе и сельском хозяйстве для оценки и управления состоянием животных и растений, а так же оценки продуктивности сельскохозяйственных угодий,

- в пищевой промышленности – для контроля качества животной и растительной продукции,

- в биотехнологическом производстве – для оценки эффективности активных биологических веществ, биологических добавок, кормовых материалов для животноводства и т. п.

Таким образом, данное направление охватывает все области разработки и практического использования технических средств, связанных с контролем и управлением состоянием БО и созданием условий их эффективного функционирования и жизнедеятельности:

- производство;
- научные исследования;
- энергетику;
- информационные системы;
- биомедицинскую технику:
  - здравоохранение,
  - биомедицинскую промышленность,
  - медико-техническую науку,
  - биомедицинскую инженерию,
  - агротехнические науки, и т. д.

Образовательные программы, реализуемые сегодня в рамках направлений «Биомедицинская инженерия» и «Биомедицинская техника», не отвечают в полной мере требованиям, предъявляемым к уровню подготовки бакалавров и магистров. От специалистов современного уровня подготовки требуются:

- углубленная теоретическая подготовка в области фундаментальных закономерностей основных физических и биологических явлений, математического моделирования, теории управления и системного анализа, проблемно-ориентированная на решение широкого круга прикладных задач биомедико-технической направленности;

- глубокие знания в области теоретического обоснования и практического применения современных интеллектуальных, информационных и производственных технологий в системах автоматизации биомедицинских исследований и управления биотехническими системами различного назначения;

- готовность к использованию программно-аппаратных средств автоматизации процессов разработки биомедицинской техники различного назначения;

- овладение навыками творческого подхода к интеграции полученных знаний для решения широкого круга нестандартных задач в предметной области биотехнических систем и технологий;

- способность к концентрации усилий в различных направлениях профессиональной деятельности в области биотехнических систем и технологий.

Исходя из изложенного было сформировано представление о новом направлении технического образования, основной целью которого стала бы подготовка технических специалистов, способных решать перечисленные задачи. Оно было определено как направление «Биотехнические системы и технологии», включающее получение высшего профессионально профилированного (на уровне бакалавра) и углубленного профессионального (на уровне магистра) образования. Основной сферой деятельности специалистов, подготовленных по этому направлению, следует рассматривать разработку, производство и эксплуатацию биомедицинской и экологической техники, предназначенной для контроля и управления состоянием живых систем, обеспечения их жизнедеятельности и поддержания оптимальных условий трудовой деятельности человека. Технические специалисты, получившие образование по этому направлению, должны обладать универсальными и предметно-специализированными компетенциями, способствующими его социальной мобильности и устойчивости на рынке труда.

Новое направление многоуровневой подготовки специалистов «Биотехнические системы и технологии» имеет существенные преимущества по сравнению с реализуемыми сегодня родственными профилями подготовки специалистов, в том числе:

– по широте областей и видов профессиональной деятельности специалистов, охватывающие создание средств математического, алгоритмического, информационного, аппаратного, метрологического, программного и организационно-технического обеспечения всех сфер использования биологического фактора, включая человека как главного его представителя;

– комплексному использованию технических средств в задачах оценки процессов жизнедеятельности, изучения предельных возможностей живых организмов различного уровня сложности, поиска оптимальных условий для жизнедеятельности, разработки методов выявления интеллектуальных способностей человека, исследования влияния факторов внешней среды на человека и животных, оценки последствий применения новых методов диагностики, лечения, профилактики и реабилитации;

– подготовленности выпускников к модернизации существующих и разработке новых, обладающих высокой степенью универсальности, общих методов и способов построения и практического использования систем биотехнического назначения;

– широте и комплексному характеру фундаментальной и профессиональной подготовки.

Эти преимущества наряду со значительной вариативной частью, предусмотренной ФГОС ВПО, открывают большие возможности гибкого реагирования на региональные особенности рынка труда в большом диапазоне их изменения путем соответствующей профилизации выпускников в рамках ООП специальными проблемно-ориентированными модулями специальных дисциплин. Данная особенность имеет решающее значение для регионов страны с развитой промышленной инфраструктурой и наукоемкими производствами.

Основным назначением профессиональной деятельности выпускников по направлению «Биотехнические системы и технологии» является участие в создании:

– приборов, систем и комплексов медико-биологического и экологического назначения;  
– методов и технологий выполнения медицинских, экологических и эргономических исследований;

– автоматизированных систем обработки биомедицинской и экологической информации;  
– биотехнических систем управления, в контур которых в качестве управляющего звена включен человек-оператор (или другие виды биологических объектов);

– биотехнических систем обеспечения жизнедеятельности человека и поддержки процессов жизнедеятельности других биологических объектов;

– систем автоматизированного проектирования и информационной поддержки биотехнических систем и технологий.

При создании новой техники и технологий в любой области требуется высокий уровень профессиональной квалификации, т. е. овладение теми компетенциями, которые могут быть сформированы только на уровне магистерской подготовки. Конечно, при выборе путей реализации многоуровневой подготовки по направлению «Биотехнические системы и технологии» в технических вузах Российской Федерации, безусловно, должен быть в полной мере использован опыт подготовки специалистов (инженеров) по направлению «Биомедицинская техника» из действующего перечня направлений подготовки дипломированных специалистов.

Обязательным условием перехода на многоуровневую подготовку в рамках нового направления «Биотехнические системы и технологии» является усиление фундаментальной составляющей подготовки как основы для накопления профессиональных знаний и

компетенций. Другим обязательным условием является практико-ориентированная направленность подготовки как магистров, так и бакалавров, т. е. ориентация на подготовку выпускников к определенным видам профессиональной инженерной деятельности.

Для подготовки бакалавров по направлению «Биотехнические системы и технологии» необходима такая организация профессиональной составляющей подготовки, которая позволит на базе сформированного фундамента развить у студента способности применения полученных знаний при решении перечисленных инженерных задач. Последнее возможно при условии сужения в программе обучения (в вариативной части ООП вуза) части предметной области биотехнических систем и технологий до биомедицинской техники определенной направленности (профилизация бакалаврской подготовки). Основой для профилизации является учёт региональных особенностей в требованиях работодателей, с которыми вуз имеет договорные отношения, а также ориентация на определенный профиль последующей магистерской подготовки (если она предусмотрена в договоре с работодателем).

Разработка компетентностных моделей выпускников, завершивших обучение по ООП подготовки бакалавров и магистров направления «Биотехнические системы и технологии», является ключевой задачей, решение которой способствует выработке сопоставимых качественных характеристик для выпускников высших учебных заведений, получающих одну и ту же академическую степень или квалификацию. Это связано с тем, что компетентностная модель играет роль системообразующего элемента, связывающего установленные с учетом требований работодателей задачи профессиональной деятельности, к решению которых должны быть подготовлены бакалавр и магистр, с содержанием ООП, характеристиками образовательной среды вуза, формами организации учебного процесса, образовательными технологиями.

Компетентностная модель выпускника отражает результат освоения образовательной программы, т. е. именно на ее основе должна строиться система оценивания качества образования, что также учитывалось при формировании всех групп компетенций выпускников. Исходя из этого выбрана методика формирования общих и профессиональных компетенций, на базе которых формировался проект нового ГОС по направлению «Биотехнические системы и технологии».

На первом этапе группой разработчиков были созданы базовые варианты перечней компетенций для выпускников каждого из двух уровней подготовки. В состав группы входили представители технических университетов России, ведущих подготовку бакалавров, магистров и дипломированных специалистов по родственным направлениям «Биомедицинская инженерия» и «Биомедицинская техника», а также ряда крупных предприятий и организаций Санкт-Петербурга – работодателей в соответствующей области, поэтому в этих вариантах были представлены все заявленные разработчиками компетенции. В процессе работы проводилось сопоставление этих компетенций с требованиями Европейской системы квалификаций (ЕСК) и Европейской квалификационной рамки (ЕКР).

Новые варианты перечня компетенций бакалавров и магистров были уточнены на втором этапе после анализа и сопоставления его отдельных компонентов. Далее перечень был представлен членам учебно-методического совета (УМС) по направлениям «Биомедицинская инженерия» и «Биомедицинская техника». Обсуждение перечня проходило в ходе нескольких заседаний УМС, итоги которых были подведены на заседании 17–20 апр.



2007 г. на базе СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Окончательный вариант предложений УМС утвержден на заседании УМС 20–22 сент. 2007 г. на базе Восточно-Сибирского государственного технологического университета (г. Улан-Удэ). Для обсуждения образовательных программ нового направления подготовки технических специалистов на заседание УМС приглашались представители крупных предприятий и организаций, внесших ряд ценных предложений относительно структуры учебных планов и коррекции компетенций выпускников.

На третьем этапе сформированные перечни компетенций были оформлены в виде анкет с графой «Значимость компетенции». Для заполнения этой графы предложена шкала измерений уровня значимости компетенций от 4 до 1. Предлагалось также дополнить перечни компетенций, если по мнению работодателей они не охватывают весь спектр видов деятельности выпускников.

Анкеты были разосланы для анализа экспертам из числа представителей работодателей и ведущих вузов России, осуществляющих подготовку специалистов в рамках родственных направлений «Биомедицинская инженерия» и «Биомедицинская техника».

Результаты анкетирования показали следующее:

- подавляющее большинство респондентов в целом согласно со списком предлагаемых компетенций бакалавров и магистров по направлению «Биотехнические системы и технологии»;
- добавленные в ряде анкет дополнительные компетенции являются более узкими клонками компетенций предложенного списка или перефразируют предлагаемые компетенции;
- ряд компетенций общего характера получили низкие оценки в виду того, что работодатели обращают больше внимания на профессиональный уровень подготовки.

Таким образом, после анкетирования был сформирован окончательный список профессиональных (по видам деятельности) компетенций бакалавра и магистра, который включен в проект ФГОС ВПО по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

*K. N. Bolsunov, V. A. Kusemkin, E. P. Popchitelev*

*THE COMPETENCE-ORIENTED MODEL AS A TOOL FOR QUALITY CHARACTERISTICS OF GRADUATES IN THE DIRECTION OF PREPARATION OF BIOTECHNICAL SYSTEMS AND TECHNOLOGY*

*Ways of perfection of the education programs, the concepts of a fundamental part of medico-technical training connected to introduction, definition of a sequence of studying of subject matters and are considered by development of methodical work.*

**The competence-oriented model, the two-level system of higher education, biohechnical systems**



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

УДК: 658.51, 658.562

*О. В. Кананухина, И. В. Степанов*

## **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ИПИ-ТЕХНОЛОГИЙ**

*Рассмотрены вопросы управления качеством на различных этапах жизненного цикла изделий.*

### **Жизненный цикл изделия, управление качеством, ИПИ-технологии**

**Структура жизненного цикла.** Под термином «жизненный цикл изделия» понимают промежуток времени, охватывающий все этапы существования изделия, начиная от замысла его создания и заканчивая снятием изделия с эксплуатации (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288). При этом под термином «изделие» может пониматься материальный предмет, вещество, услуга, программный продукт или некоторая система (ГОСТ Р ИСО 10303-1).

Анализ различных подходов к описанию и структуре жизненного цикла позволяет сформулировать базовую модель жизненного цикла (ЖЦ) изделия, которая включает в себя пять основных стадий [1]:

1. *Изыскания или предпроектные исследования* – работы по обоснованию необходимости (возможности) создания или модернизации изделия, маркетинговые исследования и формирование задания на проектирование.

2. *Проектирование* изделия – совокупность работ, включающая научные исследования, направленные на формирование облика изделия, а также эскизное, техническое и рабочее проектирование.

3. *Производство* изделия – работы по технологической подготовке производства, изготовлению (опытное и серийное производство) и испытанию изделия (заводские, сертификационные, приемо-сдаточные, государственные испытания).

4. *Эксплуатация* изделия – работы по вводу изделия в эксплуатацию (монтаж, наладка и настройка изделия), использованию изделия по назначению, а также по обслуживанию, ремонту и хранению изделия.

5. *Утилизация* изделия – работы по прекращению эксплуатации изделия, его демонтаж и собственно утилизация изделия.

В случае, когда под изделием понимается услуга или деятельность, не имеющая материального результата, структура ЖЦ становится иной и включает только стадии изысканий, проектирования и предоставления услуги.

Специфической стадией ЖЦ изделия является его продажа. В зависимости от вида изделия и особенностей его создания место этой стадии в жизненном цикле изделия может быть различным. Для сложных систем характерной является ситуация проектирования или производства изделия под заказ, что предполагает покупку изделия до его фактического появления на свет. Для изделий массового производства стадия продажи, как правило, следует за стадией производства и включает в себя продвижение изделия на рынок (маркетинг), хранение и продажу его потребителю.

ГОСТ Р ИСО 9000–2008 определяет понятие «качество» как степень соответствия совокупности присущих характеристик (отличительных свойств) требованиям. Это означает, что при управлении качеством на различных стадиях жизненного цикла необходимо иметь достоверную и актуальную информацию обо всех предъявляемых требованиях, сведения о принятых технических и управленческих решениях, а также данные о достигнутых результатах и выявленных несоответствиях (проблемах).

При этом управление качеством ЖЦ изделий представляет собой сложную задачу, при решении которой необходимо хранить и обрабатывать большие массивы информации, а также использовать различные методы и инструменты менеджмента качества.

**Концепция информационной поддержки ЖЦ изделий.** Многообразие процессов ЖЦ, необходимость обеспечения их эффективности и качества требуют активного информационного взаимодействия субъектов (организаций), участвующих в поддержке ЖЦ. Одной из современных концепций, позволяющих организовать такое взаимодействие, является концепция Единого информационного пространства (ЕИП), в основе которой лежит использование открытых архитектур, международных стандартов, совместных хранилищ данных и апробированных программно-технических средств.

ЕИП обеспечивает возможность взаимодействия проектных организаций, производственных предприятий, поставщиков, организаций сервиса и конечного потребителя на всех стадиях ЖЦ [1], [2].

Данный подход характеризуется следующими принципиальными особенностями:

- решаются задачи интеграции всех процессов ЖЦ, а не отдельных процессов, связанных, в основном, с проектированием изделия, технологической подготовкой и обеспечением производства продукции;

- рамки решаемых задач выходят за границы отдельного предприятия (проектанта, изготовителя, эксплуатационника, ремонтника и др.);

- участники информационного взаимодействия могут быть территориально удалены друг от друга;

- совместно используемая информация очень разнородна: конструкторско-технологические, производственные данные; коммерческая, юридическая, эксплуатационная информация и т. д.;

- для обеспечения возможности совместного использования информации способы и технологии ее представления и корректной интерпретации должны быть унифицированы в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов;

– взаимодействие между участниками ЖЦ изделий выполняется посредством электронного обмена данными. Основной средой информационного взаимодействия становятся компьютерные сети передачи данных.

ЕИП предполагает использование открытых архитектур, международных стандартов и апробированных коммерческих продуктов обмена данными [1], [3]. Стандартизации прежде всего подлежат форматы представления данных, методы доступа к данным и их корректной интерпретации.

Инструментом для формирования ЕИП и стандартизации процедур представления и обработки информации о ЖЦ изделия стали технологии CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support), которые в РФ получили обобщенное наименование ИПИ-технологии. Термин ИПИ означает непрерывную информационную поддержку поставок и всех процессов ЖЦ изделия.

ЕИП реализуется как совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем участникам ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено.

Обобщенная модель управления ЖЦ изделий на основе ЕИП приведена на рисунке.

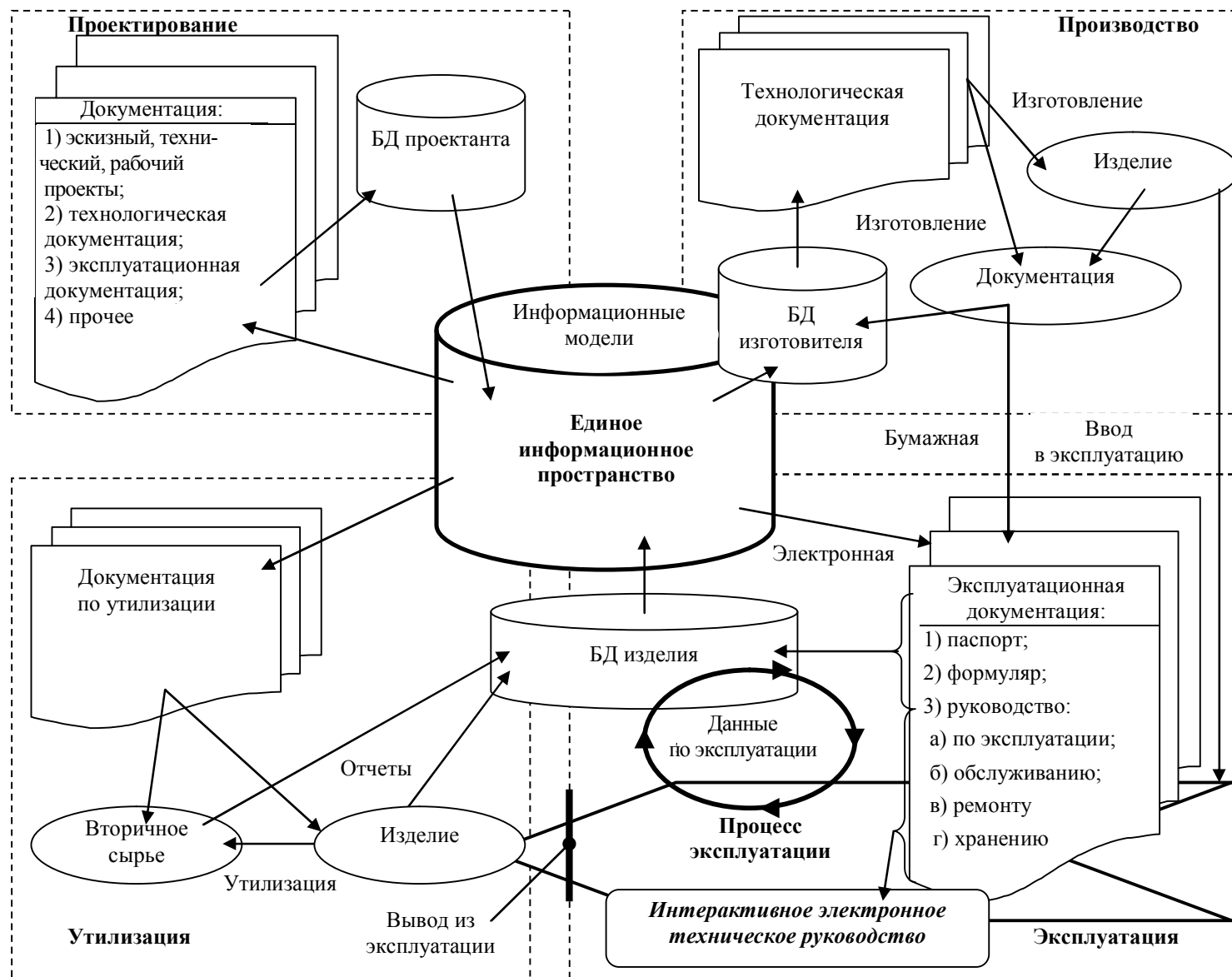
В ЕИП действует единая система правил представления, хранения и организации доступа к информации, построенная на основе международных стандартов ISO 10303 (STEP) [3], ISO 13584 (Part Library), ISO 15531 (MANDATE) и их российских аналогов [1].

**Управление качеством проектирования.** Ранние стадии жизненного цикла изделия (предпроектные исследования и проектирование) являются базовыми стадиями, на которых закладывается качество изделия и всех связанных с ним процессов ЖЦ (производство, эксплуатация и утилизация).

На стадии предпроектных исследований ключевой аспект качества – это выявление, оценка и корректная интерпретация требований к будущему изделию, предъявляемых потенциальными потребителями и иными заинтересованными сторонами. Основным итогом предпроектных исследований является задание на проведение проектных работ (комплекс исследовательских и опытно-конструкторских работ), целью которых является создание изделия с заданными характеристиками качества, надежности, готовности и безопасности.

Проектирование – процесс создания проекта изделия, который заключается в разработке проектной, конструкторской, технологической, эксплуатационной и другой технической документации, предназначенной для изготовления, эксплуатации и утилизации изделия. ГОСТ Р ИСО 10006–2005 определяет проектирование как уникальный процесс, состоящий из совокупности скоординированной и управляемой деятельности с начальной и конечной датами, предпринятый для достижения цели, соответствующей конкретным требованиям, включая ограничения сроков, стоимости и ресурсов.

Требования к качеству проектирования определяются в задании на проектирование (ТЗ), которое представляет собой комплексную норму качества. При формулировании требований к изделию учитываются не только требования потребителей, но и комплекс требований к надежности, безопасности, условиям производства, хранения, применения и утилизации, устанавливаемых соответствующими нормативными документами: государственными стандартами, техническими регламентами, техническими условиями, правилами безопасности, строительными и санитарными нормами и правилами.



Характеристики, используемые для оценки качества проектирования, можно условно разделить на четыре основные группы:

1. Характеристики соответствия сроков выполнения проекта.
2. Характеристики соответствия результатов проекта установленным требованиям.
3. Характеристики качества проектной, технологической и эксплуатационной документации.
4. Характеристики для оценки адекватности и эффективности разработанных программ и методик испытаний изделия.

Качество проектирования изделий обеспечивается, в первую очередь, за счет применения современных информационных технологий проектирования: систем автоматизации расчетов и анализа (CAE) и систем автоматизированного проектирования (CAD).

На этапе предпроектных исследований и проектирования в ЕИП формируется база данных, содержащая сведения о результатах логистического анализа применительно к проектируемому изделию, а также формируется совокупность данных, используемых для управления всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия (PDM – Product Data Management).

PDM-технология предназначена для управления всеми данными об изделии и процессами ЖЦ изделия, создающими и использующими эти данные. Данные об изделии состоят из идентификационных данных (например, данных о составе или конфигурации изделия) и данных, которые используются для описания изделия, процессов его проектирования, производства или эксплуатации.

Применение PDM-технологий обеспечивает решение следующих задач:

- создание ЕИП для всех участников ЖЦ изделия;
- автоматизация управления конфигурацией изделия;
- создание электронного архива чертежей и прочей технической документации.

База данных PDM является ядром ЕИП и включает следующие разделы:

- идентификационные и классификационные данные об изделии и его компонентах;
- структура и состав изделия, версии и варианты состава и структуры;
- геометрические модели, чертежи и другие документы в различных форматах;
- данные о материалах, стандартных деталях и комплектующих элементах;
- данные о технологии изделия и его компонентов, об оснастке, инструменте и т. д.

Важным инструментом повышения качества проектирования является параллельное проектирование или параллельный инжиниринг, в основе которого лежит переход к электронному моделированию изделий, что позволяет существенно сократить сроки проектирования изделия, а также ускорить процессы технологической подготовки производства и сократить сроки постановки новой продукции на производство.

В настоящее время технология параллельного проектирования вошла в качестве стандарта в коммерческую практику разработки наукоемких изделий и поддерживается практически во всех системах CAD.

Кроме того, параллельное проектирование создает возможность участия в процессе проектирования и подготовки выпуска изделия заказчика, а также представителей контрольных и надзирающих органов. Это, в конечном итоге, существенно влияет на повышение качества проектирования и качества изделия в целом.

**Управление качеством производства.** Ключевыми характеристиками качества производства являются: сроки освоения производства изделия; затраты на производство; технологичность изделия; качество комплектующих элементов; качество производства (изготовления) изделия; качество упаковки, хранения и транспортировки изделия.

Качество производства определяется действием многих случайных, местных и субъективных факторов. Для предупреждения влияния этих факторов на уровень качества необходимо внедрение на предприятии системы управления качеством, обеспечивающей реализацию скоординированных воздействий на процесс производства продукта с целью поддержания соответствующего уровня качества.

Обеспечение качества производства достигается за счет реализации концепции автоматизированного интегрированного производства (АИП), которая предполагает комплексное применение методов планирования, подготовки и организации производства, направленных на повышение эффективности предприятия, и базируется на полном электронном описании изделий. Планирование производства включает в себя все уровни планирования, в том числе: долгосрочное планирование; планирование производства; планирование сбыта изделия. Организация производства включает в себя совокупность процедур, охватывающих производство, контроль и хранение готовой продукции.

Реализация концепции АИП обеспечивается внедрением на предприятии соответствующих информационных технологий: систем автоматизированной технологической подготовки производства (САМ); систем управления данными об изделии (PDM); систем планирования и управления предприятием (ERP); систем управления цепочками поставок (SCM); систем управления производственными процессами (SCADA и MES).

На этапе изготовления база данных PDM дополняется фактическими данными о конкретном изделии, в том числе: данными о конфигурации и составе изделия; идентификационными данными изделия и его элементов; характеристиками надежности, безопасности и готовности изделия; документами, подтверждающими качество изготовления и приемку изделия (паспорт изделия, гарантийный талон и др).

**Управление качеством эксплуатации.** Поддержка процессов эксплуатации сложных систем (СС) возлагается на специальный класс информационно-управляющих систем – системы управления эксплуатацией (СУЭ), которые соединяют функции систем автоматического управления, диагностирования и контроля, управления техническим обслуживанием и ремонтом [1], [2].

Построение СУЭ основывается на концепции сквозной информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий. СУЭ должна обеспечивать такую эксплуатацию СС, которая позволяет исключить отказ системы в любой момент времени за счет рациональной организации технического обслуживания и ремонта. Для этого СУЭ должна обеспечивать решение следующих задач [1], [2]:

- комплексный анализ технического состояния, оценка готовности СС, анализ гипотез о направлении эволюции состояния элементов СС, принятие решений по использованию СС в штатных режимах (PDM);

- решение задач материально-технического обеспечения, оценка темпов расхода ресурсов и прогнозирование потребностей в ресурсах на период планирования (SCM);

- планирование и контроль за выполнением работ по техническому обслуживанию и ремонту, обеспечение внеплановых ремонтно-восстановительных работ (S&SM);
- автоматизация документооборота, сопровождающего процесс решения задач по управлению эксплуатацией (PDM, CRM, SCM, S&SM).

Основными показателями, используемыми для оценки качества эксплуатации изделия, являются: срок службы; показатели надежности; показатели сохраняемости и ремонтпригодность; готовность; совокупные затраты на эксплуатацию, обслуживание, ремонт и модернизацию; показатели безопасности; показатели экологичности, а также показатели качества функционирования.

Для обеспечения эффективной эксплуатации СС необходимо использовать методы и инструменты интегрированной логистической поддержки, в том числе [1]:

1. Логистический анализ, выполняемый с целью обеспечения необходимого уровня надежности, ремонтпригодности и пригодности СС к поддержке.
2. Планирование технического обслуживания и ремонта СС.
3. Интегрированные процедуры поддержки материально-технического обеспечения, включая планирование поставок и управление заказами на поставку предметов снабжения.
4. Обеспечение персонала электронной эксплуатационной и ремонтной документацией.

Применение ИПИ-технологий при управлении ЖЦ изделий позволяет получить следующие потенциальные выгоды:

- повысить эффективность эксплуатации изделий за счет сокращения ошибок персонала при эксплуатации изделий, оптимального распределения имеющихся ресурсов и оптимальной организации процессов применения, обслуживания и ремонта;
- повысить эффективность системы снабжения и сократить время выполнения заказов за счет унификации процедур планирования и управления заказами, применения электронных технологий при взаимодействии заказчик/поставщик;
- повысить эксплуатационные характеристики изделий за счет оперативного предоставления проектанту и изготовителю сведений о результатах эксплуатации изделий;
- создать условия для повышения эффективности процессов проектирования, а также ускорения разработки и производства новых изделий на основе опыта эксплуатации аналогичных образцов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерное проектирование систем управления: Учеб. пособие / З. Я. Вирьянский, Ю. А. Губанов, И. В. Степанов, С. Н. Турусов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.
2. Дышкантюк А. В., Степанов И. В. Система информационной поддержки жизненного цикла сложных технологических комплексов // Междунар. конф. по мягким вычислениям «SCM–2006»: Сб. докл., Санкт-Петербург, 27–29 июня 2006 г. СПб., 2006. Т. 2. С. 78–82.
3. Никонов М. С., Степанов И. В. Информационная модель документации в системе информационной поддержки жизненного цикла изделий // Междунар. конф. по мягким вычислениям «SCM–2006»: Сб. докл., Санкт-Петербург, 27–29 июня 2006 г. СПб., 2006. Т. 2. С. 83–92.

*O. V. Kananuhina, I. V. Stepanov*

*QUALITY MANAGEMENT LIFECYCLE PRODUCTS BASED ON CALS-TECHNOLOGIES*

*Quality management issues at various stages of the life cycle.*

**Life cycle of products, quality management, CALS-technology**





УДК 189:002

*А. А. Луговой, О. А. Луговая*

## ГЛОБАЛИЗМ И ПРОБЛЕМЫ КУЛЬТУРЫ

*Рассматриваются факторы глобализации, повлиявшие на становление отечественной культуры. В частности, выясняются особенности воздействия информационных изменений на человека.*

### Глобализм, культура, информационное пространство

Одним из важных элементов глобализирующего мира является информационное пространство. В связи с этим человек культуры в современном обществе находится в эпицентре четырех основных информационных потоков: новационного – приобщающего потребителя к новым знаниям; ориентационного – помогающего человеку ориентироваться в системе природного и социального пространства, формирующим его экзистенциальные и ценностные ориентиры, задающего критерии и приоритеты выбора; стимуляционного – воздействующего на мотивационные основания активности людей; корреляционного – уточняющего или обновляющего параметры первых трех информационных потоков. Культурную специфику эти потоки приобретают тогда, когда они регулируют представления людей об уровне социальной приемлемости тех или иных способов осуществления любого вида деятельности, направленных на обеспечение социального взаимодействия людей. Отсюда возрастает роль информационных потоков в формировании и реализации личностных качеств современного человека. Эта ситуация наравне с позитивными моментами вызывает определенные опасения у исследователей культуры. Так, новые информационные технологии могут способствовать стандартизации «культурной компетентности» человека, его социализации и инкультурации. Создать новую, еще не существовавшую в истории культуры эффективную систему управления и манипулирования его сознанием, интересами, потребностями, ценностными ориентациями, поведенческими стереотипами (на сознательном и бессознательном уровнях) и т. п., что, в конечном счете, может быть сведено к проявлению общей идеологической и социальной лояльности к любому существующему порядку (режиму).

Более того, если говорить об индивидуальности как об особой ценности культуры, то она может быть утрачена или сведена к «среднему», «массовому человеку» как норме, удобной для манипулирования в интересах правящей элиты, клана, политической партии, владеющих средствами информации. Положение осложняется и тем, что современный человек,

даже будучи образованным, остается узким специалистом в какой-то одной области и нуждается в целой системе посредников (трансляторов, проводников, толкователей, популяризаторов), которые будут его вести по безбрежным информационным потокам. Они будут заниматься адаптацией транслируемой информации с языка высокоспециализированных областей культуры на уровень обыденного понимания неподготовленных людей.

Таким образом, быстро глобализирующийся мир выдвигает ряд требований к современному человеку. Он вынужден: 1) знать и владеть современными цивилизованными формами коммуникации; 2) быть толерантным и открытым для общения с представителями других культур; 3) быть готовым к интенсивным межкультурным контактам на любых уровнях; 4) уметь отделять фундаментальные ценности от прагматических стандартов; 5) помнить, что деструкция некоторых устоявшихся культурных стереотипов – это не обязательно «гибель» национальной культуры [1].

Культурная коммуникация не ограничивается передачей и приемом информации. Она включает нечто большее, а именно взаимодействие различных культурных архетипов.

В состав любого архетипа входят: совокупность когнитивных и ценностных установок, также ряд базисных поведенческих реакций, характерных для представителей того или иного народа. Культурные архетипы формируются в процессе исторического развития нации и функционируют как «коллективное бессознательное». По своей мощи они подобны силе инстинктов, которые реализуются вопреки здравому смыслу и воле.

Культурные установки, сформированные на основе архетипа, оказывают влияние на формирование тех или иных символических образов, мифологических, сказочных сюжетов и др., присущих данной нации. В каком-то смысле, архетипы представляют условия понимания и восприятия, предшествующие любым логическим схемам.

По Юнгу, роль культурного архетипа состоит в том, чтобы помочь культуре постоянно воспроизводить свое прошлое, поддерживать связь со своими истоками в настоящем. Это знание необходимо прежде всего для понимания глубинных основ собственной духовной культуры, что немаловажно в эпоху глобализации. Культуры, утратившие свои архетипы, обречены на гибель, поскольку они не могут придать глубинный смысл настоящему.

Кроме того, без осознания архетипа, коммуникативный процесс между представителями различных культур может протекать искаженно, вплоть до утраты некоторых смыслов культурного сообщения. В диалоге архетипов становятся понятны не только знаковые системы коммуникации, но и «язык умолчания» как «нулевая» форма коммуникации.

Таким образом, знание того или иного культурного архетипа как элемента коммуникативного процесса способствует полноте понимания.

Глобализм имеет различные аспекты своего проявления – экономические, политические, правовые, культурные. В экономической сфере результаты этого процесса, как правило, оцениваются в литературе положительно. Это глобальное производство товаров и услуг; новые формы организации труда; обмен технологиями и информацией; мобильность трудовых ресурсов; перенос финансовых и ресурсных потоков в любой регион нашей планеты и др. [2].

Если представить процесс глобализации как объективный и необратимый процесс развития современного мира, то необходимо исследовать последствия этого процесса в сфере культуры. Важными показателями здесь выступают новые информационные технологии.

Создаются мировые коммуникационные сети. Резко усиливаются межкультурные контакты и взаимодействие между народами на всех уровнях. Усиливается интеграция народов, унификация культуры труда и производства, отдыха и досуга. В этой связи можно сказать, что феномен глобализма неоднозначен и противоречив. Так, не очень понятно, что будет происходить с национальными культурами. Одни исследователи считают, что в процессе тотальной унифицированности возникнет процесс безудержного подражания и эпитонства, размывание традиционных культурных и языковых норм, ценностей, что в конечном счете приведет к утрате культурной самобытности.

Другая часть авторов, анализируя глобализм и его влияние на сферу культуры, предлагает отстраниться от эмоциональных оценок и перейти к изучению культур, сумевших синтезировать «индустриальные блага» и культурную уникальность. Таким примером может выступить Япония, Бразилия, Аргентина и некоторые другие страны.

Динамика подобного синтеза в русской культуре, а также формы и методы внедрения будут зависеть от культурного выбора национальной элиты. Именно она будет выбирать меру стандартизации ценностей и культур на уровне общества. Что касается личного уровня, то выбор осуществляется самой личностью. В этом случае традиционные культурные формы сохраняют для человека первостепенное значение, продолжая определять его культурную идентичность на уровне повседневности, а заимствованные нормы и стандарты будут восприниматься как прагматические, ориентирующие его поведение в рамках определенного типа отношений, ситуаций. Например, коммуникации в бизнесе, области материального потребления.

Если обратиться к человеку постсоветского пространства, то он испытывает культурный и мировоззренческий шок. Во многом это связано с тем, что ментальные структуры русской души входят в явные противоречия с проводимыми в стране реформами и с идеями глобализма.

Ядро русской духовности, сформированное православной верой и классической литературой, обозначило русскому человеку нормативность – каким он должен быть; призывало к трудной работе над собственным совершенствованием; нацеливало человека на экзистенциальные переживания и поиск ответов на традиционно-русские вопросы (как жить? для чего жить? как жить по совести? и т. п.). Соборность, социальная справедливость, совестливость, патриотизм, антибуржуазность – главные составляющие русского духа. Они позволяют человеку остро чувствовать границу добра и зла, истины и лжи, добродетели и безразличия [3].

Разрушение социальной и культурной среды, сложившейся в советский период; криминализация всех сфер жизни; обвальное обнищание широких слоев населения – реальность, в которой вынужден жить российский человек. К сожалению, человек стал заложником реформ, проводимых в постсоветский период в России. В ходе преобразований в обществе стали доминировать жесткие рыночные отношения; человек, его культура, личные качества отошли на второй план.

В духовной культуре советского периода обличались и представлялись как антиценности идеалы «мещанства», стремление к накопительству любой ценой, корысть, прагматизм в человеческих отношениях и т. д. И наоборот, несколько поколений людей воспитывались на идеалах честной бедности, воспевались богатство души, коллективизм, приоритет общественного над индивидуальным, патриотизм, уважение к своей Родине и т. д. Во многом эти ценности развивались в советский период на основе норм, традиционных для че-

ловека отечественной культуры. Рыночные же формы хозяйствования требуют от человека других ценностных ориентиров, к которым советские люди не подготовлены, более того – новые ценности вошли в противоречие с традиционными. В результате проводимых реформ высокая квалификация большинства людей творческого и интеллектуального труда оказалась невостребованной. Вторжение рыночных отношений в сферу культуры привело к изменению приоритетов в сторону утилитарно-развлекательного характера. Культурные формы, которым не удалось придать коммерческий характер, влчат жалкое существование из-за отсутствия должного финансирования со стороны государства.

Подчеркнем, что культура – «озоновый слой» любого общества, среда, в которой существует, реализуется и воспитывается человек, – оставлена один на один с рыночной стихией. Как результат, в обществе возобладал «реализм обыденной жизни», связанный для большинства населения с проблемами физического выживания, поэтому говорить об идеалах высокой духовности в российском обществе не приходится.

В начале 90-х гг. в отечественную культуру были возвращены исключенные по идеологическим причинам произведения зарубежных и русских мыслителей. Однако за прошедший период не выработано общенациональных идей, направленных на объединение людей постсоветской культуры, дающих импульс к дальнейшему развитию духовной культуры современного российского общества.

Не способствовала возрастанию духовности в обществе и реабилитация православной религии. Выяснилось, что наш человек готов принять церковь как необходимый социальный институт, но подчинить свою жизнь православной догме – не готов. Православие не играет той роли в создании «экономического человека», какую для европейца сыграл протестантизм.

Идеология глобализма предлагает русскому человеку отказаться от традиционной для него нормативности нравственного самосовершенствования, как чего-то отжившего, устаревшего, мешающего человеку жить в удовольствии. Ему предлагается иная цель: улучшать не себя, а лишь условия своего существования; стать на путь бесконечного удовлетворения своих гедонистических стремлений и желаний. Согласно такому подходу, экзистенциальные «русские вопросы» подменяются и ограничиваются понятием «качество жизни». В этом случае тотальный гедонизм не призывает «стать духовнее», «нравственнее», «гуманнее», а изначально объявляет человека самодостаточным и свободным от любых внутренних ограничений. При этом оговариваясь, что для всеобщего счастья не хватит ресурсов и выживут избранные. Любые нормы духовности глобализм связывает исключительно с авторитаризмом и тоталитаризмом.

Таким образом, культурная диффузия, т. е. стихийное, никем не контролируемое заимствование культурных ценностей, имеет как позитивные, так и негативные аспекты. С одной стороны, она позволяет народам больше общаться между собой и узнавать друг о друге. Общение и познание способствуют сближению народов. С другой стороны, чрезмерно активное общение и заимствование опасно потерей культурной самобытности. Распространение одинаковых культурных образцов по всему миру, открытость границ для культурного влияния и расширяющееся культурное общение заставили ученых говорить о процессе глобализации современной культуры.

Глобализация описывает ускорение интеграции наций в мировую систему в связи с развитием современных транспортных средств и экономических связей, благодаря воздействию на людей средств массовой информации. Она способствует расширению культурных контактов между народами и миграции людей.

Глобализация имеет позитивные и негативные стороны. Негативные моменты кроются в возможности утраты культурной самобытности. Происходит это в результате аккультурации и ассимиляции.

Сохранение культурного своеобразия в современном обществе стало оцениваться как высшее достижение цивилизации. Выращения «социальная политика» и «культурная политика» для большинства людей цивилизованных стран давно стали привычными. Почему для цивилизованных? Потому что целенаправленное, основанное на взвешенной концепции управление социальной и культурной сферами общества является отличительным признаком цивилизованной страны. Привычными они являются приблизительно с середины XX в. Именно тогда начался плановый подход к сохранению культурного генофонда всего человечества и каждой отдельной страны в рамках ООН.

Культурная политика рассматривается как система практических мероприятий, финансируемых, регулируемых, осуществляемых государством, наряду с частными лицами, направленных на сохранение, развитие и приумножение культурного наследия нации. Культурная политика во многих странах сегодня переориентируется с модели ассимиляции, в которой меньшинства отказываются от своих культурных традиций и ценностей, заменяя их теми традициями, которых придерживается большинство, на мультикультурную модель, где индивид социализируется и к доминирующей, и к этнической культурам. Так, в США миллионы людей разговаривают на английском и на своем, этническом, языках. Отмечают общенациональные и этнические праздники, изучают историю страны и своей нации.

Можно констатировать, что положение человека русской культуры остается трагичным, сложным и противоречивым. Если он откажется от духовной нормативности, которая органична русскому духу, то возникает опасность превратить русский культурный ландшафт в худшие образцы масскульта, а русского человека – в маргинала в своей собственной стране.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бек У. Что такое глобализация? М.: Прогресс-Традиция, 2001.
2. Бауман З. Глобализация: последствия для человека и общества. М.: Весь Мир, 2004.
3. Щученко В. А. Вечное настоящее культуры. Теоретические проблемы историко культурного процесса / СПбГТУ. СПб., 2001.

*A. A. Lugovoy, O. A. Lugovaya*

### *GLOBALISM AND PROBLEMS OF CULTURE*

*Factors, which had influenced on formation of domestic culture are considered. In particular, the peculiarities of effect on informatic changing of the man are elucidated.*

**Globalizm, culture, informatic spases**



УДК 621 (095)

*Е. В. Красникова*

## **ДИССЕРТАЦИЯ П. И. ИЖЕВСКОГО «К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНИЗМ» В СВЕТЕ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

*Рассматривается одна из первых работ в России по изучению влияния электромагнитных полей на организм человека, выполненная другом и родственником А. С. Попова – петербургским врачом П. И. Ижевским. В процессе выполнения работы большую помощь исследователю оказывал А. С. Попов.*

**П. И. Ижевский, А. С. Попов, Р. А. Попова, Военно-Медицинская Академия, электромагнитные волны**

К 1900 г. теория электромагнитных волн имела большую доказательную базу. Изучение электричества началось еще в глубокой древности, и люди уже тогда стремились применить его в лечебных целях (в частности, использовали скаута). Но наиболее интенсивно процесс использования электрических явлений для медицинских целей начался с момента изобретения американским ученым Ф. Франклином электрической машины. Продолжалось и научное обоснование учения об электричестве. В конце XVIII в. сначала Л. Гальвани, а затем и А. Вольта доказали, что при соприкосновении тела животного с железом металлические и жидкие тела начинают активно взаимодействовать между собой. На основании этого открытия А. Вольта создал прибор, назвав его «вольтов столб». С помощью прибора появилась возможность при тесном контакте разнородных тел получать электрический ток. С этого времени начала создаваться научная дисциплина, изучающая теорию электричества, и одновременно с этим при лечении некоторых болезней стали использовать гальванизацию. Ученые-физики продолжали изучать электрический ток, полученный А. Вольта. Независимо друг от друга итальянский физик Дж. Романьези и датский ученый Х. К. Эрстед открыли (1820) магнитоэлектрические явления, установив закон о влиянии тока на магнитную стрелку.

В 1831 г. английский физик М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, а в 1873 г. английский ученый-физик Дж. К. Максвелл в трактате «Об электромагнетизме» математически обосновал существование электромагнитных волн, доказав, что невидимые электромагнитные волны распространяются со скоростью света. В 1887 г.

немецкий ученый-физик Г. Герц исследовал и установил способы возбуждения электрических колебаний и электромагнитных волн, доказав их практическую природу. «Блестящее подтверждение опытами Г. Герца математических выводов из теории М. Фарадея обратило внимание на себя всего ученого мира».

Открытие М. Фарадея дало толчок и новой отрасли прикладных наук – электротехнике. Начинают появляться портативные, почти не требующие ухода за собой аппараты для получения индуктивных токов, они приспособляются для использования в медицинской практике, в частности в электротерапии и для физиологических целей. В это же время разрабатываются приборы для исследования функций нервно-мышечной системы. Впоследствии конструкторы совместно с медицинскими специалистами создали электрические приборы для диагностических целей.

В 1880-е гг. электрическая энергия стала широко применяться и в практических целях, в т. ч. и для освещения центральных улиц С.-Петербурга, и к этому времени уже было выявлено отрицательное влияние электрического тока на организм человека. И это воздействие тока заставило более внимательно отнестись к исследованию влияния физиологического действия электричества на организм человека.

Одним из первых на эту проблему обратил внимание французский ученый Ж. А. д'Арсонваль в своей работе «О физиологическом воздействии на различные состояния организма в общем и переменного тока в частности». Свой доклад он представил на заседании Французского физического общества в апреле 1892 г. В России одним из первых исследователей в этой области медицины был практикующий врач, впоследствии профессор Военно-Медицинской Академии Павел Иванович Ижевский. Интерес к этой проблеме проявлялся у П. И. Ижевского постепенно. В годы учебы в Пермской духовной семинарии Павел заинтересовался физикой. Общая увлеченность физикой и математикой сблизил его с Александром Поповым, с которым они вместе учились в семинарии. Павел и Александр подружились. После окончания семинарии они поступили на физико-математический факультет С.-Петербургского университета. Уже на 1-м курсе П. Ижевский понял, что медицина интересует его больше, чем физика. В 1878 г. он перешел на 1-й курс Императорской Медико-Хирургической Академии, закончив которую (1884), получил звание лекаря. В дальнейшем научная работа П. Ижевского была связана с применением электричества для лечения различных заболеваний у человека. Важным событием в физике стало подтверждение теории Фарадея–Максвелла экспериментальными работами Г. Герца (1887–1888). Многие ученые повторяли опыты Герца. Цикл лекций о результатах работ Г. Герца с демонстрацией его знаменитых опытов прочитал в Кронштадте и в Морском музее в здании Адмиралтейства в Петербурге А. С. Попов (1890), преподававший (1883–1901) в Минном офицерском классе в Кронштадте. П. И. Ижевского увлекла идея использования электромагнитных волн для медицинских целей. Результатом его работы стало создание установки для генерации электромагнитного поля. На этой установке были применены новые методы и проведены первые эксперименты на организмах животных и человека. Проводить опыты Ижевскому помогал преподаватель Минного офицерского класса в Кронштадте, изобретатель радио А. С. Попов. К тому времени они стали не только друзьями, но и родственниками, так как П. Ижевский женился на младшей сестре А. С. Попова – Анне. Анна также помогала мужу в его работе, поскольку имела медицинское образование. Врачом была и Раиса Алексеевна – жена А. С. Попова. Кстати, изданную типограф-

ским способом диссертацию П. И. Ижевский подарил именно Раисе Алексеевне со словами благодарности за помощь в работе над диссертацией.

Для исследования воздействия индукционного и синусоидального переменного электрического тока на организм были созданы специальные приборы. Некоторые из них, в частности прибор, дававший синусоидальный ток, был сделан в Минном офицерском классе при активной поддержке А. С. Попова. Совместно с А. С. Поповым Ижевский в физическом кабинете Минного офицерского класса, которым заведовал А. С. Попов, сняли кривые синусоидального тока с прибора, предоставленного П. И. Ижевскому, с помощью зеркального гальванометра Ж. А. д'Арсонваля.

Самостоятельно в физическом кабинете Медицинской Академии П. И. Ижевский снимал кривые токов, получаемых от индукционного санного аппарата Дюбуа–Ричмонда от первичной и вторичной обмоток. Полученные данные о влиянии электрического тока на организм животного и человека, сведенные в таблицы, были продемонстрированы П. И. Ижевским на Пироговском съезде в С.-Петербурге (1893). В выводах доклада он отметил, что, сочетая различные приборы для получения колебательного разряда, такие как генератор тока, пять аккумуляторов, приводивших в действие небольшую спираль Э. Дюкрете и две Лейденские банки, можно быстрее возбудить ток, что и являлось главной целью показа. Спустя несколько лет (1898–1899), понимая необходимость более эффективного воздействия на организм человека, П. И. Ижевский решил применить современную на тот момент аппаратуру. В это время в физическом кабинете Императорской Военно-Медицинской Академии им был установлен стол с комбинацией из всех приборов, необходимых для получения колебательного разряда большой частоты и огромного напряжения. В его состав входило уже 10 различных приборов. Благодаря возможности изменять напряжение, ток и период колебательного разряда было выявлено, что при этом возникают три отдельно замкнутые цепи: первая – первичная; вторая – трансформированная; третья – сфера колебательного разряда. И оказалось, что только третья цепь может наиболее эффективно использоваться для исследовательских работ о влиянии на организм переменного тока.

Приборы для получения колебательного разряда были установлены ассистентами Н. Г. Егорова, зав. кафедрой физики Военно-Медицинской Академии И. А. Лебедевым и Н. Н. Георгиевским в одной из комнат физического кабинета Военно-Медицинской Академии. В результате предварительных исследований на животных было сделано заключение о положительном влиянии на их организм электрического тока, что дало возможность начать испытания на людях. Но прежде чем приступить к лечению больных, первоначально все опыты проводили на здоровых людях.

В начальной стадии у испытуемого измеряли пульс, частоту дыхания, кожную чувствительность и другие параметры, после чего его помещали в большой соленоид, подключенный к току. Сидя на стуле, не касаясь проводов с током, испытуемый подвергался воздействию электромагнитных волн. После прекращения сеанса все параметры замеряли снова и, таким образом, получали результаты воздействия электромагнитных волн на организм человека. Такой сеанс назывался «сеанс без изоляции», а при «сеансе с изоляцией» соленоид находился в соседней комнате. Испытуемый подвергался тем же исследованиям.



Сеансы продолжались в течение 5, 10 и 15 мин; более 15 мин было всего одно наблюдение. Комнатная температура составляла 16 °С, при первичном токе 5...6 А. Наблюдений сверх 15 мин не производилось, так как у некоторых людей появлялось физическое недомогание. В некоторых испытаниях наряду с большим соленоидом был применен малый, но ожидаемых положительных результатов это не дало.

Таким образом, было выяснено, что под влиянием переменного электромагнитного поля в человеческом организме развиваются токи. Эти опыты показали, что электромагнитные волны, воздействуя на организм человека, возбуждают ответную реакцию как во внутренних органах человека, так и на поверхности кожи. Такая реакция помогает нездоровым органам приходить в нормальное состояние.

Одновременно было установлено, что электромагнитные волны действуют по-разному на функции организма и поэтому при всяком способе лечения, в особенности при применении в практике электрического тока, существуют и противопоказания. Чтобы избежать нежелательных реакций, было сделано несколько опытов без применения тока в соленоиде с измерениями тех же параметров. Это позволило выяснить реакцию людей и выявить тех, которым применение электротерапии было противопоказано.

Все полученные данные заносились в сравнительные таблицы, в которых приводились сведения о порядковых номерах сеанса, дата сеанса, об измерениях до и после сеанса и другие показания. В результате своих исследований П. И. Ижевский пришел к выводу о том, что переменное электромагнитное поле вызывает непосредственное изменение в организме человека. Наибольший эффект наблюдается в периферических частях тела – коже, при этом происходят следующие изменения: 1) пульс делается реже и полнее; 2) дыхание замедляется и становится более глубоким; 3) кожное чувство пространства к ножкам Веберовского циркуля повышается; 4) электрокожная чувствительность к индукционному току повышается; 5) электромышечная сократимость от индукционного тока не изменяется и, таким образом, получается положительный эффект, что позволяет в дальнейшем применять ток при лечении заболеваний нервно-мышечной системы; 6) сила рук остается без изменений; 7) емкость легких незначительно понижается; 8) кровяное давление повышается.

По окончании сеанса, особенно в первые 5...10 мин, люди становятся более живыми и подвижными, а затем возвращаются в обычное состояние.

Завершив исследования, в заключении своей докторской диссертации П. И. Ижевский перечисляет использованные литературные источники и дает рекомендации по применению электрических приборов для профилактики и лечения различных заболеваний, в частности:

1. Применение рентгена для просвечивания организма и лечение токами большой частоты и высокого напряжения должны производиться под наблюдением врача.

2. Применение электричества с диагностическими или терапевтическими целями не должно быть допустимо без предварительных исследований сосудисто-нервной системы электризуемого.

3. Гидро-фарадизационные ванны (с использованием токов низкой частоты) оказывают благотворное влияние на страдающих общим упадком питания.

4. Способ электризации мышечных сокращений прерывистыми токами можно рекомендовать и в детской практике.

В своих выводах П. И. Ижевский высказывает мысли и о других общеукрепляющих процедурах, способствующих успешному лечению.

Диссертация П. И. Ижевского на соискание ученой степени доктора медицины была принята к рассмотрению, одобрена конференцией Императорской Военно-Медицинской Академии и защищена 20 апреля (3 мая) 1900 г.

*E. V. Krasnikova*

*THESES OF P. I. IZHEVSKY «ABOUT THE INFLUENCE OF ALTERNATING ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE HUMAN CONSTITUTION» IN THE VIEW OF DEVELOPMENT OF THE ELECTROMAGNETIC WAVES THEORY*

*Considered one of the first investigation in Russia about the influence of electromagnetic fields on the human constitution, realized by a friend and a relative of A. S. Popov – St.-Peterburg physician P. I. Izhevsky. During his investigations great help was rendered by A. S. Popov.*

**P. I. Izhevsky, A. S. Popov, R. A. Popova, Military-Medical Academy, electromagnetic waves**

## Сведения об авторах

*Болсунов Константин Николаевич*

Доцент кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-31-12. E-mail: bolsunov\_k@mail.ru.

*Бугаев Василий Леонидович*

Ассистент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 131-59-73. E-mail: bugaev-v@yandex.ru.

*Васильев Алексей Юрьевич*

Студент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 041-38-53. E-mail: orion@pochta.com.

*Гончаров Сергей Вадимович*

Аспирант кафедры электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ.

E-mail: rozenkreicer@rambler.ru.

*Дегтярев Сергей Андреевич*

Аспирант кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 425-26-78. E-mail: s.a.degtyarev@mail.ru.

*Каменская Екатерина Ивановна*

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 958-30-00. E-mail: kamenskaya\_k@mail.ru.

*Кананухина Ольга Владимировна*

Аспирант кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 909-62-67. E-mail: olgka@inbox.ru.

*Красникова Елена Викторовна*

Специалист экспозиционного отдела мемориального музея А. С. Попова.

Тел. (812) 234-59-00.

*Куземкин Владимир Анатольевич*

Доцент кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ, канд. мед. наук

Тел.: (812) 234-30-12. E-mail: vakuzemkin@mail.ru.

*Листов Михаил Владимирович*

Профессор кафедры биологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, д-р биолог. наук.

Тел: (812) 515-65-38.

*Луговая Ольга Анатольевна*

Доцент кафедры философии СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 364-09-40. E-mail: oa1ugovaya@rambler.ru.

*Луговой Александр Александрович*

Профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ, д-р филос. наук.

Тел. (812) 364-09-40, E-mail: ALugovoi@rambler.ru.

*Мамыкин Александр Иванович*

Заведующий кафедрой физики СПбГЭТУ, профессор.

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

*Миронов Сергей Эльмарович*

Доцент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-25-03, (812) 234-60-77. E-mail: semironovspb@yandex.ru.

*Опре Виктор Михайлович*

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

Тел.: (812) 395-20-19.

*Попечителей Евгений Парфирович*

Профессор кафедры биомедицинской электроники и охраны среды СПбГЭТУ, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук.

Тел.: +7 (921) 946-54-62. E-mail: eugeny\_p@mail.ru.

*Степанов Борис Георгиевич*

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

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

*Степанов Илья Владимирович*

Доцент кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 865-43-00. E-mail: ilstep@mail.ru.

*Цирухин Андрей Александрович*

Аспирант кафедры квантовых электронных приборов СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (905) 201-46-27. E-mail: andy-atlant@mail.ru.

## Правила представления рукописей авторами

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

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

*Сведения об авторах должны содержать:*

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

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

### *Правила оформления текста статьи*

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

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

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

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

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

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

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

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

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

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

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

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.

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

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

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

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

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

*Перечень основных тематических направлений журнала:*

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

*Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.*

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