



### СОДЕРЖАНИЕ

#### *Радиоэлектроника и телекоммуникации*

- Бабичев Д. А., Тупик В. А.** Моделирование формы фрактальной антенны на основе электромагнитного расчета характеристик микрополосковой прямоугольной антенны .....3
- Соколов С. С.** Адаптивная фильтрация интенсивности точечных процессов с двойной стохастичностью .....7

#### *Физика твердого тела и электроника*

- Устинов А. Б.** Электрическая и магнитная перестройка частотно-селективных характеристик пространственно-периодических феррит-сегнетоэлектрических структур .....13
- Сидоров А. И., Цирухин А. А.** Длиннопериодные волоконные решетки с полимерным покрытием: возможности применения в качестве датчиков и сенсоров .....17

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

- Казаков Б. Б., Ивановский С. А.** Слежение за объектами с использованием графических ускорителей .....23
- Жукова Е. Е., Крашенинникова Ю. В., Смирнова В. А.** Преобразование Лапласа двумерного распределения времен пребывания винеровского процесса .....27
- Сольнищев Р. И., Романов А. Е.** Подсистема САПР испытаний на основе динамического моделирующего комплекса и аппаратно-программного обеспечения National Instruments .....35

#### *Автоматизация и управление*

- Второв В. Б., Филатов Д. М.** Вопросы расчета параметров адаптивного регулятора в системе с эталонной моделью и сигнальной адаптацией .....39

#### *Электротехника*

- Козлова Л. П., Козлова О. А.** Роботы тоже могут видеть .....47

#### *Биотехнические системы в медицине и экологии*

- Рубашова Д. А.** Компьютерное моделирование и биомеханические исследования состояния структур глаза в норме и при патологии .....53

### 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»*)  
**Попечителев 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 государствен-  
ный

электротехнический  
университет "ЛЭТИ"  
им. В. И. Ульянова (Ленина)»  
197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-44-87  
Факс: (812) 346-27-58

**Свидетельство о регистрации**

ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.  
выдано Управлением Федеральной  
службы по надзору за соблюдением  
законодательства в сфере массовых  
коммуникаций и охране культурного  
наследия по Северо-Западному феде-  
ральному 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 18.11.09 г.

Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 10,25.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–150 экз.)

Заказ 97.

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

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

**Ваганов А. В., Захаров И. С.** Математическая модель  
взаимодействия оптического излучения с инфузориями  
в жидких дисперсных биологических средах..... 60

**Управление качеством, инновационный  
и антикризисный менеджмент**

**Кананухина О. В., Степанов И. В.** Применение теории  
управления рисками в менеджменте качества ..... 67

**Гуманитарные науки**

**Иванов А. Ф.** Онтология квантовых вычислений:  
предварительные замечания ..... 75

**История науки, образования и техники**

**Партала М. А.** Малоизвестная командировка  
профессора А. С. Попова ..... 83

**Сведения об авторах** ..... 89

**Правила представления рукописей авторами** ..... 91

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

**Подписка производится в любом почтовом отделении России**





УДК 520.628

Д. А. Бабичев, В. А. Туник

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ АНТЕННЫ

*Выполняется расчет микрополосковой антенны и проводится моделирование ее электромагнитного поля. Рассматривается влияние геометрических факторов на распределение поля. Устанавливается размерность фрактальной антенны. Приводятся результаты моделирования микрополосковой и фрактальной антенн.*

### Микрополосковая антенна, фрактальная антенна, фрактал

Развитие современных систем передачи информации на основе беспроводных технологий все больше нуждается в компактных приемопередающих антеннах. Одно из перспективных направлений конструирования малогабаритных антенн связано с использованием микрополосковых линий. Такие антенны, ко всему прочему, имеют малую массу и очень технологичны с точки зрения процессов их изготовления. Однако простое уменьшение размеров микрополосковых антенн дипольного типа влечет за собой уменьшение эффективности излучения антенны (уменьшение коэффициента полезного действия антенны – КПД) [1]. Одним из путей разрешения противоречия при конструировании микрополосковых антенн (минимизации массогабаритных параметров антенны при сохранении высокой эффективности излучения) является применение фрактальных антенн. Фрактальная антенна – это антенна, геометрия которой обладает свойством самоподобия.

При разработке небольшой фрактальной антенны важное значение имеет степень фрактальности такой структуры, или число уровней самоподобия элементов формы антенны. При увеличении числа фракталов антенны возрастает количество резонансных частот, повышается и верхняя резонансная частота. Геометрия фрактальных антенн играет значительную роль в определении основных характеристик устройства, так как различная компоновка ее элементов позволяет изменять диаграмму направленности, изменяет распределение электромагнитного поля в антенне, влияет на количество резонансных частот. В настоящее время известно большое количество фрактальных антенн, построенных на основе классических геометрических фракталов (салфетка Серпинского, снежинка Коха и др.) [2]. Ввиду

сложности геометрических форм фрактальных антенн возникают большие трудности при расчете электромагнитных характеристик таких структур. В связи с этим расчеты проводятся численными методами с использованием соответствующих программных средств. Обычно расчет ведется для конкретной фрактальной геометрической структуры антенны. В данной статье предпринята попытка нахождения формы фрактальной структуры антенны исходя из результатов численного расчета электродинамических характеристик микрополосковой антенны прямоугольной формы.

За основу берется микрополосковая антенна прямоугольной формы, рассчитанная на резонансную частоту 31,2 ГГц. Ниже приведен расчет параметров микрополосковой антенны.

Выбираем исходную частоту 31,2 ГГц, тогда длина волны в микрополоске

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon}} = 2,802 \text{ мм.}$$

Размер длины боковой стороны антенны обычно выбирается 0,4...0,5 длины волны в диэлектрике [3]:

$$\ell = 0,5\lambda = 1,401 \text{ мм.}$$

Учитывая необходимость согласования распространения волны в воздухе, длина резонатора должна быть несколько меньше  $\lambda/2$ , выбираем:

$$\ell = 1,3 \text{ мм.}$$

Простейшие расчеты показывают, что такая антенна должна быть выполнена размерами  $13\,000 \times 13\,000$  мкм. Для расчета распределения электромагнитного поля в антенне используется программа Microwave Office. Полученные результаты распределения поля представлены на рис. 1.

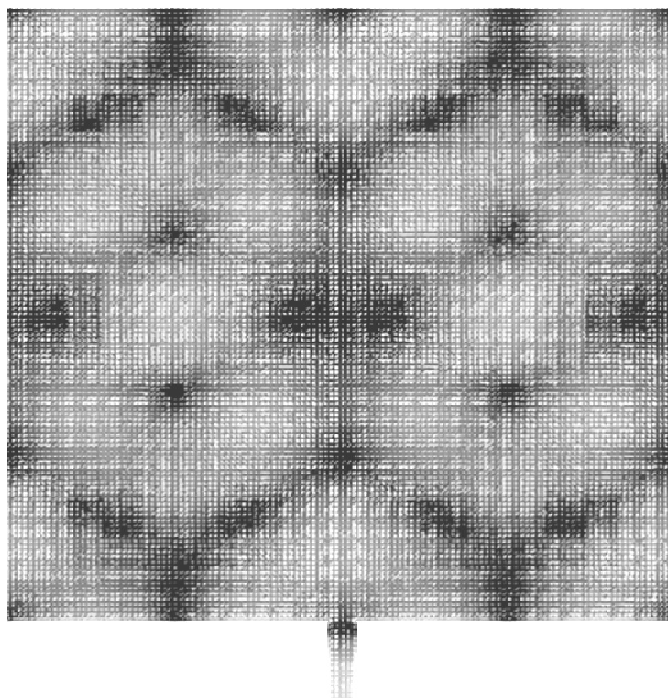
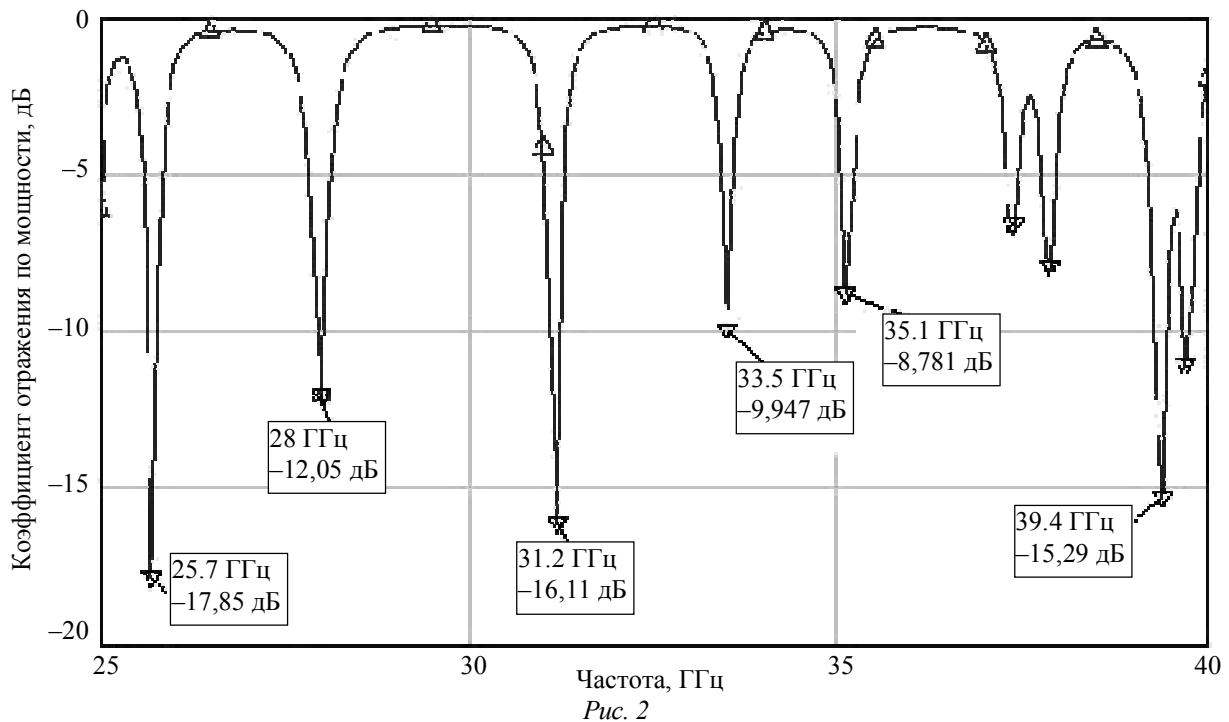


Рис. 1

Как видно из рисунка, картина поля симметрична и в данную антенну укладывается нечетное количество длин волн, что свидетельствует о правильности расчетов. На трех частотах антенна имеет явно выраженный резонанс (таблица).

$F$ , ГГц	$Db S_{11} $ , дБ	Полоса пропускания по уровню $Db S_{11}  = -12$ дБ, ГГц	Диапазон частот
25,7	- 17,85	0,11	25,65 ... 25,76
31,2	- 16,11	0,1	31,13 ... 31,23
39,4	- 15,29	0,14	39,3 ... 39,44

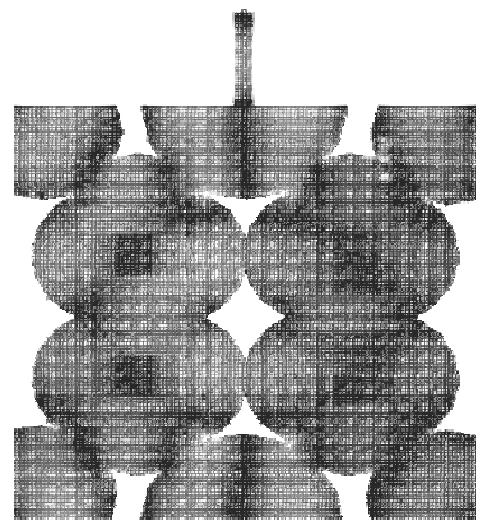
Уровень  $-12$  дБ выбран как уровень, применимый для практического использования антенны. Как видно из рис. 2, рассчитанная микрополосковая антенна является многодиапазонной, что может быть полезно во многих практических приложениях с использованием разнесения частот [4].



Светло-серые участки картины поля (рис. 1) соответствуют местам сосредоточения энергии, черные – отсутствия. Картина поля имеет повторяющуюся структуру и фрактальный характер. Исходя из этого можно сделать вывод, что длинная антенна с некоторыми потерями может быть разбита на элементы, соответствующие светло-серым участкам, а черные участки могут быть удалены как элементы, незначительно влияющие на работу антенны.

Светло-серые участки – это фракталы антенны, а вся антенна из подобных элементов – фрактальный массив. Для получения новых свойств антенны можно двигаться как по пути усложнения самих фракталов, так и по пути изменения их количества в массиве.

Из рис. 3 видно, что предположения, высказанные ранее, имеют практическое подтверждение.



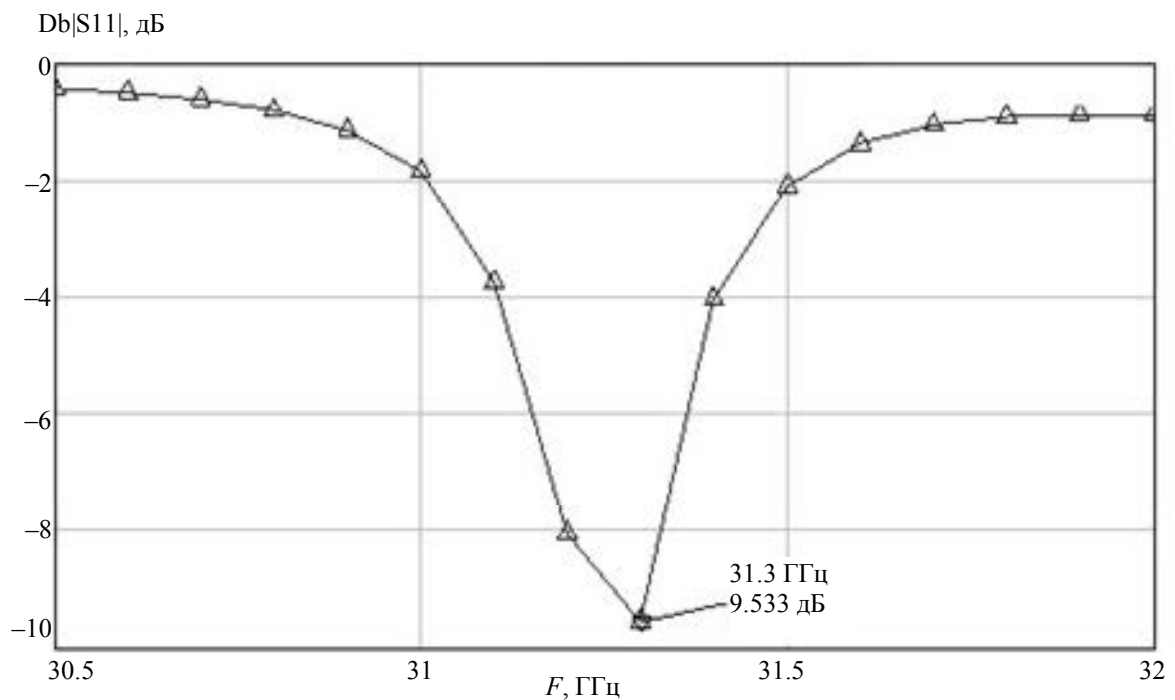


Рис. 4

Некоторое допущение заключается в том, что резонансная частота незначительно увеличивается (на 0,1 ГГц) и растет коэффициент отражения (рис. 4). С этим можно бороться, используя в качестве диэлектрика антенны сегнетоэлектрические материалы. Эти материалы изменяют свою диэлектрическую проницаемость в зависимости от приложенного напряжения, и, как следствие, будут изменяться характеристики антенны. Следует напомнить, что число фрактальных элементов влияет на резонансные частоты антенны. Увеличивая количество фракталов в антенне и изменяя число уровней фрактальности можно получить новые резонансные частоты. Это свойство фрактальных структур в совокупности с нелинейными свойствами сегнетоэлектриков можно использовать для разработки антенн с большим количеством резонансных частот и с достаточно точной их подстройкой на практике. А изменяя способ подведения мощности к передающей антенне (с помощью коаксиального зонда), можно изменять ее диаграмму направленности [5].

Свойства фрактальных антенн очень интересны и перспективны, такие структуры позволяют достичь хороших эксплуатационных характеристик приемопередающих устройств с обеспечением минимальных массогабаритных параметров антенн.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gianvittorio J. Fractal antennas: Design, Characterization, and Applications. Los Angeles: University of California, 2000.
2. Chang K., Hsieh Lung-Hwa. Microwave ring circuits and related structures. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
3. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986.
4. Collin R. E. Foundations for Microwave Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
5. Лось В. Ф. Микрополосковые и диэлектрические резонаторные антенны / Под ред. чл.-кор. РАН Л. Д. Бахрака. М.: Издательское предприятие редакции журнала «Радиотехника», 2002.

## MODELING FORM OF FRACTAL ANTENNA ON BASIS OF CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC FIELD MICROSTRIP RECTANGULAR ANTENNA

*It is executed calculation of microstrip antenna and is conducted modeling her electromagnetic field. The influence of geometric factor is considered on distribution the field. It is found out the dimensionality of the fractal antenna. The results are showed of the modeling microstrip and fractal antennas.*

Microstrip antenna, fractal antenna, fractal

УДК 621.38

С. С. Соколов

## АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТОЧЕЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С ДВОЙНОЙ СТОХАСТИЧНОСТЬЮ

*Обсуждаются структура, параметры и асимптотические свойства адаптивного КИХ-фильтра, формирующего оценки интенсивности точечных процессов с двойной стохастичностью (ТПДС), а также проблема моделирования генератора ТПДС и процедуры формирования текущей оценки интенсивности.*

Поток с двойной стохастичностью, фильтрация параметра потока, измеритель интенсивности, имитационное моделирование

Метод получения квазиоптимальных оценок интенсивности ТПДС основан, по существу, на скользящем суммировании «окном» постоянной длительности событий ТПДС, охватывая значительную часть его предыстории независимо от его статистики. Однако при возникновении резкой нестационарности (выброса) в поведении наблюдаемого ТПДС использование устаревших данных приводит к значительной расходимости оценок параметра ТПДС и его истинных значений. Появление таких выбросов связано, например, со вспышками на Солнце, и поэтому важна их регистрация и точная пространственно-временная привязка, возможная при использовании *адаптивного* фильтра с переменным объёмом памяти, формирующего текущие оценки интенсивности по выборкам переменной длины. Впервые идея такого адаптивного измерителя интенсивности была предложена в [1].

Функциональная схема адаптивного фильтра представлена на рис. 1. Основным её узлом является классический трансверсальный  $n$ -разрядный фильтр  $N$ ; адаптивные свойства ему были приданы «ортогонализацией» структуры за счёт введения дополнительной временной координаты  $M$  для варианты  $\delta$  – интервала наблюдения ТПДС. При формировании текущих оценок интенсивности происходит накопление числа событий ТПДС за некоторый интервал времени. От длительности интервала зависит значение *суммарной* относительной погрешности оценки  $\varepsilon_i = (N_i)^{-0.5} + M_i^{-1}$ , где  $N_i$  – число накопленных событий импульсного потока за интервал наблюдения  $\delta_i$ ;  $M_i$  – число минимальных

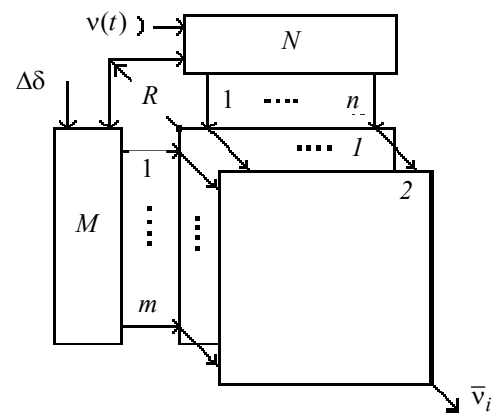


Рис. 1

интервалов наблюдения  $\Delta\delta$  ( $\delta_i = \Delta\delta M_i$ ). Последовательное автоматическое изменение интервала наблюдения – адаптация параметра фильтра – продолжается до достижения погрешностью  $\varepsilon_i$  некоторого, наперёд заданного значения  $\varepsilon_{\text{пор}}$  (адаптация «по достижению порога»), после чего по сигналу  $R$  («сброс») начинается следующий цикл накопления числа событий потока и формирования текущей оценки его интенсивности  $v_{i+1}$ . Очевидно, что одно и то же значение  $\varepsilon_i$  можно получить при разных сочетаниях чисел  $N$  и  $M$ . Используя их в качестве операндов матричных ПЗУ 1 и 2, в которые «защиты» значения погрешностей  $\varepsilon_{\text{пор}}$  и оценок  $\bar{v}_i$ , получим адаптивный трансверсальный КИХ-фильтр.

Такой режим фильтрации интенсивности ТПДС позволяет существенно повысить точность пространственно-временной привязки максимумов модулирующего процесса  $v(t)$  для случаев больших значений отношения сигнал/шум процесса, а для случаев малых значений этого отношения – получать статистически достоверные оценки среднего значения интенсивности наблюдаемого процесса. При этом отсутствие рекурсивных элементов, казалось бы, делает фильтр заведомо устойчивым; в то же время, скорость сходимости единичной процедуры оценивания интенсивности обеспечивается аппаратно и зависит от параметров динамического диапазона наблюдаемого процесса.

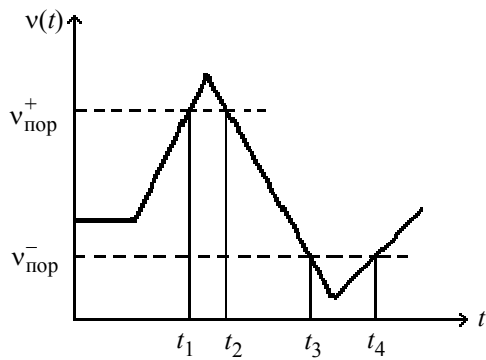


Рис. 2

Однако остаются неисследованными асимптотические свойства фильтра, определяемые его состояниями, при которых погрешность текущей оценки интенсивности может неограниченно возрастать. Предварительный анализ показал, что такие состояния могут возникать в случаях, когда текущее значение средней интенсивности событий наблюдаемого импульсного потока достигает пороговых значений  $v_{\text{пор}}^+$  или  $v_{\text{пор}}^-$  (рис. 2).

При этом происходит переполнение либо счётчика  $N$  числа событий потока при нулевом состоянии счётчика интервалов наблюдения  $\Delta T$ , либо счётчика  $M$  числа интервалов наблюдения при нулевом состоянии счётчика числа событий. Попадание адаптивного фильтра в первое состояние приводит к нарушению процедуры оценивания, поскольку оценка формируется по числу событий, зарегистрированных уже после переполнения счётчика  $N$  числа этих событий. Попадание адаптивного фильтра во второе состояние также нарушает процедуру оценивания, поскольку текущая оценка интенсивности формируется по числу событий, зарегистрированных после переполнения счётчика  $M$  числа интервалов наблюдения.

Таким образом, попадание адаптивного фильтра в асимптотические состояния приводит к нарушению устойчивости его функционирования, понимаемой в данном случае не с точки зрения возможного характера переходного процесса, а как прямой функциональный отказ, вызывающий выпадение или искажение серии точек наблюдения. В этом случае и понятие сходимости процедуры приобретает дополнительный смысл, характеризуя способность механизма адаптации вывести фильтр на нормальный режим функционирования за конечное время.



что делает саму оценку также бессмысленной по значению. Однако, как видно из рис. 2 и 4, после момента времени  $t_4$  фильтр также автоматически вернётся к нормальному (по достижении реальной точности, например, не хуже 20 %) режиму функционирования, после того как состояние счётчика  $N$  числа событий потока будет достигать значения  $N > 100$ , до момента переполнения счётчика  $M$ .

Таким образом, адаптивный режим фильтрации интенсивности ТПДС будет при значениях модулирующей функции  $v(t)$  наблюдаемого ТПДС, находящихся в пределах априорно заданного динамического диапазона, вероятность выхода за пределы которого – мала; время же до восстановления устойчивого режима фильтрации в значительной степени зависит от корреляционных свойств модулирующего процесса; в частности, интервал корреляции случайного модулирующего процесса  $v(t)$   $\tau_k \geq (3...5)\Delta T$ .

В общем же случае есть множество траекторий выхода фильтра как конечного автомата из асимптотически неустойчивых состояний; среди них существуют кратчайшие траектории с минимальными потерями информации, реализация которых возможна за счет оптимизации значений параметров  $N$ ,  $M$  и  $T$ . Однако проведение оптимизационной процедуры в условиях реальной неопределенности параметров наблюдаемого процесса  $\xi(t)$  представляет собой сложную математическую задачу. Поэтому более реальным является имитационное моделирование процедуры адаптивной фильтрации интенсивности ТПДС с явно выраженной нестационарностью реализации модулирующего процесса, для чего необходимо имитировать реализацию ТПДС с заданными параметрами в реальном масштабе времени.

В [2] были получены результаты имитационного моделирования реализаций ТПДС с гауссовой и экспоненциальными функциями автокорреляции модулирующих процессов с моделированием процедуры оценивания интенсивности ТПДС оператором «текущего среднего». На их основе были проверены ранее полученные в [3] теоретические результаты для относительных среднеквадратических погрешностей оценивания.

Эти результаты были получены в предположении, что интенсивность ТПДС может быть представлена аддитивной линейной моделью вида:  $y(t) = v(t) + v_{0э}$ , где  $y(t)$  – наблюдаемый процесс;  $v(t)$  – полезный сигнал (реализация стационарного случайного процесса с известной функцией автокорреляции  $R_v(\tau)$ ;  $v_{0э}$  — интенсивность эквивалентного стационарного импульсного шума. Для этой модели ТПДС его обобщённым параметром может являться отношение «сигнал/шум» вида:  $a = P_c / P_{шэ}$ , где  $P_c$  – мощность полезного сигнала (в данном случае  $P_c = \sigma_v^2$  – дисперсия полезного сигнала);  $P_{шэ}$  – мощность импульсного шума в эквивалентной полосе частот сигнала. Можно показать, что  $P_{шэ} = v_{0э}/S_0$ , где  $S_0$  – площадь под нормированной функцией автокорреляции  $R_v(\tau)$  модулирующего процесса  $v(t)$ .

Однако реальный импульсный шум нестационарен и нелинейно зависит от  $v(t)$ . Это важное обстоятельство может быть учтено и реализовано в процессе имитации на ЭВМ последовательности интервалов между событиями ТПДС. Для этого структура алгоритма должна содержать в себе 2 датчика случайных процессов – независимый датчик дискретных



значений  $v_i$  модулирующего процесса  $v(t)$  с заданной функцией автокорреляции  $R_v(\tau)$  и второй, зависимый от значений  $v_i$  датчик точечных событий, реализующий случайный поток с заданным распределением длительности интервалов  $\Delta t$  между событиями. Случайные числа, генерируемые обоими датчиками, входят в известное соотношение для преобразования последовательности чисел  $a_k$  с равномерным распределением в интервале  $(0, 1)$  в последовательность длительностей интервалов  $\Delta t_k$  между событиями случайного потока с экспоненциальным распределением  $\Delta t_k = \frac{1}{v_i} \ln a_k$ , где  $v_i$  – текущее значение интенсивности потока. Для получения последовательности  $\{v_i\}$  дискретных значений случайного процесса с гауссовой функцией автокорреляции был применён метод «скользящего суммирования», при котором очередной,  $(n + 1)$ -й отсчёт выходной последовательности формируется как сумма взвешенных членов предыдущих  $n$  отсчётов исходной гауссовой последовательности.

Для получения отсчётов  $\{v_i\}$  случайного процесса с экспоненциальной функцией автокорреляции вида  $R(\tau) = \sigma^2 \exp(-\beta|\tau|)$  был применён метод рекуррентных разностных уравнений. Этот метод не имеет методической погрешности и обладает существенно большим быстродействием по сравнению с методом скользящего суммирования, но может быть использован для имитации только процессов с рациональным спектром.

Актуальным является выбор шага дискретизации  $\theta$  модулирующего процесса при моделировании дискретных процессов. Возможны 2 способа:

- значения модулирующей функции  $v_i$  формируются с постоянным шагом ( $\theta = \text{const}$ ), величина которого определяется требуемой точностью восстановления реализации по её дискретным значениям и одновременно учитывает дискретный характер процесса;

- значения модулирующей функции  $v_i$  формируются для каждого интервала  $\Delta t_k$ , разделяющего события потока.

Первый способ, требующий меньших затрат машинного времени, пригоден для прямой имитации ТПДС в реальном времени (особенно при имитации высокоинтенсивных потоков) в случае его использования для контроля регистрирующей аппаратуры. Можно показать, что шаг дискретизации  $\theta$  в этом случае должен удовлетворять следующему неравенству:

$$\frac{5}{\bar{v}(1-k)} \leq \theta \leq \frac{\tau_k}{2},$$

где  $k$  – коэффициент модуляции, численно равный  $v_{\max} / \bar{v}$ ; значение  $k$  выбирается из условия обеспечения пренебрежимо малой вероятности достижения  $v(t)$  значений, меньших нуля.

Второй способ целесообразно использовать для проверки теоретических результатов оценивания погрешностей преобразования ТПДС в трактах информационно-измерительных систем. В частности, были разработаны алгоритмы имитационного моделирования процедуры оценивания текущих значений интенсивности ТПДС с экспоненциальной функцией автокорреляции модулирующего процесса оператором «текущего среднего», подтвердившие результаты оптимизации значения параметра оператора  $\Delta$  по критерию минимума дисперсии суммарной погрешности, впервые полученные в [3].

Таким образом, создана предпосылка для дальнейшего исследования асимптотических свойств фильтра при условии генерации реализации ТПДС с резко выраженной нестационарностью модулирующего процесса, заданной аналитически.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

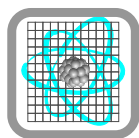
1. А. с. СССР № 1401395 / В. А. Казанский, С. С. Соколов. Адаптивный измеритель скорости счёта; Оpubл. 07.06.88. Бюл. № 21.
2. Соколов С. С., Чернов М. А. Имитационное моделирование дваждыстохастического импульсного потока // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2000. Вып. 1. С. 15–18.
3. Вяземский В. О. Ошибки воспроизведения текущего значения интенсивности случайного импульсного потока по его реализации // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1976. № 5. С. 137–143.

*S. S. Sokolov*

#### **Adapting filtration of the doubly-stochastic pointing processes**

*In clause is discussed structures, parameters and asymptotic properties of adapting SPC-filter, estimates of intensity of the doubly-stochastic pointing processes (DSPP) is formed. Also problem of DSPP-generator modeling and forming current estimates of intensity DSPP procedure is discussed.*

**Doubly-stochastic pointing process, parameter current filtration, measuring instrument of intensity, modeling imitation**



УДК 537.611.2

А. Б. Устинов

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И МАГНИТНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФЕРРИТ-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

*Рассмотрены экспериментально изученные частотно-селективные свойства пространственно-периодических феррит-сегнетоэлектрических слоистых структур, а также их электрическая и магнитная перестройка. На частотной зависимости коэффициента передачи электромагнитно-спиновых волн в таких структурах наблюдались характерные полосы резонансного заграждения, соответствовавшие запрещенным зонам спектра периодической структуры. Положение полос заграждения менялось как при изменении поля намагничивания структуры, так и при приложении электрического поля к сегнетоэлектрику.*

### Электромагнитно-спиновые волны, периодические структуры, ферриты, сегнетоэлектрики

В последние годы возрос интерес к исследованию периодических волноведущих структур. Например, множество работ посвящено изучению электромагнитных волн в периодических оптических волноводах – так называемых фотонных кристаллах (см., например, [1]). Также наблюдается интерес к изучению магнитостатических спиновых волн в периодических магнитных пленочных структурах – так называемых магнотонных кристаллах [2]–[5]. Одним из современных направлений развития микроэлектроники является разработка и исследование новых композитных материалов на основе двух или более слоев феррита и сегнетоэлектрика [6]–[8]. В таких многослойных структурах могут распространяться гибридные электромагнитно-спиновые волны, свойствами которых можно управлять как магнитным, так и электрическим полями. Магнитное управление реализуется за счет вариации магнитной восприимчивости феррита при изменении поля намагничивания слоистой структуры. Электрическая перестройка обеспечивается за счет уменьшения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрического слоя при приложении к нему электрического напряжения. Вместе с тем, периодические волноведущие феррит-сегнетоэлектрические структуры до сих пор не исследовались.

В настоящей статье представлено описание экспериментально изученных частотно-селективных свойств пространственно-периодических феррит-сегнетоэлектрических слоистых структур, а также их электрическая и магнитная перестройка. Слоистая структура была изготовлена на основе монокристаллической пленки железиттриевого граната (ЖИГ) и керамической пластины титаната бария стронция (БСТ). Пленка ЖИГ была выращена на под-

ложке галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) методом жидкофазной эпитаксии. Для проведения экспериментов была выбрана пленка толщиной 18.5 мкм, имевшая свободные поверхностные спины. Ее намагниченность насыщения составляла 1750 Гс. Полуширина кривой ферромагнитного резонанса, измеренная на частоте 5.2 ГГц, была равна 0.4 Э. Из этой пленки был сформирован периодический пленочный волновод методом химического травления. Вытравленный волновод имел форму, показанную на рис. 1. Как видно, периодическая структура в форме волновода с периодически изменяющейся шириной находилась посередине образца. Ширина волновода варьировалась в пределах от 1 до 2 мм. Протяженность периодической структуры составляла 3.5 мм. Края образца в областях возбуждения спиновых волн имели постоянную ширину. Концы пленки были вытравлены под острыми углами, чтобы уменьшить отражение спиновых волн от них.

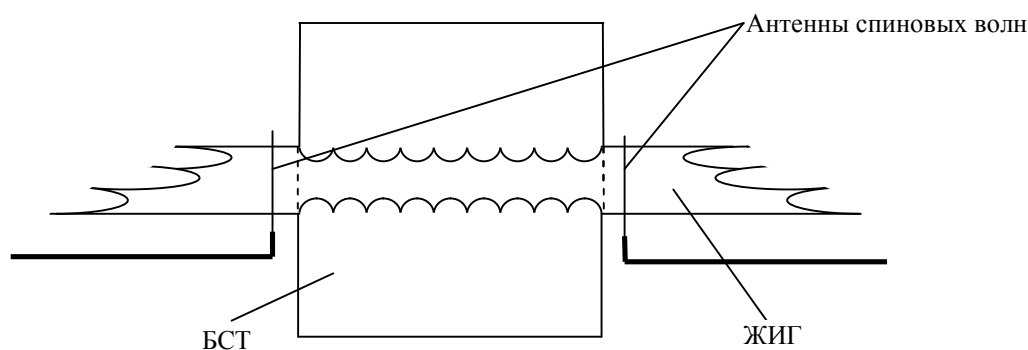


Рис. 1

В качестве сегнетоэлектрического слоя была использована керамическая пластина титаната бария-стронция толщиной 200 мкм. На обе стороны пластины были напылены хромовые электроды толщиной около 50 нм. Такая толщина электродов была много меньше глубины скин-слоя для СВЧ-полей рабочей частоты. Для возбуждения и приема электромагнитно-спиновых волн были использованы микрополосковые антенны, выполненные в виде отрезков микрополосковых линий передачи, короткозамкнутых на конце. Расстояние между антеннами составляло 6.7 мм. Пленка ЖИГ была расположена на микрополосковых антеннах. Сегнетоэлектрическая пластина БСТ механически прижималась к магнитному волноводу в области периодически изменяющейся ширины.

Экспериментальный макет был помещен между полюсами электромагнита в однородном постоянном магнитном поле. Поле было направлено параллельно плоскости феррит-сегнетоэлектрической периодической структуры вдоль антенн спиновых волн. Таким образом, в периодической структуре распространялись так называемые поверхностные гибридные электромагнитно-спиновые волны.

Рассмотрим кратко распространение волн в описанной структуре. Входная микрополосковая антенна возбуждает поверхностную спиновую волну в пленке ЖИГ. Распространяясь, волна входит в область периодической феррит-сегнетоэлектрической структуры. На границе этой области поверхностная спиновая волна преобразуется в квазиповерхностную гибридную электромагнитно-спиновую волну, которая затем распространяется в периодической слоистой структуре ЖИГ/БСТ. Гибридная волна, пройдя слоистую структуру и достигнув другой ее границы, преобразуется обратно в поверхностную спиновую волну, которая затем принимается выходной микрополосковой антенной.

На рис. 2 показаны результаты измерения частотных зависимостей коэффициентов передачи электромагнитно-спиновых волн в периодической феррит-сегнетоэлектрической

структуре или, иными словами, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) структуры, для значений магнитного поля  $H = 1748$  Э и  $H = 1853$  Э. Измерения показали, что полосы заграждения для СВЧ-сигнала, наблюдаемые в области запрещенной зоны в спектре электромагнитно-спиновых волн, обусловленные брегговскими резонансами, лежали на частотах 6885, 6919 и 6997 МГц. Как и следует из физических представлений, измерения фазочастотной характеристики периодической структуры показали наличие сильной частотной дисперсии групповой скорости электромагнитно-спиновых волн на склонах полос заграждения.

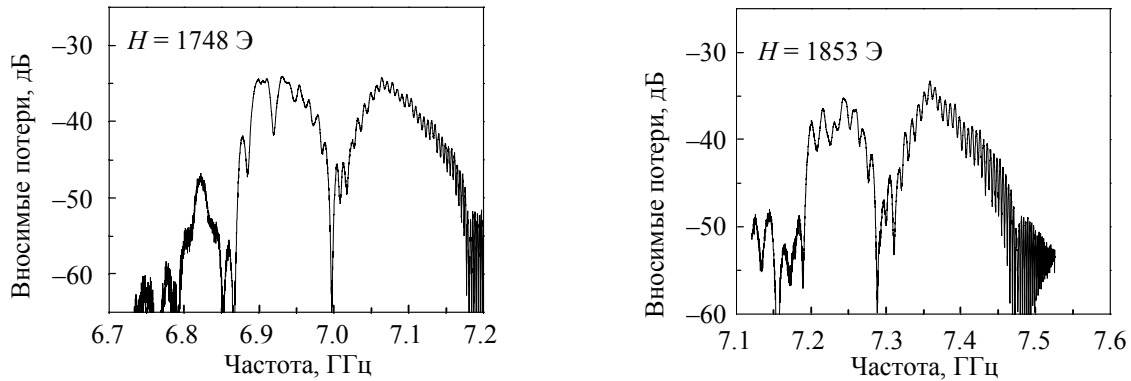


Рис. 2

Изменение магнитного поля существенно изменяло условия брегговского отражения волн в такой структуре. Так, при значениях магнитного поля  $H = 1748$  Э наблюдались две узкие запрещенные зоны в низкочастотной области возбуждения и одна широкая зона в центре полосы возбуждения волн. Увеличение магнитного поля до значения  $H = 1853$  Э привело к исчезновению узких запрещенных зон.

На рис. 3 показаны АЧХ периодической феррит-сегнетоэлектрической структуры, измеренные для значения магнитного поля  $H = 1853$  Э, когда в сегнетоэлектрике электрическое поле отсутствовало или было приложено. Как видно из графиков, приложение электрического поля приводило к появлению запрещенной зоны в полосе пропускания структуры (на рисунке она обозначена цифрой 1). Это можно объяснить изменением условия брегговского отражения волн за счет изменения дисперсии электромагнитно-спиновых волн при приложении к сегнетоэлектрику электрического поля.

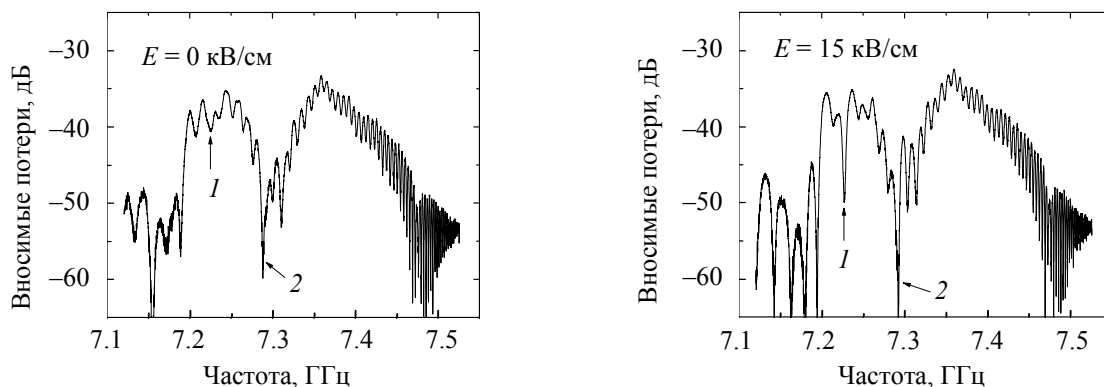


Рис. 3

Другим явлением, наблюдаемым при приложении электрического поля, было изменение частотного положения полос запрещенной зоны. Зависимости частот, на которых наблюдались запрещенные зоны, отмеченные на рис. 3 цифрами 1 и 2, при  $H = 1853$  Э, от приложенного электрического поля показаны на рис. 4. Из графиков видно, что при приложении

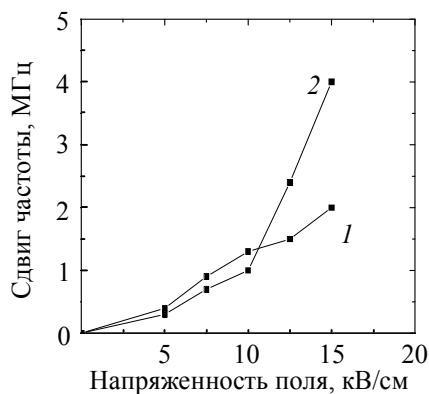


Рис. 4

электрического поля до 15 кВ/см запрещенная зона 1 смещалась примерно на 2 МГц (кривая 1), а запрещенная зона 2 смещалась примерно на 4 МГц (кривая 2).

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали возможности управления дисперсионными и частотно-селективными свойствами планарных периодических феррит-сегнетоэлектрических слоистых структур.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 08-02-00959), Федерального агентства по науке и инновациям и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-2124.2008.2 и МК-2804.2008.8.) и Федерального агентства по образованию РФ (проект РНП/2.1.1.1617).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кившарь Ю. С., Агравал Г. П. Оптические солитоны. От волоконных световодов к фотонным кристаллам. М.: Физматлит, 2005.
2. Ферромагнитные пленки с периодическими структурами с магнонной запрещенной зоной – магнонные кристаллы / Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов, Л. В. Животовский и др. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 77, вып. 10. С. 670–674.
3. Krawczyk M., Puzzkarski H. Plane-wave theory of three-dimensional magnonic crystals // Phys. Rev. B. 2008. Vol. 77, № 5. P. 054437 – 1–13.
4. Scattering of backward spin waves in a one-dimensional magnonic crystals / A. V. Chumak, A. A. Serga, B. Hillebrands, M. P. Kostylev // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 93, № 2. P. 022508 – 1–3.
5. Устинов А. Б., Григорьева Н. Ю., Калиникос Б. А. Наблюдение солитонов огибающей спиновых волн в периодических магнитных пленочных структурах // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88, вып. 1. С. 34–39.
6. Демидов В. Е., Калиникос Б. А. Особенности спектра дипольно-обменных электромагнитно-спиновых волн в несимметричных структурах металл-диэлектрик-ферромагнетик-диэлектрик-металл // ЖТФ. 2001. Т. 71, № 2. С. 89–93.
7. Correlation between magnetic properties of layered ferromagnetic/dielectric material and tunable microwave device applications / E. Salahun, P. Queffelec, G. Tanne et al. // J. Appl. Phys. 2002. Vol. 91, № 8. P. 5449–5455.
8. Ustinov A. B., Srinivasan G., Kalinikos B. A. Ferrite-ferroelectric hybrid wave phase shifters // Appl. Phys. Lett. 2007. Vol. 90, № 3. P. 031913/1–3.

*A. B. Ustinov*

#### *ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD TUNING OF THE FREQUENCY-RESPONSE CHARACTERISTICS OF THE FERRITE-FERROELECTRIC PERIODIC STRUCTURES*

*Frequency-response characteristics of the layered ferrite-ferroelectric periodic structures are studied. Stop-bands due to Bragg resonances were observed. Frequencies of the stop-bands were controllable with magnetic and electric fields.*

**Spin-electromagnetic waves, periodic structures, ferrites, ferroelectrics**

## ДЛИННОПЕРИОДНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ РЕШЁТКИ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКОВ И СЕНСОРОВ

*Представлены результаты экспериментального исследования влияния внешних факторов – температуры и показателя преломления окружающей среды на спектры пропускания в области резонансов волоконных длиннопериодных решеток с полимерным гофрированным покрытием. Показано влияние внешних воздействий на спектральный сдвиг и амплитуду резонансов для мод сердечника и оболочки ДПР. Полученные результаты позволяют оценить чувствительность ДПР с полимерным покрытием к внешним воздействиям и возможность их применения в качестве чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков.*

### Волоконная длиннопериодная решетка, волоконный датчик, полимерное покрытие

Волоконные длиннопериодные решетки (ДПР) [1], [2] широко используются в качестве режекторных фильтров в волоконно-оптических устройствах, а также в качестве датчиков и сенсоров. Характерной особенностью ДПР и их основным отличием от брэгговских волоконных решеток является то, что период продольной модуляции показателя преломления ( $n$ ) у них много больше длины волны и, как правило, составляет 0.1...2 мм. ДПР обладают ярко выраженными резонансными свойствами, причем малое изменение эффективного показателя преломления ДПР может приводить в существенному спектральному сдвигу резонансов и изменению их амплитуды. Высокая чувствительность эффективного показателя преломления ДПР к внешним воздействиям позволяет создавать на их основе датчики температуры, давления, механической нагрузки, показателя преломления окружающей среды и других физических величин [3]–[4]. Измеряемой величиной при этом является спектральный сдвиг одного из резонансов решетки либо изменение его амплитуды.

ДПР, как правило, изготавливают из специальных фоточувствительных стекол путем локального изменения показателя преломления волокна УФ-излучением [3]. Одной из разновидностей ДПР является гофрированное волокно, в котором гофры изготовлены из материала с показателем преломления отличным от показателя преломления материала сердечника [5]. Для создания гофров на поверхности оптических волокон может быть использован эффект самоорганизации микрокапель раствора полимера [6]. Данный эффект позволяет создавать на стеклянных и полимерных волокнах периодические гофры с периодом 0.1...2 мм. Использование ДПР с полимерными гофрами в качестве датчиков и сенсоров позволяет значительно повысить их чувствительность к внешним воздействиям, так как температурные и упругооптические коэффициенты показателя преломления полимеров могут в десятки раз превосходить аналогичные параметры стекол. Достоинством полимерных периодических покрытий является возможность существенного расширения номенклатуры материалов для сердечника волокна и для гофров. Это дает возможность подбирать показатели преломления и другие характеристики компонентов ДПР для решения каждой конкретной задачи.

В настоящей статье рассмотрены экспериментальные исследования влияния температуры и показателя преломления окружающей среды на спектральное положение и амплитуду резонансов ДПР с гофрированным полимерным покрытием и оценка возможности их применения в качестве чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков.

В экспериментах исследовались ДПР из кварцевого волокна ( $n = 1.45$ ) диаметром 150 мкм с периодическим гофрированным покрытием из полиуретана ( $n = 1.5$ ). Методика изго-

товления ДПР с полимерным покрытием описана в [6]. Использовались волокна длиной 145...200 мм, с длиной гофрированного покрытия  $L = 50...150$  мм и периодом  $\Lambda = 0.5...1$  мм. Гофры имели форму вытянутых эллипсоидов вращения. Толщина гофров в их центральной части составляла 20 мкм. Необходимо отметить, что из-за особенностей технологии изготовления полимерного покрытия участки волокна между гофрами также покрыты тонким слоем полимера толщиной не более 0.5 мкм.

При измерении спектров пропускания ДПР использовался перестраиваемый волоконный лазер на эрбиевом стекле (PriTel. Inc) со спектральным диапазоном перестройки 1520...1560 нм. В качестве приемника излучения использовался измеритель мощности излучения с волоконным входом (FPM-3200, ILX LightWave). Выходной сигнал измерителя мощности регистрировался с помощью осциллографа АСК-3106 («Актаком») и выводился на персональный компьютер. Температурные измерения проводились в интервале температур 20...60 °С, что существенно ниже температуры размягчения и плавления полиуретана ( $t_{пл} = 184...193$  °С [7]). Нагреву подвергалась вся гофрированная область волокна.

ДПР, использованные в экспериментах, имели следующие характерные особенности. Во-первых, для ДПР с периодом 1 мм основной резонанс лежит в спектральном интервале 1.8...2 мкм, а в спектральный интервал измерений попадают лишь вторичные резонансы. Амплитуда этих вторичных резонансов при комнатной температуре составляет 0.8...2.5 дБ, а спектральная ширина по полувысоте 1.5...2.5 нм в зависимости от длины гофрированной части решетки  $L$ . Во-вторых, при диаметре сердечника ДПР равном 150 мкм режим распространения электромагнитных волн является многомодовым. Это приводит к появлению ряда дополнительных резонансов, а также к возникновению межмодовой интерференции. В-третьих, так как толщина гофров значительно превышает длину волны, на которой проводятся измерения, то в области гофров возникают моды оболочки. В результате этого появляются резонансы, связанные с модами оболочки. В отличие от резонансов мод сердечника, формирующих минимумы на спектре пропускания ДПР, резонансы мод оболочки приводят к возникновению на спектре максимумов пропускания [2]. Такой же результат дает и малое изменение периода решетки по ее длине (квазипериодичность) [8], связанное в данном случае с несовершенством технологии изготовления ДПР. Наконец, наличие тонкого слоя полимера с высоким показателем преломления на волокне между гофрами оказывает влияние на постоянные распространения волноводных мод высших порядков [9]. Все эти особенности приводят к значительному усложнению спектра пропускания решетки – появлению большого количества «отрицательных» и «положительных» резонансов. При этом возникает вероятность их спектрального наложения при изменении внешнего воздействия. Это затрудняет интерпретацию спектров и их изменения при внешних воздействиях. В то же время, появление «положительных» резонансов, связанных с модами оболочки, дает дополнительный параметр, по изменению которого также можно регистрировать характеристики внешнего воздействия [10]. Поэтому в процессе экспериментов измерения спектров пропускания ДПР проводились как в области «отрицательных» резонансов мод сердечника, так и в области «положительных» резонансов мод оболочки.

На рис. 1 *а, б* показано изменение спектра пропускания ДПР в области «отрицательного» и «положительного» резонансов при изменении температуры окружающей среды в ин-



тервале 20...60 °С. Для наглядности спектры, соответствующие различным температурам, смещены по вертикали.

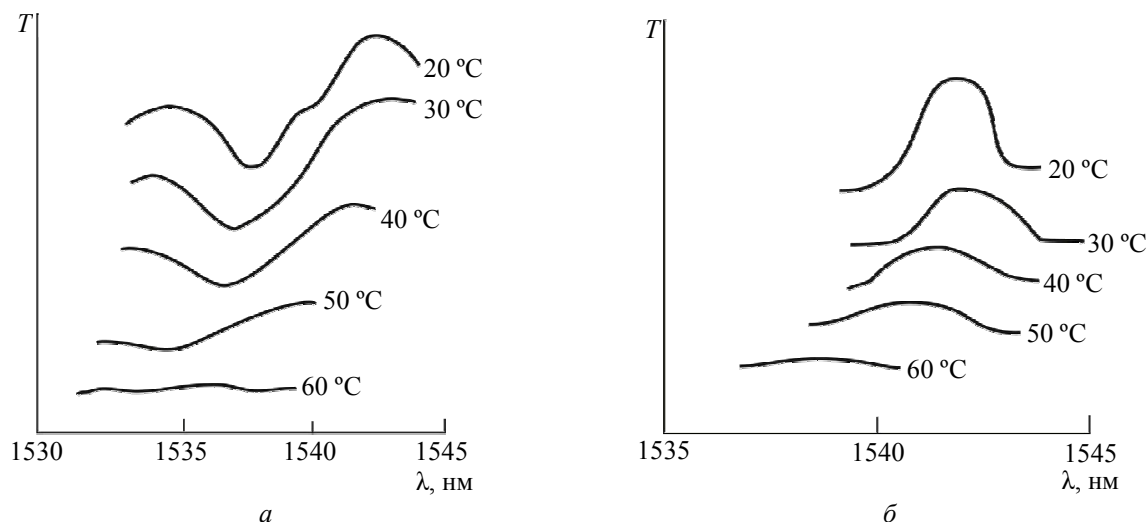


Рис. 1

Из рисунка видно, что при увеличении температуры происходит спектральный сдвиг резонансов в коротковолновую область спектра, уширение и уменьшение их амплитуды. Причиной этих эффектов является уменьшение показателя преломления полиуретана при увеличении температуры. Спектральное положение резонанса ДПР определяется ее эффективным периодом, который, в свою очередь, зависит от эффективных показателей преломления соседних участков ДПР [2]. В данном случае полимерное покрытие имеется как в области гофров, так и в промежутках между ними. Однако влияние изменения показателя преломления полимера на эффективный показатель преломления в области гофров существенно больше, чем в промежуточных областях. Причем с увеличением толщины гофра это влияние также увеличивается. Это иллюстрирует расчетная зависимость [11] изменения эффективного показателя преломления  $\Delta_1$  в области гофра от толщины гофра  $h$  при изменении его показателя преломления на  $\Delta n = 10^{-3}$  (рис. 2, кривая 1). Расчет проводился для мод сердечника. Зависимость, приведенная на рисунке, соответствует случаю, когда показатель преломления гофра больше, чем показатель преломления сердечника волокна. Отсюда следует, что нагрев и сопутствующее ему уменьшение эффективного показателя преломления ДПР в области гофров приводит к уменьшению эффективного периода решетки и коротковолновому сдвигу резонанса.

Амплитуда резонансов зависит от разницы эффективных показателей преломления соседних участков ДПР [2]. Поэтому уменьшение амплитуды резонанса при увеличении температуры вызвано той же причиной, что и в случае, рассмотренном ранее, – уменьшением эффективного показателя преломления ДПР в области гофра.

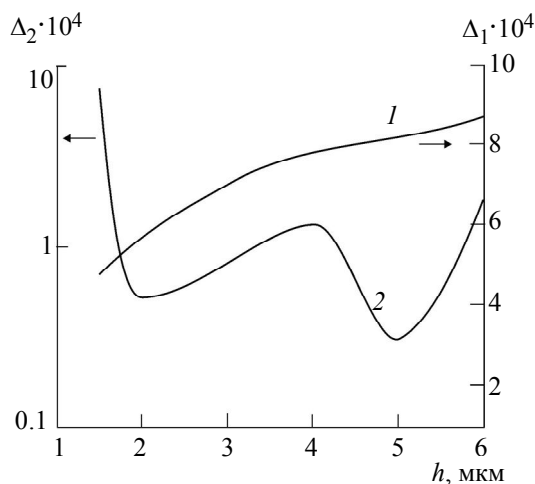


Рис. 2

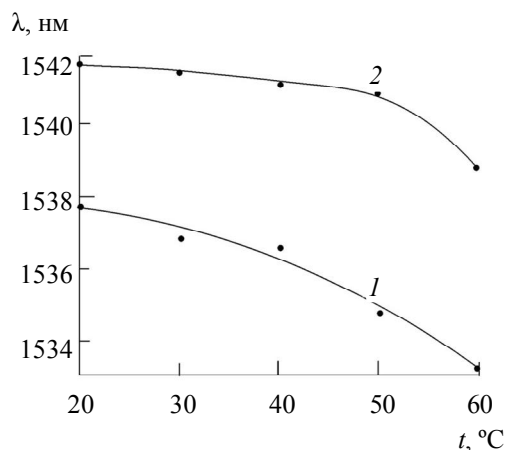


Рис. 3

Температурные зависимости положения «отрицательного» резонанса мод сердечника (кривая 1) и «положительного» резонанса мод оболочки ДПР (кривая 2) показаны на рис. 3. Чувствительность спектрального сдвига резонансов увеличивается с ростом температуры. Для резонансов мод сердечника характерна более высокая чувствительность к температуре во всем температурном интервале измерений. Средняя чувствительность при этом составляет  $\delta = 0.14$  нм/°С. Спектральный сдвиг резонансов мод оболочки в температурном интервале 20...50 °С незначителен. Ему соответствует  $\delta = 0.02$  нм/°С. Однако при  $t > 50$  °С наблюдается рост чувствительности и  $\delta$  достигает значения 0.2 нм/°С. Подобное различие в чувствительности к температуре сдвига резонансов мод оболочки и сердечника наблюдается и в брэгговских волоконных решетках [12]. Малая чувствительность резонансов мод оболочки к температуре полезна при разработке волоконных датчиков других физических величин, например, давления или показателя преломления окружающей среды. Это позволяет уменьшить температурную погрешность при измерении указанных величин и в то же время проводить измерение температуры с помощью той же ДПР, но в другом спектральном интервале, соответствующем резонансу мод сердечника.

Представляет интерес сравнение чувствительности к температуре ДПР с полимерными гофрами и классических ДПР, сформированных в фоточувствительных волокнах. Так, ДПР в многомодовых стеклянных волокнах имеют чувствительность 0.06...0.15 нм/°С [10]. Таким образом, чувствительность к температуре ДПР с полимерными гофрами сравнима и даже может превышать чувствительность классических многомодовых ДПР. Чувствительность ДПР на основе одномодовых стеклянных волокон достигает 0.4...0.5 нм/°С [13]. Можно предположить, что при оптимизации геометрических параметров ДПР с полимерными гофрами и соответствующем выборе полимерного материала чувствительность таких ДПР может достичь таких же значений.

На рис. 4 показаны зависимости относительной амплитуды резонансов моды сердечника (1) и моды оболочки (2) от температуры. Из рисунка видно, что при увеличении температуры амплитуда резонансов уменьшается. Причем для мод сердечника крутизна зависимости растет с

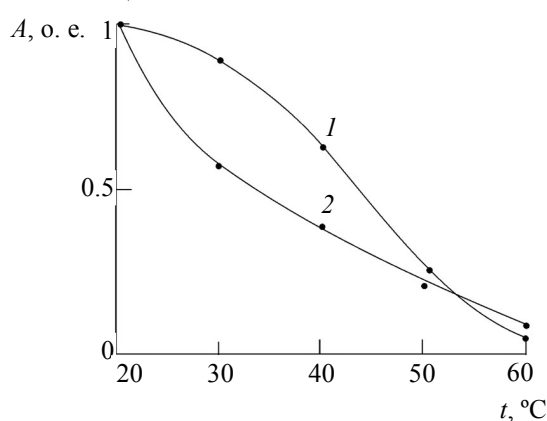


Рис. 4

ростом температуры, а для мод оболочки – уменьшается. Изменение амплитуды резонансов также может быть использовано в качестве измеряемого параметра при построении волоконного датчика. Однако в том случае, если измерение температуры производится по спектральному сдвигу резонанса, уменьшение амплитуды резонанса может привести к увеличению погрешности измерений. С целью уменьшения этой погрешности для измерений могут быть использованы основной резонанс либо ближайшие к нему, а также увеличение длины ДПР.

Влияние показателя преломления окружающей среды на спектр пропускания ДПР с полимерным гофром исследовалось для четырех сред: воздух ( $n = 1$ ), вода ( $n = 1.32$ ), смесь воды с глицерином ( $n = 1.38$ ) и глицерин ( $n = 1.46$ ). Измерения проводились при комнатной температуре. На рис. 5 показана эволюция участка спектра пропускания ДПР при увеличении показателя преломления окружающей среды. Как видно из рисунка, спектр претерпевает достаточно сложные изменения. Поэтому можно проследить влияние показателя преломления окружающей среды по одному из резонансов мод оболочки вблизи  $\lambda = 1543.6$  нм, отмеченному на рисунке пунктиром.

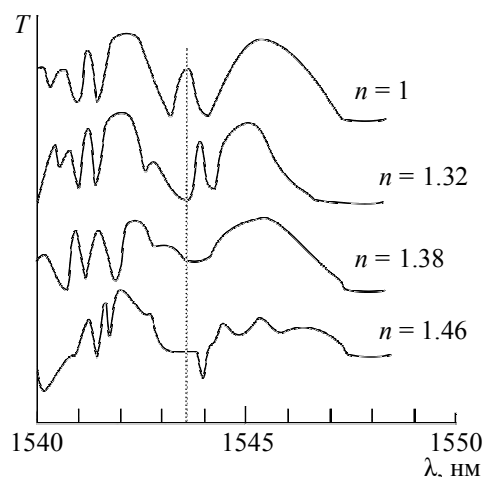


Рис. 5

Спектральная ширина резонанса по полувысоте при  $n = 1$  составляет 0.5 нм. Увеличение показателя преломления до  $n = 1.32$  приводит к длинноволновому спектральному сдвигу резонанса на  $\Delta\lambda = 0.4$  нм и уменьшению его ширины до 0.2 нм. При этом его амплитуда незначительно возрастает. При дальнейшем увеличении показателя преломления до  $n = 1.38$  резонанс исчезает. Возможно, при этом он сливается с соседним, более широким резонансом, расположенным в спектральном интервале 1544...1547 нм. При увеличении  $n$  от 1.38 до 1.46 на месте «положительного» резонанса появляется «отрицательный» резонанс моды сердечника.

Качественное объяснение наблюдаемых изменений спектра пропускания (рис. 5), можно получить с помощью расчетной зависимости чувствительности ДПР к изменению показателя преломления окружающей среды  $\Delta 2$  от толщины гофра, приведенной на рис. 2 (кривая 2). Зависимость получена для мод сердечника. Из рисунка видно, что максимальная чувствительность имеет место при толщине гофра менее 1.5 мкм. Поэтому основной вклад в изменение спектра вносят участки ДПР между гофрами, покрытые слоем полимера толщиной менее 0.5 мкм. Увеличение показателя преломления окружающей среды приводит к увеличению эффективного показателя преломления этих участков и к увеличению эффективного периода решетки. В результате это приводит к длинноволновому сдвигу резонансов. При значительном изменении показателя преломления окружающей среды на спектр пропускания начинает влиять и изменение эффективного показателя преломления ДПР в области гофров. Однако, как видно из рис. 2, зависимость  $\Delta 2(h)$  носит немонотонный характер, поэтому оптический отклик ДПР на изменение внешнего показателя преломления будет различным при различной толщине гофров.

Представленные результаты показывают, что чувствительность ДПР с полимерными гофрами к изменению показателя преломления окружающей среды невысока по сравнению с ДПР, изготовленными по классической технологии. Для сравнения, спектральный сдвиг резонансов ДПР, изготовленных из различных стекол по классической технологии и имеющих период 130...320 мкм, составляет 22...62 нм при изменении показателя преломления окружающей среды от 1.404 до 1.452 [10]. Необходимо отметить, что высокая чувствительность ДПР реализуется при показателе преломления окружающей среды близкой к эффективному показателю преломления ДПР. В работе [14] был получен спектральный сдвиг резонансов ДПР на 20 нм при изменении показателя преломления окружающей среды от 1 до 1.4. Для увеличения чувствительности ДПР с полимерными гофрами требуется проведение дальнейших исследований. В частности, как показано в работе [11] чувствительность гоф-

рированных ДПР к изменению показателя преломления может быть существенно увеличена при использовании гофров с показателем преломления меньшим, чем показатель преломления сердечника, и выборе оптимальной толщины гофров.

Представленные результаты исследований показывают, что чувствительность к изменению температуры ДПР с полимерным гофрированным покрытием не уступает чувствительности ДПР, изготовленных по классическим технологиям. ДПР с полимерным гофрированным покрытием могут быть использованы и для измерения показателя преломления жидких сред. Их достоинствами являются большое разнообразие выбора материала для гофра и сердечника волокна, простота изготовления и низкая стоимость. В то же время, для обеспечения максимальной чувствительности ДПР с полимерным гофрированным покрытием к внешним воздействиям необходимо проведение дальнейших исследований, включающих в себя выбор оптимальных материалов и оптимизацию геометрии ДПР.

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. Long-period fiber gratings as band-rejection filters / A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins et al. // J. of Lightwave Technol. 1996. Vol. 14, № 1. P. 58–65.
2. Erdogan T. Fiber grating spectra // J. of Lightwave Techn. 1997. Vol. 15, № 8. P. 1277–1294.
3. James S. W., Tatam R. P. Optical fiber long-period grating sensors: characteristics and application // Measur. Sci. and Technol. 2003. Vol. 14. P. R49–R61
4. Patric H. J., Kersey A. D., Bucholtz F. Analysis of the response of long-period fiber gratings to external index of refraction // J. of Lightwave Technol. 1998. Vol. 16, № 9. P. 1606–1612.
5. Lin C. -Y., Chern G. -W., Wang L. A. Periodical corrugated structure for forming sample fiber Bragg grating and long-period fiber grating with tunable coupling strength // J. of Lightwave Technol. 2001. Vol. 19, № 8. P. 1212–1220.
6. Сидоров А. И., Цирухин А. А. Формирование полимерных периодических структур на поверхности оптических волокон // ЖТФ. 2010. Вып. 51.
7. Рабинович В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник Л.: Химия, 1978.
8. Chern G. W., Wang L. A. Transfer-matrix method based on perturbation expansion for periodic and quasi-periodic binary long-period gratings // JOSA A. 1999. Vol. 16, № 11. P. 2675.
9. Tsao C. Y. H., Payne D. N., Gambling W. A. Modal characteristics of three-layered optical fiber waveguides: a modified approach // JOSA A. 1989. Vol. 6, № 4. P. 555–563.
10. Bhatia V., Vengsarkar A. M. Optical fiber long-period gratings sensors // Opt. Lett. 1996. Vol. 21, № 9. P. 692–694.
11. Сидоров А. И., Цирухин А. А. Оптимизация параметров гофрированных длиннопериодных волоконных решеток с полимерным покрытием для волоконно-оптических датчиков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 8. С. 3–9.
12. Chehura E., James S. W., Tatam R. P. Temperature and strain discrimination using a single tilted fiber Bragg grating // Opt. Comm. 2007. Vol. 275. P. 344–347.
13. Sakata H., Ito H. Optical fiber temperature sensor using a pair of nonidentical long-period fiber gratings for intensity-based sensing // Opt. Comm. 2007. Vol. 280. P. 87–90.
14. H. Patrick, A. D. Kersey, Bucholtz F. Analysis of the response of long-period fiber gratings to external index of refraction // J. of Lightwave Techn. 1998. Vol. 16, № 9. P. 1606–1612.

*A. I. Sidorov, A. A. Tsiurukhin*

#### *LONG-PERIOD FIBER GRATING WITH THE POLYMERIC COVERING: POSSIBILITIES OF APPLICATION AS GAUGES AND SENSOR CONTROLS*

*Results of an experimental research of influence of external factors – temperature and refractive index of environment on transmittance spectrum in the field of resonances long-period fiber (LPG) with the polymeric goffered covering are presented. Influence of external influences on spectral shift and amplitude of resonances for modes core and cladding LPG are shown. The received results allow to estimate sensitivity LPG with a polymeric covering to external influences and possibility of their application as sensitive elements of fiber-optical gauges.*

**Long-period grating, polymeric covering, fiber sensor**



УДК 519.688

*Б. Б. Казаков, С. А. Ивановский*

## **СЛЕЖЕНИЕ ЗА ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ**

*Разработан подход к слежению за объектами в последовательности изображений на основе оптического потока. Использование графического процессора (GPU) позволило значительно увеличить скорость работы алгоритма вычисления оптического потока и отслеживать объекты в реальном времени.*

**Слежение, оптический поток, сегментация, CUDA, GPU**

Задача слежения за объектами подразумевает обнаружение движущегося объекта в последовательности изображений и может быть условно разделена на две части: выделение объектов в отдельных кадрах (сегментация) и сопоставление объектов в последовательности кадров.

Основная трудность заключается в сопоставлении объектов, особенно в случаях, когда объекты движутся быстро относительно частоты смены кадров. В этом случае необходимо или иметь априорную информацию о модели и начальной скорости движения объектов, или использовать вычислительно-сложные алгоритмы анализа последовательности кадров, например алгоритмы вычисления оптического потока.

Использование глобальных алгоритмов вычисления оптического потока [1] в системах анализа видеопоследовательностей в реальном времени затруднительно из-за большой вычислительной сложности этих алгоритмов. Появление в последнее время возможности выполнять параллельные вычисления на графическом процессоре (GPU) [2] позволяет сократить время вычислений вплоть до реального времени (30 кадров/с для изображений  $512 \times 512$ ).

Примером трудоемких вычислительных алгоритмов, лежащих в основе слежения за объектами в последовательности кадров, являются глобальные алгоритмы вычисления оптического потока [1]. Оптический поток – это поле двумерных векторов, соответствующее смещению пикселей изображений объектов при переходе к следующему кадру. На протяжении двух последних десятилетий было разработано множество методов вычислений оптического потока, в настоящее время к самым точным относятся глобальные вариационные методы вычисления ОП. Однако эти же методы являются наиболее вычислительно-сложными, поскольку

требуют решения нелинейной системы уравнений с размерностью  $[M \times N \times 2]$ , где  $M, N$  – размер изображения. Поэтому использование методов вычисления оптического потока требует значительных временных ресурсов.

Классический глобальный метод Horn–Shunk [1] вычисления оптического потока заключается в минимизации функционала

$$\min_u \{E_{\text{HS}} = E_{\text{HS}i} + E_{\text{HS}r}\}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{HS}r} = \int_{\Omega} \|\nabla u_1\|^2 + \|\nabla u_2\|^2 d\Omega$ ;  $E_{\text{HS}i} = \int_{\Omega} (I_1(x + u(x)) - I_0(x))^2 d\Omega$ ;  $\Omega$  – область интегрирования функционала – чаще всего изображение целиком;  $x$  – координаты точки изображения;  $u = (u_1, u_2)$  – вектор оптического потока в точке  $x$ ;  $I_0, I_1$  – распределение яркости в первом и втором (соседних) кадрах видеопоследовательности.

Одна из современных робастных модификаций TVL1 [3] этого метода основана на минимизации функционала

$$\min_u \{E_{\text{TVL1}} = E_{\text{TV}r} + E_{\text{L1}i}\}, \quad (2)$$

где  $E_{\text{TV}r} = \int_{\Omega} \|\nabla u_1\| + \|\nabla u_2\| d\Omega$ ,  $E_{\text{L1}i} = \int_{\Omega} \|I_1(x + u(x)) - I_0(x)\| d\Omega$ .

В [3] был предложен итерационный метод решения и отмечены ключевые преимущества данного функционала:

- регуляризующий член  $E_{\text{TV}r}$  допускает разрывы в поле оптического потока (в функционале (1) накладывалось ограничение на пространственную непрерывность оптического потока);
- информационный член  $E_{\text{L1}i}$  является робастным функционалом L1, что делает его менее чувствительным к шуму.

Алгоритм TVL1 позволяет получить одно из наиболее точных вычисленных значений оптического потока на сегодняшний день [3]. Существенной проблемой остается скорость выполнения данного алгоритма. Несмотря на то, что итерационный метод решения уравнения минимизации имеет хорошие свойства сходимости, его выполнение на больших и средних изображениях требует значительного времени работы современных процессоров.

В течение последних лет появились новые средства ускорения вычислений с использованием графических процессоров. Современный графический процессор является параллельным конвейером, способным обрабатывать данные с плавающей точкой. В таких ускорителях присутствует около 30–150 процессорных модулей. За один такт графический процессор может параллельно выполнить 30–150 операций. Следовательно, если алгоритм требует выполнить одновременно множество независимых операций с плавающей точкой, его можно эффективно реализовать на графическом процессоре.

Для вычисления оптического потока использован разработанный фирмой NVIDIA язык параллельных вычислений CUDA [2]. В этом языке программа состоит из двух основных частей: вызывающего и инициализирующего модуля, работающего на CPU, и масшта-

бируемого ядра, работающего на GPU. Ядро организовано таким образом, чтобы его можно было выполнить на различном количестве процессорных модулей, что позволяет повышать скорость выполнения программы пропорционально количеству модулей.

Итерационный метод минимизации функционала (2) организован таким образом, что его можно перенести на архитектуру GPU. Как показали результаты эксперимента, реализация TVL1-алгоритма на GPU позволила значительно повысить скорость вычислений и вычислять оптический поток в реальном времени для изображений среднего размера ( $512 \times 512$ ). Один из экспериментов по вычислению оптического потока представлен на рис. 1. В левой части рисунка показан исходный кадр из видеопоследовательности, а в правой – вычисленный оптический поток, характеризующий перемещение объектов сцены. При этом время вычислений в пакете matlab, например, составляет 7 с, а при использовании ускорителя GPU 0.03 с, т. е. за одну секунду можно обработать 33 кадра.



*Рис. 1*

На основе модуля вычисления оптического потока разработан программный комплекс слежения за объектами. Разработанный метод слежения за объектами состоит из трех основных частей: сегментации изображений, выделения объектов, сопоставления объектов при смене кадров.

Для сегментации изображений использовался алгоритм пороговой сегментации или алгоритм водораздела в зависимости от сложности сцены. Также в зависимости от типа сцены в качестве исходных данных для алгоритма сегментации может выступать или само изображение, или массив модулей вычисленного оптического потока.

На основе оптического потока определяется соответствие между объектами при смене кадров. Для каждого объекта в первом кадре определяется среднее значение вектора оптического потока, этот вектор используется в роли вектора перемещения объекта, находится расчетное положение объекта в следующем кадре, определяется соответствующий объект следующего кадра.

Структурная схема вычислений показана на рис. 2.

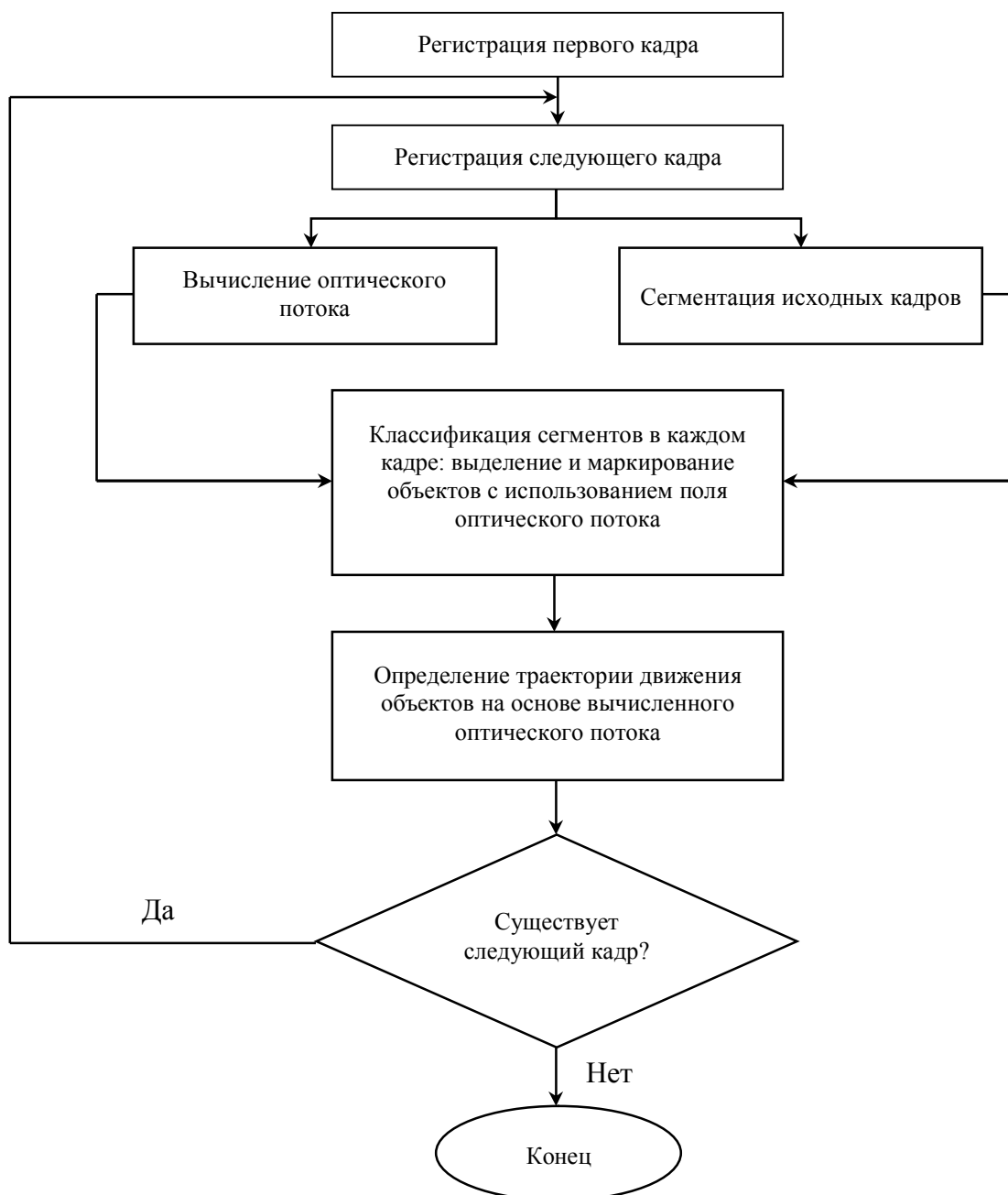


Рис. 2

Для реализации программного комплекса использовался язык Python. Этот язык предоставляет широкие возможности интеграции использования стандартных библиотек численного анализа (LAPACK, UMFPACK), обработки изображений (scipy.ndimage, OpenCV, itk) и выполнения наиболее дорогостоящих вычислений на GPU (pyscuda). Используя модуль pyscuda<sup>1</sup>, для выполнения вычислений на GPU достаточно написать программу ядра вычислений на языке CUDA, а компиляция и интегрирование будут выполнены автоматически.

Язык CUDA является разработкой компании NVIDIA и поддерживает графические ускорители только этой фирмы. В настоящее время разработан стандарт OpenCL, который преследует схожие цели: поддержка вычислений на параллельных конвейерах. Его существ-

<sup>1</sup> High-Productivity Supercomputing: Metaprogramming GPUs. / Nicolas P // <http://mathematician.de/dl/pub/pycuda-mit.pdf>



венным отличием является поддержка со стороны всех основных производителей оборудования (NVIDIA, AMD) и в большинстве популярных ОС (Windows, Linux, Mac OSX). Кроме того, написанная на этом языке программа может выполняться как на графических ускорителях, так и на многоядерных CPU, задействуя при этом все ядра.

В текущей реализации ПК GPU используется только для вычисления оптического потока. Выполнение алгоритмов сегментации и слежения на GPU позволило бы в целом увеличить скорость выполнения ПК-слежения.

**Выводы.** Разработан программный комплекс слежения за объектами в видеопоследовательности с использованием графического сопроцессора. Его эффективность была проверена на экспериментальных и модельных данных. Метод слежения основан на сегментации с помощью алгоритма водораздела и сопоставлении объектов на основе анализа оптического потока. Использование графического процессора для расчета оптического потока позволило сократить время вычислений от нескольких секунд на один кадр до десятых долей секунды (10–20 кадров/с).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Horn B., Shunk B. Detecting Optical Flow // Artificial Intelligence. 1981. P. 185–203.
2. Hwu Program optimization study on a 128-core GPU / S. Ryoo, C. Rodrigues, S. Stone et al. // First Workshop on General Purpose Processing on Graphics Processing Units. 2007.
3. Zach C., Pock T., Bischof H. A duality based approach for real-time TV-L1 optical flow // Ann. Symp. German Association Patt. Recogn. 2007. P. 214–223.

*B. B. Kazakov, S. A. Ivanovskij*

*GPU BASED OBJECT TRACKING*

*A novel approach to object tracking based on optical flow calculation has been developed. Using GPU for computing of the optical flow allows to increase calculation speed and to track objects in real time.*

**Object tracking, optical flow, segmentation, CUDA, GPU**

УДК 519.217.2.

*Е. Е. Жукова, Ю. В. Крашенинникова, В. А. Смирнова*

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА ДВУМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕН ПРЕБЫВАНИЯ ВИНЕРОВСКОГО ПРОЦЕССА**

*Получен алгоритм вычисления преобразования Лапласа двумерного распределения времен пребывания винеровского процесса. Ответ получен в виде ряда, коэффициенты которого вычисляются по рекуррентным формулам. Получены формулы для первого момента совместного распределения времен пребывания винеровского процесса выше двух уровней.*

**Время пребывания, преобразование Лапласа**

**Постановка задачи.** Приведем алгоритм отыскания преобразования Лапласа двумерного распределения времен пребывания винеровского процесса.

Обозначим  $\delta(x) = \text{mes}\{s \in [0; 1], W(s) \geq x\}$  – время пребывания винеровского процесса выше уровня  $x$ .

Для совместного распределения случайных величин  $\delta(u), \delta(r)$  будет получено его преобразование Лапласа  $L(\alpha, \beta, u, r)$ .

Если вместо отрезка  $[0, 1]$  рассматривать отрезок  $[0; t]$ , то можно переписать  $\delta_t(r) = \int_0^t \mathbf{1}_{[r, \infty)} W(s) ds$ .

Рассмотрим преобразование Лапласа двумерной функции распределения  $P(\delta_t(r) < x_1, \delta_t(u) < x_2)$ .

Оно имеет вид

$$M^x \exp \left( -\alpha \int_0^t \mathbf{1}_{[r, \infty)} W(s) ds - \beta \int_0^t \mathbf{1}_{[u, \infty)} W(s) ds \right).$$

Рассмотрим теперь преобразование Лапласа по  $t$  от полученного выражения, а винеровский процесс будем считать выходящим из точки  $x$ . Получаем функционал

$$U(x, \tau, r, u, \alpha, \beta) = \frac{1}{\lambda} M^x \exp \left( -\alpha \int_0^\tau \mathbf{1}_{[r, \infty)} W(s) ds - \beta \int_0^\tau \mathbf{1}_{[u, \infty)} W(s) ds \right)$$

(пусть для определенности  $r < u$ ), где  $\tau$  – момент времени, не зависящий от винеровского процесса и имеющий показательное распределение ( $P(\tau > t) = e^{-\lambda t}$ );  $M^x$  – математическое ожидание по процессу, начинающемуся в точке  $x$  [1, с. 13].

Чтобы получить  $L(\alpha, \beta, u, r)$ , найдем выражение для  $U(x, \tau, u, r, \alpha, \beta)$ , обратим преобразование Лапласа по  $\lambda$  и положим  $t = 1$  и  $x = 0$ .

Если положить  $x = 0; t = 1$ , то получится преобразование Лапласа совместного распределения  $\delta(u), \delta(r)$ .

Ответ получен в виде рядов, коэффициенты которых вычисляются при помощи рекуррентных формул. Этот подход в задачах подобного рода применяется впервые и связан с большой технической сложностью.

Данная форма ответа позволяет вычислять моменты распределения.

**Доказательство основной теоремы.**

$$U(x, \tau, r, u, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} - \left( \frac{1}{\lambda} - A \right) e^{(x-r)\sqrt{2\lambda}}, & x \leq r, \\ \frac{1}{\lambda + \alpha} - \left( \frac{1}{\lambda + \alpha} - B \right) \frac{\text{sh}((x-r)\sqrt{2\lambda + 2\alpha})}{\text{sh}((u-r)\sqrt{2\lambda + 2\alpha})} - \\ - \left( \frac{1}{\lambda + \alpha} - A \right) \frac{\text{sh}((u-x)\sqrt{2\lambda + 2\alpha})}{\text{sh}((u-r)\sqrt{2\lambda + 2\alpha})}, & r \leq x \leq u, \\ \frac{1}{\lambda + \alpha + \beta} - \left( \frac{1}{\lambda + \alpha + \beta} - B \right) e^{(u-x)\sqrt{2\lambda + 2\alpha + 2\beta}}, & u \leq x, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$A = \frac{\frac{\sqrt{\alpha + \lambda + \beta}}{\sqrt{\lambda}} \operatorname{sh} + \frac{\sqrt{\lambda + \alpha}}{\sqrt{\lambda}} \operatorname{ch} - \frac{\sqrt{\lambda + \alpha + \beta}}{\sqrt{\lambda + \alpha}} + \frac{\sqrt{\lambda + \alpha + \beta}}{\sqrt{\lambda + \alpha}} \operatorname{ch} + \frac{\sqrt{\lambda + \alpha}}{\sqrt{\lambda + \alpha + \beta}} + \operatorname{sh}}{I};$$

$$B = \frac{\frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda + \alpha + \beta}} \operatorname{sh} + \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda + \alpha}} \operatorname{ch} - \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda + \alpha}} + \frac{\sqrt{\lambda + \alpha}}{\sqrt{\lambda + \alpha + \beta}} \operatorname{ch} + \operatorname{sh} + \frac{\sqrt{\lambda + \alpha}}{\sqrt{\lambda}}}{I};$$

$$\operatorname{sh} = \operatorname{sh}((u - r)\sqrt{2\lambda + 2\alpha}); \operatorname{ch} = \operatorname{ch}((u - r)\sqrt{2\lambda + 2\alpha});$$

$$I = (\lambda + \alpha) \operatorname{sh} + \sqrt{\lambda} \sqrt{\lambda + \alpha + \beta} \cdot \operatorname{sh} + \sqrt{\lambda} \sqrt{\lambda + \alpha} \cdot \operatorname{ch} + \sqrt{\lambda + \alpha} \sqrt{\lambda + \alpha + \beta} \cdot \operatorname{ch}.$$

*Доказательство.*

Положив в ([2], 2.2.7)  $f(x) = \alpha \mathbf{1}_{[r, \infty)} + \beta \mathbf{1}_{[u, \infty)}$  и  $\Phi(x) = 1$ , получим, что  $U(x, \tau, u, r, \alpha, \beta)$  является единственным непрерывно дифференцируемым решением дифференциального уравнения  $\frac{1}{2} U_{xx}''(x, \tau, u, r, \alpha, \beta) - (\lambda + \alpha \mathbf{1}_{[r, \infty)} + \beta \mathbf{1}_{[u, \infty)}) U(x, \tau, u, r, \alpha, \beta) = -1$ .

Его решение имеет вид

$$U(x, \lambda, r, u, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} + c_1 e^{-x\sqrt{2\lambda}} + c_2 e^{x\sqrt{2\lambda}}, & x < r; \\ \frac{1}{\lambda + \alpha} + c_3 e^{-x\sqrt{2\lambda + 2\alpha}} + c_4 e^{x\sqrt{2\lambda + 2\alpha}}, & r < x < u; \\ \frac{1}{\lambda + \alpha + \beta} + c_5 e^{-x\sqrt{2\lambda + 2\alpha + 2\beta}} + c_6 e^{x\sqrt{2\lambda + 2\alpha + 2\beta}}, & x > u. \end{cases}$$

Из соображений ограниченности получаем, что  $c_1 = 0$  и  $c_6 = 0$ . Используя непрерывность функции  $U$  и обозначая ее значения при  $x = r$  и  $x = u$  через  $A$  и  $B$  соответственно, получаем требуемый вид решения. Выражения для  $A$  и  $B$  получаем из непрерывности производной  $U(x, \lambda, r, u, \alpha, \beta)$  по  $x$  при  $x = r$  и  $x = u$ . Теорема доказана.

Обратим преобразование Лапласа от  $U(x, \tau, u, r, \alpha, \beta)$  по  $\lambda$ . Для этого разложим коэффициенты  $A$  и  $B$  в ряды по вспомогательной переменной  $\mu = \lambda + \alpha$  приведем рассуждения для  $A$ . Для  $B$  они аналогичны:

$$A = \left( \frac{1}{2} \frac{1}{1 - iF\varepsilon} + \frac{1}{2} \frac{1}{1 + iF\varepsilon} \right) \left( \frac{G(\mu)}{2(1 + D(\mu))} - \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{\beta}{\mu(\mu + \beta)} \right) \varepsilon}{1 + D(\mu)} + \frac{H(\mu)}{2(1 + D(\mu))} \varepsilon^2 \right),$$

$$D(\mu) = \frac{1}{4} \left( \sqrt{\frac{\mu - \alpha}{\mu}} + \sqrt{\frac{\mu}{\mu + \beta}} + \sqrt{\frac{\mu - \alpha}{\mu + \beta}} - 3 \right),$$

$$E(\mu) = \frac{1}{4} \left( 1 - \sqrt{\frac{\mu - \alpha}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\mu + \beta}} + \sqrt{\frac{\mu - \alpha}{\mu + \beta}} \right),$$

$$G(\mu) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu+\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu-\alpha}} + \frac{1}{\sqrt{\mu-\alpha}\sqrt{\mu+\beta}} \right),$$

$$H(\mu) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu} - \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu-\alpha}} - \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu+\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\mu-\alpha}\sqrt{\mu+\beta}} \right),$$

$$F(\mu) = \sqrt{\frac{E(\mu)}{1+D(\mu)}}, \quad \varepsilon = \exp((r-u)\sqrt{2\mu}).$$

Обозначив  $q = u - r$  и разделив числитель и знаменатель  $A$  на  $\sqrt{\mu(\mu+\beta)}$  получим

$$A = \frac{-\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu} \operatorname{ch}(q\sqrt{2\mu}) + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu-\alpha}} \operatorname{sh}(q\sqrt{2\mu}) + \frac{1}{\mu+\beta} + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu+\beta}} \operatorname{sh}(q\sqrt{2\mu}) + \frac{\operatorname{ch}(q\sqrt{2\mu})}{\sqrt{\mu-\alpha}\sqrt{\mu+\beta}}}{\operatorname{ch}(q\sqrt{2\mu}) + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} \operatorname{sh}(q\sqrt{2\mu}) + \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} \operatorname{sh}(q\sqrt{2\mu}) + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} \operatorname{ch}(q\sqrt{2\mu})},$$

Для того чтобы представить  $A$  в виде ряда, применим метод разложения по малому параметру. Сгруппируем слагаемые с одинаковыми экспонентами в знаменателях дроби  $A$ :

$$\begin{aligned} & \operatorname{ch} q\sqrt{2\mu} + \operatorname{sh} q\sqrt{2\mu} + \operatorname{sh} q\sqrt{2\mu} + \operatorname{ch} q\sqrt{2\mu} + \left( \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} - 1 \right) \operatorname{sh} q\sqrt{2\mu} + \left( \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} - 1 \right) \operatorname{sh} q\sqrt{2\mu} + \\ & + \left( \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} - 1 \right) \operatorname{ch} q\sqrt{2\mu} = 2 \exp(q\sqrt{2\mu}) + \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} + \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} - 3 \right) \exp(q\sqrt{2\mu}) + \\ & + \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} \right) \exp(-q\sqrt{2\mu}) = \\ & = 2 \exp(q\sqrt{2\mu}) \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} + \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} - 3 \right) \right] + \\ & + \exp(-q\sqrt{2\mu}) \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\mu+\beta}} + \sqrt{\frac{\mu-\alpha}{\mu+\beta}} \right) \right] = \\ & = 2 \exp(q\sqrt{2\mu}) (1 + D(\mu) - i^2 E(\mu) \exp(-2q\sqrt{2\mu})). \end{aligned}$$

Легко видеть, что  $D(\mu) + 1 > 0$  для достаточно больших  $\mu$  (при всех  $\alpha$  и  $\beta$ ).

Нетрудно доказать, что  $E(\mu) > 0$  для всех  $\mu, \alpha, \beta > 0$ .

Так как  $E(\mu) > 0$ , можно положить  $F = \sqrt{\frac{E}{1+D}}$ . В терминах  $\mu$  и  $\varepsilon$  знаменатель  $A$  равен

$2 \exp(q\sqrt{2\mu}) (1 + D(\mu)) (1 - i^2 F^2(\mu) \varepsilon^2)$ . Тогда

$$A = \frac{\exp(q\sqrt{2\mu}) G(\mu) + \left( \frac{1}{\mu+\beta} - \frac{1}{\mu} \right) + \exp(-q\sqrt{2\mu}) H(\mu)}{2 \exp(q\sqrt{2\mu}) (1 + D(\mu)) (1 - i^2 F^2(\mu) \varepsilon^2)},$$

$$G(\mu) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu+\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu-\alpha}} + \frac{1}{\sqrt{\mu-\alpha}\sqrt{\mu+\beta}} \right),$$

$$H(\mu) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu} - \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu-\alpha}} - \frac{1}{\sqrt{\mu}\sqrt{\mu+\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\mu-\alpha}\sqrt{\mu+\beta}} \right).$$

Следовательно,

$$A = \left( \frac{1}{2} \frac{1}{1-iF\varepsilon} + \frac{1}{2} \frac{1}{1+iF\varepsilon} \right) \left( \frac{G(\mu)}{2(1+D(\mu))} - \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{\beta}{\mu(\mu+\beta)} \right) \varepsilon}{1+D(\mu)} + \frac{H(\mu)}{2(1+D(\mu))} \varepsilon^2 \right).$$

Разлагая знаменатель  $A$  в ряд, получим:

$$A = \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} i^{2k} F^{2k}(\mu) \varepsilon^{2k} \right) (S_1(\mu) + \varepsilon S_2(\mu) + \varepsilon^2 S_3(\mu)),$$

где  $S_1(\mu) = \frac{G(\mu)}{2(1+D(\mu))}$ ;  $S_2(\mu) = \frac{-\frac{1}{2} \left( \frac{B}{\mu(\mu+\beta)} \right)}{1+D(\mu)}$ ;  $S_3(\mu) = \frac{H(\mu)}{2(1+D(\mu))}$ .

Запишем разложения:  $S_1(\mu) F^{2k}(\mu) = \sum_{v=1}^{\infty} a_{k,v}^{(1)} \mu^{-v}$ ,  $S_2(\mu) F^{2k}(\mu) = \sum_{v=1}^{\infty} a_{k,v}^{(2)} \mu^{-v}$ ,

$$S_3(\mu) F^{2k}(\mu) = \sum_{v=1}^{\infty} a_{k,v}^{(3)} \mu^{-v}.$$

Коэффициенты  $a_{k,v}^{(1)}$ ,  $a_{k,v}^{(2)}$ ,  $a_{k,v}^{(3)}$  находятся по рекуррентным формулам.

Продemonстрируем подробно вывод рекуррентных формул для  $a_{k,v}^{(1)}$ , остальные коэффициенты находятся аналогично.

Имеем:

$$S_1(\mu) F^{2k}(\mu) = \frac{G(\mu)}{2(1+D(\mu))} \left( \frac{E(\mu)}{1+D(\mu)} \right)^k (-1)^k.$$

Обозначим

$$G(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \mu^{-n}; D(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \mu^{-n}; E(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \mu^{-n},$$

$$X(\mu) = \frac{G(\mu)}{1+D(\mu)} = \sum_{n=1}^{\infty} x_n \mu^{-n}; Y(\mu) = \frac{E(\mu)}{1+D(\mu)} = \sum_{n=1}^{\infty} y_n \mu^{-n}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}\sum_{n=1}^{\infty} a_n \mu^{-n} &= \sum_{n=1}^{\infty} x_n \mu^{-n} + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \mu^{-m} \sum_{v=1}^{\infty} x_v \mu^{-v} = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} x_n \mu^{-n} + \sum_{l=2}^{\infty} \mu^{-l} \sum_{k=1}^{l-1} b_k x_{l-k}.\end{aligned}$$

Отсюда:

$$\begin{aligned}x_1 &= a_1; \\ a_n &= x_n + \sum_{k=1}^{n-1} b_k x_{n-k}; \\ x_n &= a_n - \sum_{k=1}^{n-1} b_k x_{n-k}; \quad y_1 = c_1; \quad y_n = c_n - \sum_{k=1}^{n-1} b_k y_{n-k}.\end{aligned}$$

Таким образом

$$a_{1,v}^{(1)} = -\frac{1}{2} \sum_{j=0}^v x_j y_{v-j}; \quad a_{k+1,v}^{(1)} = -\frac{1}{2} \sum_{j=0}^v a_{k,v}^{(1)} y_{v-j}.$$

Учитывая вид  $G(\mu)$ ,  $D(\mu)$ ,  $E(\mu)$ , найдем коэффициенты  $a_n$ ,  $b_n$ ,  $c_n$ .

Используя известные разложения

$$\frac{1}{\sqrt{\mu+\beta}} = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left(1 + \frac{\beta}{\mu}\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \sum_{i=0}^{\infty} l_i \beta^i \mu^{-i},$$

$$\frac{1}{\sqrt{\mu-\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \sum_{i=0}^{\infty} l_i (-1)^i \alpha^i \mu^{-i},$$

$$\sqrt{\mu-\alpha} = \sqrt{\mu} \left(1 - \frac{\alpha}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}} = \sum_{i=0}^{\infty} \tilde{l}_i (-1)^i \alpha^i \mu^{\frac{1}{2}-i},$$

где  $l_i = \frac{\left(-\frac{1}{2}\right) \dots \left(-\frac{1}{2} - i + 1\right)}{i!}$ ;  $\tilde{l}_i = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \dots \left(\frac{1}{2} - i + 1\right)}{i!}$ , получим:

$$a_n = \begin{cases} 2, & n=1; \\ \frac{1}{2} \left( l_{n-1} \beta^{n-1} + (-1)^{n-1} l_{n-1} \alpha^{n-1} + \sum_{k=0}^{n-1} l_k l_{n-k-1} (-1)^k \alpha^k \beta^{n-k-1} \right), & n > 1, \end{cases}$$

$$b_n = \frac{1}{4} \left( \tilde{l}_n (-1)^n \alpha^n + l_n \beta^n + \sum_{k=0}^n \tilde{l}_k (-1)^k \alpha^k l_{n-k} \beta^{n-k} \right),$$

$$c_n = \frac{1}{4} \left( \tilde{l}_n (-1)^{n+1} \alpha^n - l_n \beta^n + \sum_{k=0}^n \tilde{l}_k (-1)^k \alpha^k l_{n-k} \beta^{n-k} \right).$$

Итак, при достаточно больших  $\mu$

$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \left( \sum_{n=1}^{\infty} x_n \mu^{-n} \right)^k \left( \sum_{n=1}^{\infty} y_n \mu^{-n} \right)^k \varepsilon^{2k} (-1)^k + \\
&+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2} \left( \sum_{n=1}^{\infty} r_n \mu^{-n} \right) \left( \sum_{n=1}^{\infty} z_n \mu^{-n} \right) \left( \sum_{n=1}^{\infty} y_n \mu^{-n} \right)^k \varepsilon^{2k+1} (-1)^k + \\
&+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2} \left( \sum_{n=1}^{\infty} t_n \mu^{-n} \right) \left( \sum_{n=1}^{\infty} y_n \mu^{-n} \right)^k (-1)^k \varepsilon^{2k+2},
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
r_n &= \begin{cases} 0, & n < 2; \\ (-1)^n \beta^{n+1}, & n \geq 2, \end{cases} \\
t_n &= q_n - \sum_{k=1}^{n-1} b_k q_{n-k}, \quad z_n = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} b_k z_{n-k}, \\
q_n &= \frac{1}{2} \left( -l_{n-1} \beta^{n-1} - (-1)^n l_{n-1} \alpha^{n-1} + \sum_{k=1}^{n-1} l_k l_{n-k-1} (-1)^k \alpha^k \beta^{n-k-1} \right); n > 1.
\end{aligned}$$

Аналогично получается выражение для  $B$ .

Разложение коэффициента  $A$  в ряд приводится так подробно потому, что представляет наибольшую трудность. Если подставить полученные разложения в (1), то для случаев  $x < r$  и  $u < x$  никаких дополнительных рассуждений приводить не нужно, а для  $r \leq x \leq u$  легко видеть, что функции, на которые умножаются  $A$  и  $B$ , также раскладываются в ряды по степеням  $\varepsilon$  и  $\mu$ .

Таким образом, задача нахождения обратных преобразований Лапласа от  $U(x, \tau, u, r, \alpha, \beta)$  по  $\lambda$  сводится к нахождению обратных преобразований от  $\varepsilon^{2k} \mu^{-v}$  с коэффициентами, не зависящими от  $\mu$ .

Обозначим  $L_{\mu}^{-1}$  обратное преобразование Лапласа по переменной  $\mu$ .

Обратные преобразования Лапласа от функций такого вида для произвольных степеней  $\mu$  выражаются через функции параболического цилиндра  $D_{\nu}(x)$  (см. [3], гл. 5, § 6). В частных случаях используют более простые формулы:

$$\begin{aligned}
L_{\mu}^{-1} \left( \mu^{-1} e^{-\sqrt{2^3 k^2 q^2 \mu}} \right) &= \operatorname{erfc} \left( \frac{kq\sqrt{2}}{\sqrt{t}} \right), \\
L_{\mu}^{-1} \left( \mu^{-2} e^{-\sqrt{2^3 k^2 q^2 \mu}} \right) &= (t + 4k^2 q^2) \operatorname{erfc} \left( \frac{kq\sqrt{2}}{\sqrt{t}} \right) - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\pi} 2^{3/2} kq} e^{-\frac{2k^2 q^2}{t}}.
\end{aligned}$$

Аналогичные формулы справедливы для степеней  $\mu$ , равных  $-1/2, 1/2, 3/2$ . Проще выглядят также формулы для целых степеней  $\mu$ .

В общем случае

$$L_{\mu}^{-1}\left(\mu^{\beta}e^{-\sqrt{2\mu\alpha}}\right)=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}(2t)^{\beta+1}}e^{-\frac{\alpha}{8t}}D_{2\beta+1}\left(\frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{2t}}\right), \alpha > 0.$$

Формулы для  $D(x)$  можно найти в [3, с. 333] либо в [1, с. 621].

**Обоснование сходимости алгоритма.**

При использовании формулы обращения преобразования Лапласа требуется аналитичность функции на полуплоскости  $\operatorname{Re} \lambda > A$ , где  $A$  – произвольная сколь угодно большая константа. Поскольку рассматривается функция, аналитическая в области  $\left|\frac{1}{\lambda}\right| < \delta$ , применение формулы обращения законно и все рассматриваемые ряды сходятся.

**Следствие. Формулы для моментов.**

Пусть  $X$  – время пребывания процесса выше уровня  $r$ , а  $Y$  – выше уровня  $u$ .

При  $x = 0$ ;  $0 < r < u$  найдем формулу для совместного момента распределения  $M(XY)$ .

В силу аналитичности рассматриваемой функции моменты можно найти по формуле

$$M(X^k Y^m) = L_{\lambda}^{-1} \left[ (-1)^{m+k} \partial^{m+k} \frac{U(x, \tau, r, u, \alpha, \beta)}{\partial \alpha^k \partial \beta^m} \right]_{(\alpha=0; \beta=0)},$$

где для заданных условий  $U(x, \tau, r, u, \alpha, \beta) = \frac{1}{\lambda} - \left(\frac{1}{\lambda} - A\right) e^{-r\sqrt{2\lambda}}$ .

Запишем  $A$  в виде:

$$A = \frac{G}{2(1+D)} \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} i^{2k} \left(\frac{E}{1+D}\right)^k - \frac{1}{1+D} \left(\frac{\beta}{\mu+\beta}\right)^{\varepsilon} \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} i^{2k} \left(\frac{E}{1+D}\right)^k \right) + \frac{H}{2(1+D)} \varepsilon^2 \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} i^{2k} \left(\frac{E}{1+D}\right)^k \right) \right).$$

Имеем:

$$E = \frac{1}{4} \left( 1 - \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda+\alpha}} + \frac{\sqrt{\lambda+\alpha}}{\sqrt{\lambda+\alpha+\beta}} + \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda+\alpha+\beta}} \right);$$

$$E|_{\alpha=0} = 0; E|_{\beta=0} = 0; E'_{\beta}|_{\alpha=0} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{2(\lambda+\alpha)} - \frac{\sqrt{\lambda}}{2(\sqrt{\lambda+\alpha})} \right); E'_{\beta}|_{\alpha=0; \beta=0} = 0; E'_{\alpha}|_{\alpha=0; \beta=0} = 0.$$

Так как это аналитическая функция, то можно взять сначала производную по  $\beta$  и приравнять  $\beta = 0$ , а затем взять от получившейся функции производную по  $\alpha$ .

Видно, что все слагаемые, содержащие положительные степени  $E$ , при  $\alpha = 0$  и  $\beta = 0$  равны нулю, следовательно, в сумме останется только по одному слагаемому.

Произведя вычисления, получим:



$$\begin{aligned}
M(XY) &= L_{\lambda}^{-1} \left( \frac{e^{-r\sqrt{2\lambda}}}{\lambda^3} \left( -\frac{1}{8} e^{-2(u-r)\sqrt{2\lambda}} + \frac{7}{8} e^{-(u-r)\sqrt{2\lambda}} \right) \right) = \\
&= L_{\lambda}^{-1} \left( -\frac{1}{8\lambda^3} e^{(-2u+r)\sqrt{2\lambda}} + \frac{7}{8\lambda^3} e^{-u\sqrt{2\lambda}} \right) = \\
&= \int_0^t -\frac{1}{8} (\tau + (2u-r)^2) \operatorname{erfc} \left( (2u-r) \frac{1}{\sqrt{2\tau}} \right) + \\
&+ \frac{1}{8} \frac{\sqrt{2}}{(2u-r)\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau} e^{-\frac{(2u-r)^2}{2\tau}} + \frac{7}{8} (\tau + u^2) \operatorname{erfc} \left( \frac{u}{\sqrt{2\tau}} \right) - \frac{7u\sqrt{2}}{8\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau} e^{-\frac{u^2}{2\tau}} d\tau.
\end{aligned}$$

Этим же методом можно получить выражение и для других смешанных моментов, однако вычисления при этом усложняются (увеличится число слагаемых в сумме).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин А. Н., Салминен П. Справочник по броуновскому движению. СПб.: Лань, 2000.
2. Бородин А. Н., Ибрагимов И. А. Предельные теоремы для функционалов от случайных блужданий. СПб.: Наука, 1994. С. 28–38.
3. Бейтмен Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. Т. 1. М.: Наука, 1969.

*E. E. Zhukova, Yu. V. Kpashennikova, V. A. Smirnova*

*LAPLACE TRANSFORMATION TWODIMENSIONAL DISTRIBUTION TIMES OF STAY OF WIENER PROCESS*

*Algorithm of calculation Laplace transformation twodimensional distribution times of stay of wiener process is found. Answer is received in form of series. The formulas for moments of times of stay are received.*

**Times of stay, Laplace transformation**

УДК 621.399

*Р. И. Сольнищев, А. Е. Романов*

## **ПОДСИСТЕМА САПР ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА И АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ NATIONAL INSTRUMENTS**

*Рассматриваются вопросы автоматизации испытаний приборов, входящих в состав систем автоматического управления, с помощью САПР, а также программных и аппаратных средств компании National Instruments.*

**Испытания, САПР, автоматизация**

**Испытания как обязательный этап проектирования.** Одной из задач, возникающих при проектировании приборов систем управления, является задача испытания, поскольку без испытания хотя бы нескольких опытных образцов невозможны как передача элементов приборов на следующий этап проектирования, так и передача заказчику проекта. Несмотря на возможность математического моделирования, испытания приборов и их элементов остаются одной из необходимых проектных процедур на всех этапах проектирования, поскольку никогда не удается обеспечить полную адекватность математической модели ори-

сигналу, а в некоторых случаях вообще невозможно определить математические модели элементов и процессов в приборах [1], [2].

**Комплексные испытания приборов систем управления.** Важным принципом, который закладывается в организацию испытаний приборов систем автоматического управления (САУ) с помощью САПР, является принцип испытаний на основе комплексного воздействия возмущений. Результаты комплексных лабораторных и заводских испытаний обычно оцениваются на основе суперпозиции реакций на отдельные возмущающие воздействия, такие, как удар, вибрация, качка, перегрузка, тепловые воздействия и т. д., которые воспроизводятся при так называемых частичных испытаниях. При этом весьма сложно оценить степень приближения таких испытаний к реальным условиям работы прибора, когда все возмущения действуют одновременно [1].

Комплексные испытания иногда проводят по схеме простого механического соединения отдельных динамических моделирующих стендов (ДМС). Так, ДМС, имитирующий вибрацию, устанавливается на ДМС, имитирующий качку, и оба стенда помещаются на ДМС, имитирующий ударные воздействия. Однако в такой схеме трудно оценить достоверность испытаний ввиду неконтролируемого взаимодействия отдельных механических элементов испытательного оборудования и сложности соблюдения условий подобия [1].

**Концептуальная модель подсистемы САПР для комплексных испытаний.** Комплексные испытания на основе динамического моделирующего комплекса становятся возможными, если часть возмущающих воздействий задавать непосредственно в прибор “электрически”, формируя с помощью компьютера соответствующие возмущения, предварительно записанные по априорным данным, полученным на стадии натуральных и частичных испыта-

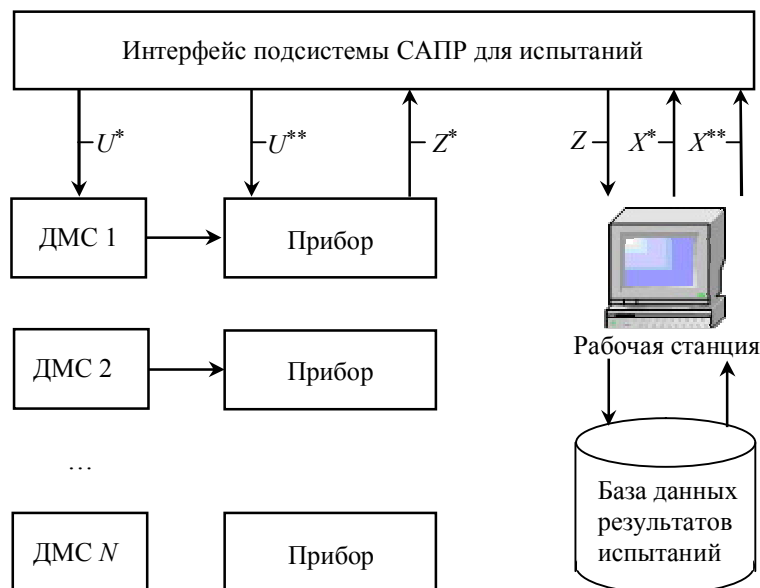


Рис. 1

ний, а часть механически через ДМС. На рис. 1 представлена схема предлагаемого подхода к комплексному испытанию, где обозначено:

$X^*$  – вектор сигналов, моделирующих “механическую” часть составляющих возмущений на объект через ДМС;

$X^{**}$  – вектор сигналов, моделирующих остальные составляющие возмущений “электрически”;

$U^*$  – вектор возмущений, адекватных  $X^*$ , вводимых в ДМС;

$U^{**}$  – вектор возмущений, адекватных  $X^{**}$ , преобразованных для ввода в объект;

$Z, Z^*$  – векторы сигналов состояния объекта.

Алгоритм испытаний приборов по данной схеме строится на основе эквивалентирования электрическими возмущениями механических, тепловых и других воздействий на прибор со стороны внешней среды и внутренних источников. Сигналы состояния прибора, снимаемые с датчиков, измеряются и сохраняются в базе данных для последующей обработки и формирования электрической составляющей испытательного воздействия.

Чтобы наиболее эффективно сформировать такие воздействия, необходимо обеспечить достаточное формирование и актуализацию базы данных результатов испытательных процедур. Предприятия, участвующие в проектировании приборов САУ, зачастую могут обеспечить частичные испытания на какое-либо одно возмущающее воздействие. Для наиболее полного формирования базы данных результатов испытаний необходим аппаратно-программный комплекс испытаний с возможностями удаленного сбора информации по испытательным процедурам на различных предприятиях и на различных ДМС.

#### ***Описание предложенной подсистемы САПР.***

В ходе совместной научно-исследовательской работы Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета и фирмы “Акварин” была реализована подсистема САПР для испытаний по предложенной выше схеме, входящая в общую структуру динамического моделирующего комплекса для испытаний. Широкие возможности программного обеспечения и аппаратной части, предоставляемых компанией National Instruments, позволили создать аппаратно-программный комплекс для испытаний, отличающийся высокой эксплуатационной гибкостью и адаптивностью, а также способный реконфигурировать аппаратную и программную части в зависимости от задач. Приложение позволяет генерировать испытательные воздействия, осуществлять сбор, обработку и хранение в базе данных информации о состоянии объекта испытаний [3]. Кроме того, реализована возможность удаленного управления процессом испытаний и его мониторинга, а также защита публикуемых данных от несанкционированного доступа [4].

Результаты испытательных процедур, проведенных на разных предприятиях и на различных ДМС, записываются в единую базу данных на сервере испытаний для последующей обработки и формирования “электрической” составляющей возмущающих воздействий (рис. 2).

Предложенная структура комплекса позволяет также управлять испытаниями на нескольких предприятиях в реальном времени и проводить автоматизированные комплексные испытания по результатам частичных испытаний на отдельных предприятиях и ДМС.



Рис. 2

Автоматизация испытаний с применением предложенного метода на комплексное воздействие позволит не только полностью симитировать реальные условия функционирования прибора, но и значительно сократить стоимость испытательных процедур, а также решать на первых витках проектирования задачи, которые в настоящее время ставятся только на стадии натурных испытаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев Р. И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления. М.: Высш. шк., 1991.
2. Испытания электронной аппаратуры: быстро и эффективно / В. Денисенко, П. Ерещенко, Р. Кильметов и др. // Компоненты и технологии. 2004. № 4. С. 18.
3. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / П. А. Бутырин, Т. А. Васьковская, В. В. Каратаева, С. В. Материкин. М.: ДМК Пресс, 2005.
4. Патрахин В. А. Технология публикации приложений LabVIEW в Internet (WEB Publishing Tool) // Пикад. 2004. № 3. С. 28.

*R. I. Solnicev, A. E. Romanov*

*CAD SUBSYSTEM FOR TESTS BASED ON DYNAMIC MODELING COMPLEX AND HARDWARE AND SOFTWARE FROM NATIONAL INSTRUMENTS*

*The article is dedicated to questions of automation of test procedures using CAD system and hardware and software from National Instruments.*

**Test procedures, CAD, automation**



УДК 681.513.6

В. Б. Второв, Д. М. Филатов

## ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ И СИГНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИЕЙ

*Даны рекомендации по синтезу адаптивных систем с эталонной моделью (АСЭМ) с учетом влияния паразитной динамики в объекте управления и ограниченности управляющих воздействий. Сформулированы критерии оценки эффективности подавления параметрических и внешних возмущений в АСЭМ. Разработан комплекс программного обеспечения на базе MATLAB, предназначенный для автоматизации проведения серий моделирования, первичной обработки, сохранения и визуализации результатов.*

**Адаптивная система с эталонной моделью, сигнальная адаптация, расчет параметров адаптивного механизма, паразитная динамика**

При управлении многими техническими устройствами в промышленности и специальной технике все чаще отдается предпочтение адаптивным системам с эталонной моделью (АСЭМ) и сигнальным алгоритмом адаптации. Например, в последнее время адаптивные регуляторы начали применяться в электрогидравлических приводах рулевых поверхностей высокоманевренных самолетов производства КБ Сухого. Определяющим фактором, обусловившим выбор сигнальной самонастройки, явился вопрос обеспечения максимальной скорости адаптации.

Чаще всего параметры адаптивного регулятора определяются в процессе компьютерного моделирования системы исходя из интуитивных представлений разработчика о желаемом качестве процессов в системе при наличии внешних и параметрических возмущений. В статье сделана попытка уточнить связь между качеством адаптации системы к параметрическим и внешним возмущениям и параметрами адаптивного механизма АСЭМ. Кроме того, рассмотрены вопросы учета влияния паразитной динамики объекта управления и ограничения управляющего воздействия на качество переходных процессов и, следовательно, на выбор параметров адаптивного регулятора.

**Математическое описание АСЭМ.** Пусть объект управления (ОУ) задан уравнением

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

где  $\mathbf{x} \in R^n$  – вектор состояния;  $u \in R$  – управление;  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$  – неизвестные, но постоянные матрицы. Желаемая динамика объекта описывается уравнением эталонной модели (ЭМ)

$$\dot{\mathbf{x}}_m(t) = \mathbf{A}_m \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{B}_m g(t), \quad \mathbf{x}_m(t_0) = \mathbf{x}_{m0},$$

где  $\mathbf{x}_m \in R^n$  – вектор состояния ЭМ;  $g(t) \in R$  – задающее воздействие;  $\mathbf{A}_m$  и  $\mathbf{B}_m$  – постоянные матрицы, причем  $\mathbf{A}_m$  – гурвицева. Предполагаются полная управляемость и наблюдаемость троек  $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$  и  $(\mathbf{A}_m, \mathbf{B}_m, \mathbf{C})$ , а также выполнение условий согласованности

$$\begin{cases} \mathbf{A} - \mathbf{A}_m = \mathbf{B}_m \mathbf{B}_m^+ (\mathbf{A} - \mathbf{A}_m); \\ \mathbf{B} = \mathbf{B}_m \mathbf{B}_m^+ \mathbf{B}, \end{cases}$$

где  $\mathbf{B}_m^+ = (\mathbf{B}_m^T \mathbf{B}_m)^{-1} \mathbf{B}_m^T$ .

Алгоритм сигнальной адаптации в классической форме [1]

$$u(t) = g(t) - z(t),$$

$$z(t) = h \operatorname{sign} \sigma, \quad (1)$$

$$\sigma = \mathbf{r}^T \mathbf{e}(t),$$

$$\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_m(t),$$

$$\mathbf{r}^T = \mathbf{B}_m^T \mathbf{P}, \quad (2)$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}^T > 0: \mathbf{A}_m^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A}_m = -\mathbf{Q}, \quad \mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T > 0 \quad (3)$$

обеспечивает достижение цели адаптации вида  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{e}(t)\| = 0$ . В уравнении (1) коэффициент

$h > 0$  характеризует способность АСЭМ подавлять параметрические, аддитивные и нелинейные возмущения в объекте управления и оценивается неравенством [2]

$$h \geq \max \left| \frac{\mathbf{B}_m^+ \{(\mathbf{A} - \mathbf{A}_m) \mathbf{x} + (\mathbf{B} - \mathbf{B}_m) g\}}{\mathbf{B}_m^+ \mathbf{B}} \right|. \quad (4)$$

**Уравнения адаптивной системы в форме отклонений и анализ характеристического полинома адаптивной системы в скользящем режиме [2].** Пусть задающее воздействие постоянно ( $g = \text{const}$ ), а состояние равновесия системы асимптотически устойчиво, что обеспечивается надлежащим назначением скаляра  $h$  и вектора  $\mathbf{r}$ . Тогда установившееся состояние  $\left[ (\mathbf{x}_m^\infty)^T (\mathbf{x}^\infty)^T \right]^T$  есть состояние равновесия. Произведем замену переменных, перейдя к отклонениям переменных от установившихся значений:  $\tilde{\mathbf{x}}_m = \mathbf{x}_m - \mathbf{x}_m^\infty$ ,  $\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^\infty$ ,  $\tilde{z} = z - z^\infty$ , где  $\mathbf{x}_m^\infty = -\mathbf{A}_m^{-1} \mathbf{B}_m g$ ,  $\mathbf{x}^\infty = -\mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} g + \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} z^\infty$ ,  $z^\infty = (1 - \alpha^{-1} \alpha_m) g$ ,  $\alpha_m = \mathbf{r}^T \mathbf{A}_m^{-1} \mathbf{B}_m > 0$ . Тогда получим уравнения системы в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\tilde{\mathbf{x}}}_m \\ \dot{\tilde{\mathbf{x}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_m & 0 \\ 0 & \mathbf{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_m \\ \tilde{\mathbf{x}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\mathbf{B} \end{bmatrix} \tilde{z}. \quad (5)$$

Вне скользящего режима, когда  $\sigma(t) \neq 0$ ,  $z = \begin{cases} h \\ -h \end{cases} = \text{const}$ , динамика системы, согласно

(5), определяется характеристическим полиномом  $D(p) = \det(p\mathbf{I} - \mathbf{A}_m) \det(p\mathbf{I} - \mathbf{A})$ , где  $p$  – комплексная переменная, т. е. множество собственных значений матрицы системы состоит из множества собственных значений  $\mathbf{A}_m$  и множества собственных значений  $\mathbf{A}$ .

В скользящем режиме ( $\sigma(t) = \sigma(t) = 0$ ) адаптирующее воздействие  $\tilde{z}$  является линейной функцией переменных  $\tilde{\mathbf{x}}$  и  $\tilde{\mathbf{x}}_m$ :  $\tilde{z} = (\mathbf{r}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{r}^T (\mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{A}_m \tilde{\mathbf{x}}_m)$ , в силу чего характеристический полином системы будет иметь вид

$$D_a(p) = \begin{vmatrix} p\mathbf{I} - \mathbf{A}_m & 0 \\ -(\mathbf{r}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B} \mathbf{r}^T \mathbf{A}_m & p\mathbf{I} - (\mathbf{I} - (\mathbf{r}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B} \mathbf{r}^T) \mathbf{A} \end{vmatrix} = \\ = \det(p\mathbf{I} - \mathbf{A}_m) \det(p\mathbf{I} - \mathbf{A} + (\mathbf{r}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B} \mathbf{r}^T \mathbf{A}) = D_m(p) D_e(p), \quad (6)$$

причем матрица  $\mathbf{I} - (\mathbf{r}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B} \mathbf{r}^T$  – особенная, т. е. имеет по крайней мере одно нулевое собственное значение.

**Тестовая система.** Для выявления основных закономерностей влияния параметров адаптивного механизма на качество адаптации целесообразно использовать простую математическую модель объекта управления. Рассмотрим систему с ОУ второго порядка. Эталонная модель описывается как ОУ при номинальных (невозмущенных) значениях параметров:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1m} \\ \dot{x}_{2m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_{2m} & -a_{1m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1m} \\ x_{2m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{0m} \end{bmatrix} g,$$

$a_{1m} = \sqrt{2}\omega_{0m}$ ,  $a_{2m} = \omega_{0m}^2$ ,  $b_{0m} = \omega_{0m}^2$ , где  $\omega_{0m}$  – среднегеометрический корень характеристического полинома эталонной модели. Неопределенные параметры ОУ:  $a_1 = 2\xi\omega_0$ ,  $a_2 = \omega_0^2$ ,  $b_0 = \omega_0^2$ , где  $\omega_0 = \omega_{0m}/pv$ ; коэффициенты  $pv$  и  $\xi$  характеризуют параметрические возмущения в ОУ. С целью огрубления алгоритма адаптации (учета наличия в ОУ паразитной динамики) знаковая функция заменена в нем функцией насыщения

$$z = \begin{cases} -h, & \text{при } k(r_1 e_1 + r_2 e_2) \leq -h, \\ k(r_1 e_1 + r_2 e_2), & \text{при } -h < k(r_1 e_1 + r_2 e_2) < h, \\ h, & \text{при } k(r_1 e_1 + r_2 e_2) \geq h, \end{cases}$$

где  $k$  – коэффициент наклона среднего участка,  $r_1$  и  $r_2$  – коэффициенты при компонентах  $e_1$  и  $e_2$  обобщенной ошибки, рассчитываемых как разности между переменными со-

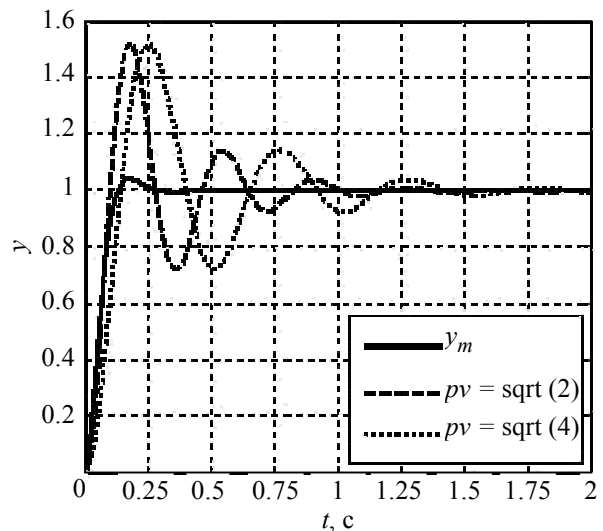


Рис. 1

стояния ОУ и ЭМ:  $e_1 = x_1 - x_{1m}$ ,  $e_2 = x_2 - x_{2m}$ . На рис. 1 представлены переходные характеристики ОУ при параметрических возмущениях различной глубины и выключенном адаптивном регуляторе (для сравнения там же приведена реакция ЭМ  $y_m(t)$ ,  $\omega_{0m} = 25 \text{ c}^{-1}$ ).

**Анализ влияния параметров адаптивного механизма на эффективность подавления параметрических возмущений.** Рассмотрим влияние параметров адаптивного регулятора  $h$ ,  $k$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  (без потери общности примем  $r_1 = 1$ ) на эффективность подавления параметрических и внешних возмущений на примере тестовой системы. Для оценки эффективности подавления параметрических и внешних возмущений воспользуемся функционалами  $J_1 = \max(|e_1|)$  и  $J_2 = \int e_1^2 dt$ .

Оценим сначала влияние параметров адаптивного регулятора на максимальное рассогласование движений ОУ и ЭМ. На рис. 2 представлены зависимости значений  $J_1$  от значений параметров адаптивного механизма  $h$  и  $r_2$  (при  $pv = \sqrt{2}$  и  $\xi = \sqrt{2}$ ) в виде группы поверхностей, соответствующих различным значениям коэффициента  $k$  (последний принимает значения от 10 до 10 000 с шагом в один порядок).

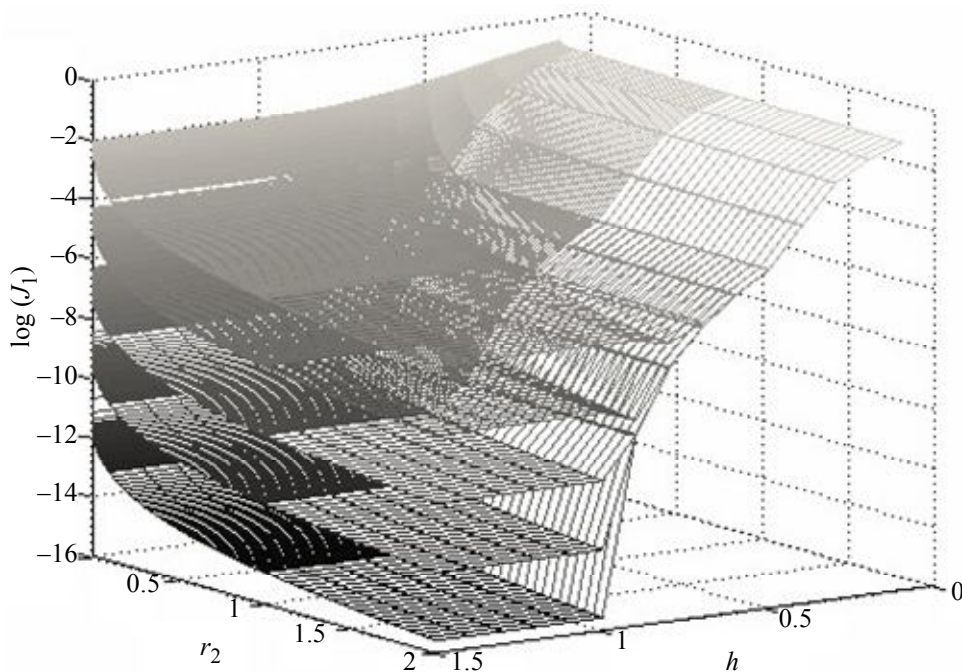


Рис. 2

На приведенных графиках поверхности располагаются друг под другом: при увеличении коэффициента  $k$  значение функционала  $J_1$  уменьшается. Таким образом, верхним поверхностям соответствует  $k = 10$ , а нижним –  $k = 10\,000$ . При малых значениях  $h$  поверхности близки друг к другу и почти сливаются при значениях  $h$ , меньших некоторого граничного значения  $h_{гр}$  ( $h_{гр} = 1$  при  $pv = \sqrt{2}$ ). При увеличении  $h$  выше этого значения максимальная ошибка не меняется. Стоит обратить внимание и на то, что с увеличением коэффициента  $r_2$  максимальное рассогласование движения объекта управления и эталонной модели уменьшается.



При увеличении кратности параметрических возмущений  $pv$  объект управления становится «более медленным» (при этом в силу соотношения  $b_0 = b_{0m}/pv^2$  уменьшается контурный коэффициент усиления), а уменьшение коэффициента демпфирования приводит к большей склонности к колебаниям.

В АСЭМ максимальное значение управляющего воздействия равно сумме задающего воздействия  $g$  и амплитуды  $h$  сигнала адаптации. Значение  $h$  должно быть достаточным, чтобы суммарный управляющий сигнал смог в необходимых пределах форсировать переходный процесс в системе с возмущенными параметрами. Несложное исследование показало, что при  $pv = \sqrt{1.5}$  и  $pv = \sqrt{2}$  разность максимальных ускорений ОУ при возмущенных и номинальных параметрах может быть полностью скомпенсирована при амплитуде сигнала адаптации 0.5 и 1 соответственно. Эти значения совпадают с граничными значениями  $h$ , которые были определены по рис. 2.

Для первичной оценки влияния параметров адаптивного механизма на вид переходного процесса в АСЭМ был использован функционал  $J_2$ . Выявлено, что зависимость  $J_2$  от коэффициента  $k$  при  $h > h_{\text{тр}}$  аналогична рассмотренной зависимости  $J_1$  от  $k$ , т. е. с увеличением коэффициента  $k$  значение функционала уменьшается, но при  $h > h_{\text{тр}}$  дальнейшее увеличение  $h$  практически не влияет на значение  $J_2$ . Если же  $h \leq h_{\text{тр}}$ , то существуют локальные минимумы по  $h$ . Так, для  $pv = \sqrt{2}$  при  $k = 10$  наблюдается ярко выраженный локальный минимум при  $h = 0.7$ ; при  $k = 100$  минимум соответствует  $h = 0.9$ .

По виду поверхности и характеру расположения линий равносигнального уровня определено, что наименьшее значение функционала  $J_2$  достигается при значениях  $r_2 < 0.2$ , а увеличение коэффициентов  $k$  и  $h$  (при  $h \leq h_{\text{тр}}$ ) приводит к уменьшению значения функционала  $J_1$ . Поэтому более подробно был рассмотрен вид переходных процессов при  $h = 0.5$  и  $h = 1$ ,  $k = 100$ ,  $k = 1000$  для различных параметрических возмущений. Коэффициент  $r_2$  изменялся в пределах от 0.01 до 0.34. Это обусловлено тем, что при меньших значениях  $r_2$  функционалы  $J_1$  и  $J_2$  весьма велики (переходный процесс обладает ярко выраженным колебательным характером), а при больших значениях процесс является монотонным и сильно затянутым, что заставляет исключить эти значения  $r_2$  из дальнейшего рассмотрения. Серии переходных процессов с указанными параметрами представлены на рис. 3 (значение коэффициента  $r_2$ , которому соответствует тот или иной переходный процесс, можно определить по шкале справа от графика).

Из приведенных графиков видно, что при значениях параметра  $h$ , достаточных для подавления параметрических возмущений ( $h = 1$ ), коэффициенты  $k$  и  $r_2$  заметно влияют на значение максимальной ошибки, причем изменение  $k$  не изменяет вида переходной характеристики, а изменение  $r_2$  сказывается именно на характере процесса и, как следствие, на значении максимальной ошибки. При более ощутимых параметрических возмущениях, ко-

гда значения параметра  $h$  не хватает для «полной» компенсации изменения параметров ( $h = 0.5$ ), влияние коэффициента  $k$  на масштаб переходных процессов проявляется не столь существенно. Тенденция влияния значения коэффициента  $r_2$  на характер переходного процесса всегда одинакова: при уменьшении  $r_2$  процесс приобретает колебательный характер, увеличение  $r_2$  приводит к уменьшению максимальной ошибки и к его затягиванию. Таким образом, наиболее интересными для дальнейшего рассмотрения являются переходные процессы, находящиеся на границе между «колебательными» и «затянутыми».

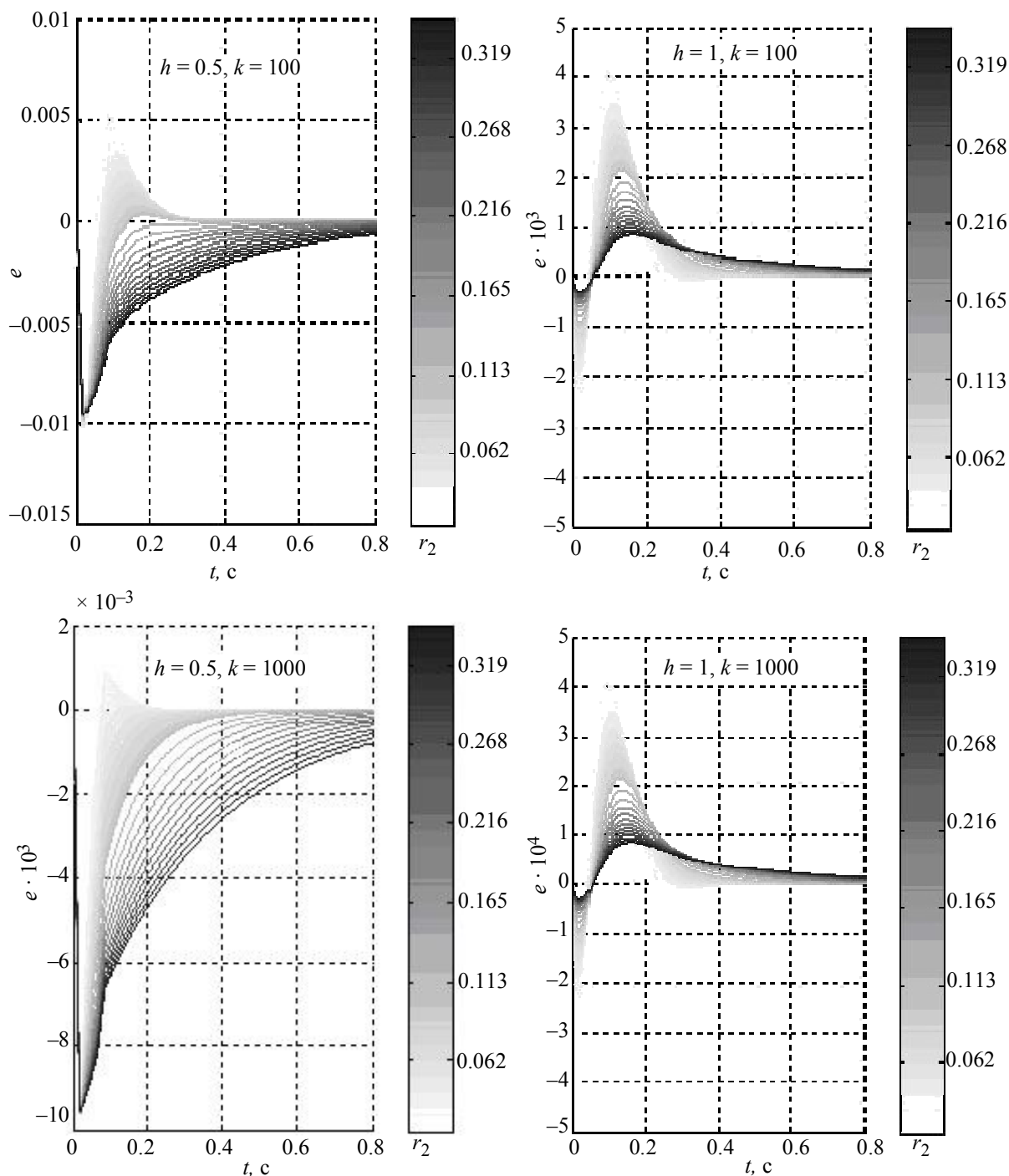


Рис. 3

**Выбор соотношений между компонентами вектора  $\mathbf{r}$ .** При достаточно большом значении коэффициента  $h$  рабочая точка большую часть времени переходного процесса находится на наклонном участке нелинейной статической характеристики, что соответствует скользящему режиму, являющимся основным и предпочтительным режимом работы системы. Вектор  $\mathbf{r}$  определяет соотношение между компонентами вектора  $\mathbf{e}$ , при котором происходит переход из режима переключения в скользящий режим, а также задает желаемую динамику затухания ошибки в скользящем режиме, т. е. желаемый полином  $D_e(p)$ . Теоретически значение  $\mathbf{r}$  можно вычислить из соотношений (2) и (3). Однако в силу произвольности матрицы  $\mathbf{Q}$  правильнее задавать вектор  $\mathbf{r}$  исходя из желаемых свойств полинома  $D_e(p)$ . Согласно (6), движение адаптивной системы складывается из двух движений – эталонной модели и ошибки. Чтобы не ухудшать динамику АСЭМ, ненулевые корни полинома  $D_e(p)$  (в тестовой системе – корень  $-1/r_2$ ) не должны располагаться правее наибольшего корня ЭМ. Поэтому в тестовой системе значение  $r_2$  не должно превышать 0.057. При выборе  $r_2 > 0.057$  наблюдаем «затянутость» переходных процессов. С другой стороны, делать собственную динамику затухания ошибки слишком быстрой нет смысла: длительность переходной характеристики системы все равно будет не меньше длительности процессов в ЭМ. Кроме того, как показало моделирование, при желании ускорить динамику ошибки путем уменьшения коэффициента  $r_2$  увеличивается максимальное значение ошибки и возрастает склонность системы к колебаниям; тогда ухудшается вид адаптирующего воздействия  $z$  при сильных параметрических возмущениях.

Таким образом, в качестве рекомендации по выбору вектора  $\mathbf{r}$  можно предложить назначать его таким образом, чтобы динамика, определяемая характеристическим полиномом ошибки, была близка к динамике объекта управления с невозмущенными параметрами (т. е. эталонной модели). Говоря более точно, при управлении объектом  $n$ -го порядка в качестве характеристического полинома уравнения ошибки должен быть выбран устойчивый полином  $(n - 1)$ -й степени  $r_1 + r_2 p + \dots + r_n p^{n-1}$  (где  $r_1, \dots, r_n$  – компоненты вектора  $\mathbf{r}$ ), доминирующие корни которого должны быть близки (по какому либо критерию) к доминирующим корням характеристического полинома эталонной модели.

**Выбор параметров функции насыщения.** Нижнюю границу значений коэффициента глубины адаптации  $h$  формально можно оценить, используя неравенство (4). Однако оценка выражения в правой части этого неравенства весьма трудоемка и неточна. На практике с целью наиболее эффективного подавления параметрических и внешних возмущений можно рекомендовать выбирать как можно большее значение коэффициента  $h$  с учетом ограниченности реальных управляющих воздействий, т. е. значение  $h$  должно быть соизмеримо с максимальным задающим воздействием, при котором управляющие воздействия на объект управления со стороны штатного регулятора близки к максимальным значениям.

**Роль паразитной динамики ОУ и эффективность подавления внешних возмущений.** При выборе значения коэффициента наклона  $k$  среднего участка функции насыщения существенную роль играет правильная оценка паразитной динамики в объекте управления. По-

следнюю всегда можно приближенно описать апериодическим звеном с эквивалентной постоянной времени, выбранной с запасом (т. е. для «наихудшего» случая). Для этого можно рекомендовать назначать паразитную постоянную времени так, чтобы соответствующий ей корень располагался в 5 раз дальше от мнимой оси, чем ближайший к нему корень характеристического полинома эталонной модели. В этом случае коэффициент  $k$  должен быть выбран так, чтобы в контуре, состоящем из модели объекта управления с учетом паразитной динамики, блока с передаточной функцией в виде полинома ошибки  $r_1 + r_2 p + \dots + r_n p^{n-1}$  и пропорционального звена с коэффициентом передачи  $k$ , обеспечивался запас устойчивости, соответствующий слабо- или умеренно колебательным процессам.

Как показал анализ передаточной функции по внешнему возмущающему воздействию системы, работающей на наклонном участке нелинейного элемента, увеличение значения коэффициента  $k$  повышает эффективность подавления внешних возмущений, что подтверждается результатами моделирования. Также моделирование показало, что значение  $k$  оказывает существенное влияние на вид управляющего воздействия. Так, при увеличении коэффициента  $k$  увеличивается частота колебаний адаптирующего сигнала  $z$ , что может негативно сказаться на элементах и устройствах объекта управления (например, на усилителе мощности). Таким образом, рекомендуется выбирать значение коэффициента  $k$  максимально возможным с учетом ограничений, наложенных на вид адаптирующего воздействия. Отметим, что влияние значения этого коэффициента сказывается на виде управляющего воздействия независимо от наличия параметрических возмущений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1984.

2. Второв В. Б., Калмыков А. Н. Некоторые вопросы расчета и практической реализации систем с сигнальной адаптацией // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2003. Сер. «Автоматизация и управление». Вып. 1. С. 37–42.

*V. B. Vtorov, D. M. Filatov*

*ON CALCULATION OF ADAPTIVE CONTROLLER PARAMETERS FOR A MODEL REFERENCE SYSTEM WITH SIGNAL-TYPE ADAPTATION*

*Recommendations on model reference adaptive systems (MRAS) synthesis are given taking into account the plant unmodelled dynamics and control action scantiness. Some criteria are formulated for evaluation of efficiency of parametric perturbations and external disturbances suppression in MRAS. A Matlab-based bundled software is developed for automation of data multiple simulation, preprocessing, saving, and visualization.*

**Model reference adaptive system, signal-type adaptation, adapter parameter calculation, unmodelled dynamics**



УДК 681.5

Л. П. Козлова, О. А. Козлова

## РОБОТЫ ТОЖЕ МОГУТ ВИДЕТЬ

*Робототехника нашего времени уже достаточно развита, чтобы роботы могли не только повторять простые команды, посылаемые с пульта управления человеком (например повернуться на заданный угол). Последние модели роботов уже вполне способны воспроизводить некоторые функции человеческого организма, и в частности – зрение.*

**Робототехника, система технического зрения, изображение, сегментация, распознавание образа, нейронные системы, нечеткие системы, инвариантные числа, андроид**

В настоящее время робототехника демонстрирует все более и более сложные разработки в области интеллектуальных роботов (их также называют гуманоидами и андроидами). Роботы могут слышать, видеть, ходить, говорить, даже танцевать. И попытки создать все более похожего на человека робота не прекращаются.

Человек воспринимает внешний мир с помощью органов чувств: зрения, слуха, осязания, обоняния и т. д. Поэтому, чтобы робот мог воспроизводить общение, как живой, его тоже снабжают органами чувств, сделанными, насколько это возможно, по принципу человеческих.

В систему управления интеллектуальным роботом в целом должны входить:

1. Обработка сенсорных данных, т. е. обработка информации, собираемой с датчиков и камер, установленных на роботе – основного материала для взаимодействия робота с внешней средой.

2. Постановка целевых задач, т. е. планирование дальнейших действий робота.

3. Формирование способов реализации поставленных задач.

4. Непосредственно решение поставленных задач\*.

Для качественной обработки сенсорных данных требуется система распознавания образа, которая могла бы не только определять знакомые объекты, но и расширять свою базу знаний.

Для такой системы необходимы:

– база знаний с дальнейшей возможностью ее корректирования;

– система отслеживания заданного образа.

\* <http://robot-rad.narod.ru/target.html>

Для начала следует разобраться, как вообще происходит считывание информации с сенсоров.

Одним из важнейших источников данных как у человека, так и у робота является, конечно, зрение.

Можно условно считать, что в систему восприятия зрительных образов у робота входят:

1. *Ввод изображения.* Обеспечивает последовательное изъятие кадров, получаемое из сигнала с видеокамер («глаз» робота). Обязательным требованием является выделение в памяти места для хранения кадров и строго заданный размер получаемой картинки – последнее обусловлено необходимостью быстрой обработки входной информации, а значит, невозможностью выделять большой объем памяти.

2. *Предварительная обработка изображения.* Полученное изображение может быть в силу разных причин искажено помехами, и чем меньшая камера будет установлена, тем будет больше помех.

Предварительная обработка включает в себя:

- преобразование цветного изображения в черно-белое. Это можно сделать, например, таким образом: сначала все цвета преобразуются по формуле

$$\text{цвет} = 0.3R + 0.59G + 0.11B,$$

где R – красный цвет, G – зеленый; B – синий, и если значение цвета выше установленного порогового значения, то он считается черным, если меньше – белым;

- устранение погрешности объектива камеры, которая воспринимает первичное изображение, поскольку для наиболее точного распознавания образа необходимо минимизировать все имеющиеся погрешности, в том числе и аппаратные.

3. *Обнаружение препятствий.* (Имеется в виду обнаружение посторонних предметов, находящихся перед искомым объектом.) Оно должно происходить в режиме реального времени, а значит – использовать быстродействующие алгоритмы, обеспечивая при этом оптимальную организацию структуры данных. Для этого необходимой процедурой является сегментация, т. е. разбиение общего объекта на части, каждая из которых должна содержать один объект.

Существует множество методов сегментации. По участию человека в работе алгоритмы можно разделить на автоматические, т. е. такие, в которых присутствие человека не требуется, и интерактивные – для них необходимо задавать часть параметров вручную.

В свою очередь, автоматическая сегментация включает в себя:

- разделение изображения на области с заданными свойствами. В этом случае она заключается в определении областей, о которых имеется некоторая начальная информация (например, известен искомый объект или его цвет, или форма);

- разделение изображения на однородные области. Тут отсутствует необходимость в предварительной информации, однако этот метод предполагает наложение ограничений на само разбиение. Это достаточно универсальный способ сегментации, и он может использоваться в разных задачах.

Ввиду того что сегментация – лишь часть системы восприятия зрительных образов, результат ее работы рассматривается исходя из результатов работы системы в целом. Но для того чтобы выделить и оценить качество работы конкретно сегментации, обычно за объектом закрепляют несколько свойств, необходимых для положительных результатов (например, схожесть выделенных областей, различие между соседними областями и т. п.). И если результат соответствует этим свойствам, то метод сегментации выбран удачно.

Применение метода сегментации зависит от конкретной задачи и выбирается исходя из того, какие результаты должны быть получены. По тому же принципу выбираются и свойства разбиения для данной задачи.

4. *Распознавание образа.* Последний этап, заключающийся в окончательной обработке изображения, выявлении объекта и принятии решения: продолжать ли наблюдать за ним.

Особенности алгоритмов распознавания зрительных образов можно свести к следующему:

- отсутствие необходимости распознавать абсолютно все образы на каждом полученном от камер изображении – достаточно обеспечить слежение за одним заданным образом;
- важность деления задачи распознавания зрительного образа – можно подразделить на определение количества повторений образа и слежение за одним из повторений;
- необходимость создания алгоритма добавления новых образов в базу данных и обеспечение их корректировки и удаления.

В общем случае система распознавания зрительных образов относится к системам технического зрения.

Теория технического зрения существует уже достаточно давно, поэтому и подходов к ее реализации немало. Кратко рассмотрим некоторые из них.

**Алгоритмы скелетизации.** Этот метод используется в случаях, когда распознаваемые объекты можно считать плоскими, бинарными. Он основан на создании «скелетов» исходных образов, из которых в свою очередь выделяются ребра и узлы. Далее анализируется количество ребер и узлов, их соотношения и на основе этих данных строится таблица соответствия образам. Метод может быть реализован разными способами.

Одним из таких способов можно считать использование топологического описания, если выделять только внешние и внутренние контуры объекта. Иногда все возможные изображения класса можно представить как гомоморфные преобразования эталонного изображения этого класса. Тогда задача распознавания сводится к установлению соответствия исходного изображения с эталонным. Это соответствие находится с помощью свойств, неизменных при его геометрической деформации. Описание исходного объекта создается путем обхода контуров изображения и фиксации индексов точек. Впоследствии это описание сравнивается с описанием эталона. Достоинством этого метода можно считать нечувствительность к сильной деформации изображения; однако он работает только в условиях отсутствия помех.

Другим способом можно считать метод событийного распознавания. В его основе лежит топологическая структура объекта, которая разделяется на линии. Топологическая структура не должна меняться при малых деформациях объекта. «Обучением» метода здесь можно считать создание эталонов для большой выборки образов. Сутью этого метода явля-

ется создание событийного представления об исходном объекте и его дальнейшее сравнение с эталонным. К его достоинствам можно отнести хорошее быстродействие, но и этот способ, так же как и предыдущий, чувствителен к помехам<sup>\*</sup>.

**Нейросетевые структуры (НС).** Достаточно активно развивающееся направление. Структура нейронных сетей представляет собой связанные между собой нейроны. В многослойных нейронных сетях (МНС) слои последовательно соединены между собой, причем каждый нейрон последующего слоя соединен со всеми нейронами предыдущего. Очень важным свойством сети является возможность параллельного функционирования нейронов. Основным преимуществом НС являются гибкие механизмы обучения, но на результат серьезно влияет выбор поступающих на вход данных.

Однослойные НС способны восстанавливать изображения с помехами, для более сложных задач необходимо применять сети с большим количеством слоев.

Рассмотрим функционирование МНС для системы распознавания зрительных образов. На вход подается исходный объект. Также задается некоторый уровень активности нейронов. Если нейрон обладает максимальной активностью для данного объекта ниже этого уровня, то объект не относится ни к одному из заданных эталонов. Если же выделяется нейрон с максимальной активностью выше заданного уровня, то это указывает на соответствие объекта эталону. Процесс установления соответствия входного изображения эталонному называется «обучением с учителем». Отрицательной стороной данного метода является существенное возрастание времени обработки входного изображения при наличии большой базы эталонов.

**Инвариантные числа.** Приведем простейший алгоритм этого подхода:

- выделяется ряд особенностей изображения;
- каждая выделенная точка сравнивается со всеми подобными точками заданного изображения, и с помощью заданной меры определяются максимально похожие особенные точки.

- из всех точек выбирается такая, у которой заданная мера меньше.

Данный алгоритм скорее показательный и не эффективен на практике из-за своей чувствительности к любым искажениям особых точек.

В общем случае этот алгоритм можно представить как выделение инвариантных относительно размера и поворота изображения чисел входного изображения.

**Поточечное процентное сравнение с эталоном.** Способ требует предварительной обработки входного объекта с целью получения его размеров и положения. Задается некоторая мера, и объект сравнивается с эталонами. Если при сравнении мера получилась больше заданной, то объект считается распознанным<sup>\*\*</sup>.

**Структуры на основе нечеткой логики.** Используется механизм нечеткого вывода, в основе которого лежат заданные изначально эталоны. Попавший на вход объект подвергает-

---

<sup>\*</sup> <http://ocr.ai.narod.ru/skeletrecognize.html>

<sup>\*\*</sup> [http://www.rusnauka.narod.ru/lib/author/briluk\\_d\\_b/1/index.html](http://www.rusnauka.narod.ru/lib/author/briluk_d_b/1/index.html)



ся нечеткой обработке, в результате которой формируются продукционные правила, определяющие зависимость между входными и выходными объектами. Также формируются функции принадлежности, определяющие степень соответствия исходных данных эталонным. Особенностью этого способа является не строгое отнесение объекта к какому-либо эталону, а некоторая вероятность принадлежности данных к образцу.

Система восприятия зрительных образов – это лишь одна из возможных систем контакта робота с внешним миром (так же как и человека). Если таких систем несколько, то для принятия решения о дальнейших действиях роботу необходимы обобщения сенсорной информации.

В систему обобщения сенсорной информации входят:

1. Блок, формирующий эталонную кинематическую и динамическую модели робота. Впоследствии на основе этой модели идет сравнение с показаниями, которые робот получает, и это сравнение является показателем достоверности показаний датчиков. Однако следует помнить о том, что математически описанная модель может иметь серьезные расхождения с реально существующей.

2. Блок сравнения. Сравнивает рассчитанные параметры движения робота с полученными от органов чувств. На выходе имеем результат сравнения – наиболее достоверную информацию, которая используется в дальнейшем функционировании робота. Этот блок поддерживает деятельность робота даже в условиях появления помех на изображении, считываемом камерами.

3. Карта местности (формируется у роботов, способных менять свое положение в пространстве). В случае если на пути движения робота возможно возникновение препятствия, то существует необходимость создания карты местности. На основе полученной информации формируются данные об имеющихся препятствиях на пути робота. Реализация этого блока обязательно должна обеспечивать быстроедействие, а сформированная карта должна охватывать сравнительно небольшой радиус из-за ограниченного объема памяти.

4. Блок формирования целевой точки. Решает задачу слежения за координатами целевой точки в системе координат робота. Целевая точка определяет целевые координаты, в которые необходимо прибыть мобильному роботу, используя данные о параметрах движения робота. Текущая целевая точка может быть назначена оператором или системой управления поведением робота\*.

Взаимодействие человека с окружающим его миром в значительной степени определяется его органами чувств: слухом, зрением, осязанием, обонянием и т. д. И роботы в этом отношении уже приближаются к человеку. Действительно, представить, что робот-манипулятор, андроид или робот, предназначенный для исследования местности, не оснащен органами чувств, уже недопустимо. И необходимость решения практических задач во многом поддерживает это направление исследований и разработок.

---

\* См. <http://robot-rad.narod.ru/target.html>

L. P. Kozlova, O. A. Kozlova

*ROBOTS CAN SEE TOO*

*Nowadays robotics enough developed, and robots can not only repeat simple commands from consol (as turn on some angle, for example). Last models can also reproduce some functions of human body. One of this functions is ability to see.*

**Robotics, system of the technical sight, image, segmentation, pattern recognition, neuro system, fuzzy system, invariant numbers, androide**



УДК 007:57+007:573

*Д. А. Рубашова*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ГЛАЗА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ**

*Построены модели и проведены исследования напряжений и перемещений в капсуле глаза при нагрузочных пробах и в структурах диска зрительного нерва при градиенте давлений. Модели реализованы в пакетах программ Solid Works, CosmosWorks.*

**Глаз, компрессия, лимб, диск зрительного нерва, решетчатая пластина, напряжение, перемещение**

Индивидуальные вариации механических свойств и геометрических параметров структур глазного яблока в норме и при патологических изменениях и разнообразные технологии операций определяют необходимость биомеханического анализа состояния этих структур. Актуальность данной работы заключается в значительном расширении диагностических возможностей такого распространенного заболевания как глаукома за счет применения компьютерного моделирования и биомеханического анализа структур глазного яблока. Использование компьютерных программ, основанных на численных методах, позволяет углубиться в области, которые остаются не обслуженными аналитическими методами из-за больших трудностей в реализации. В программе Solid Works были построены геометрические модели структур глаза; вычисления напряженно-деформированного состояния проведены в конечно элементном пакете CosmosWorks при разбиении модели на 39 109 линейных тетраэдральных конечных элементов.

Измерение внутриглазного давления (ВГД) необходимо для диагностики глаукомы. Существует несколько методов измерения ВГД. В настоящее время самым широко применяемым методом в диагностике глаукомы остается тонометрический метод Маклакова. Измерение давления производится следующим образом: при установке цилиндра весом 5...10 г на роговицу происходит сплющивание последней, и точный след этого сплющивания обозначается белым пятном; диаметр кружка сплющивания измеряется линейкой. А последующий расчет значения в миллиметрах по таблице переводится в величину ВГД. При диагностике глаукомы данным методом не

учитываются механические и геометрические свойства лимба. Задачей первого исследования является выявление влияния свойств лимба на деформацию роговицы при измерении ВГД методом Маклакова, а следовательно, и на результаты измерения.

Деформацию структур глазного яблока исследуют при нагрузочных пробах [1]. В [2]–[4] напряженно-деформационное состояние внешней оболочки глаза рассмотрено в рамках содержательной модели, состоящей из двух сопряженных по окружности сферических сегментов, представляющих роговицу и склеру. В [5] при рассмотрении напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочки глаза содержательная модель представлена двумя сферическими сегментами, соединенными на границе роговицы и склеры упругим кольцевым элементом. Кольцевой элемент не отражает геометрические параметры лимба.

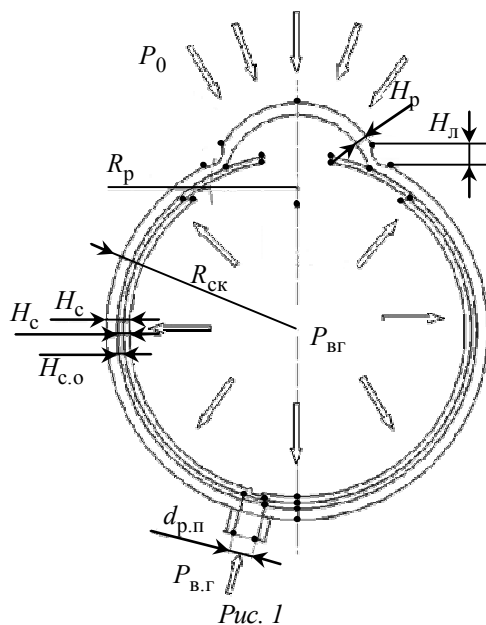


Рис. 1

Содержательные модели при компрессии без учета лимба и с учетом геометрических и механических свойств лимба (схема содержательной модели капсулы глазного яблока, рис. 1) построим при следующих допущениях: 1) материалы сетчатки, сосудистой оболочки, склеры, роговицы, лимба и решетчатой пластинки (р. п.) однородные и изотропные с приведенными модулями нормальной упругости  $E_c$ ,  $E_{c.o}$ ,  $E_{ск}$ ,  $E_p$ ,  $E_{р.п}$ ,  $E_l$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ ; 2) начальные напряжения в структурах глазного яблока отсутствуют; 3) приложены гидростатические давления: внутриглазное к внутренней поверхности сетчатки –  $P_{вг}$ , внутричерепное к наружной поверхности р. п. –  $P_{вч}$ , компрессионное –  $P_k$ , к наружной поверхности роговицы; 4) толщины сетчатки  $H_c$ , сосудистой оболочки  $H_{c.o}$ , склеры  $H_{ск}$ , роговицы  $H_p$ , толщина лимба  $H_l$  и решетчатой пластинки  $H_{р.п}$ ; 5) радиусы кривизны роговицы  $R_p$  и диаметр р. п.  $d_{р.п}$ .

На рис. 2 представлены эпюры перемещений (а) и напряжений (б) в капсуле глазного яблока без учета лимба и с учетом лимба шириной 0.75 мм (з) и 1.2 мм (д), а на рис. 3 – зависимости экстремальных значений перемещений (а, в) и напряжений (б) от нагрузки при компрессии без учета механических свойств лимба (а, б) и изменения ширины лимба (в) в капсуле глазного яблока при следующих геометрических параметрах и механических свойствах его структур:  $H_c = 0.4$  мм,  $H_{c.o} = 0.3$  мм,  $H_{ск} = 0.5$  мм,  $H_p = 0.8$  мм,  $H_{р.п} = 0.3$  мм;  $R_{ск} = 12$  мм,  $r_{р.п} = 0.75$  мм,  $R_p = 4.7$ ,  $d_{р.п} = 1.5$  мм,  $E_c = 55$  кПа,  $E_{c.o} = 477$  кПа,  $E_{ск} = 30$  МПа,  $E_p = 10.3$  МПа,  $E_l = 40$  МПа,  $E_{р.п} = 1.4$  МПа,  $\nu = 0.4$ ,  $P_{в.ч} = 10$  мм рт. ст. Эпюры перемещений и напряжений построены при  $p_{в.г} = 15$  мм рт. ст.,  $p_k = 16; 19.5; 22.5; 26$  мм рт. ст.

Перемещения в центре роговицы, вычисленные по содержательной модели, не учитывающей лимб, при компрессионной нагрузке 16 мм рт. ст. (2.1 кПа); 19.5 мм рт. ст. (2.6 кПа); 22.5 мм рт. ст. (3 кПа); 26 мм рт. ст. (3.5 кПа), соответственно, равны 0.22; 0.27; 0.31; 0.36 мм.

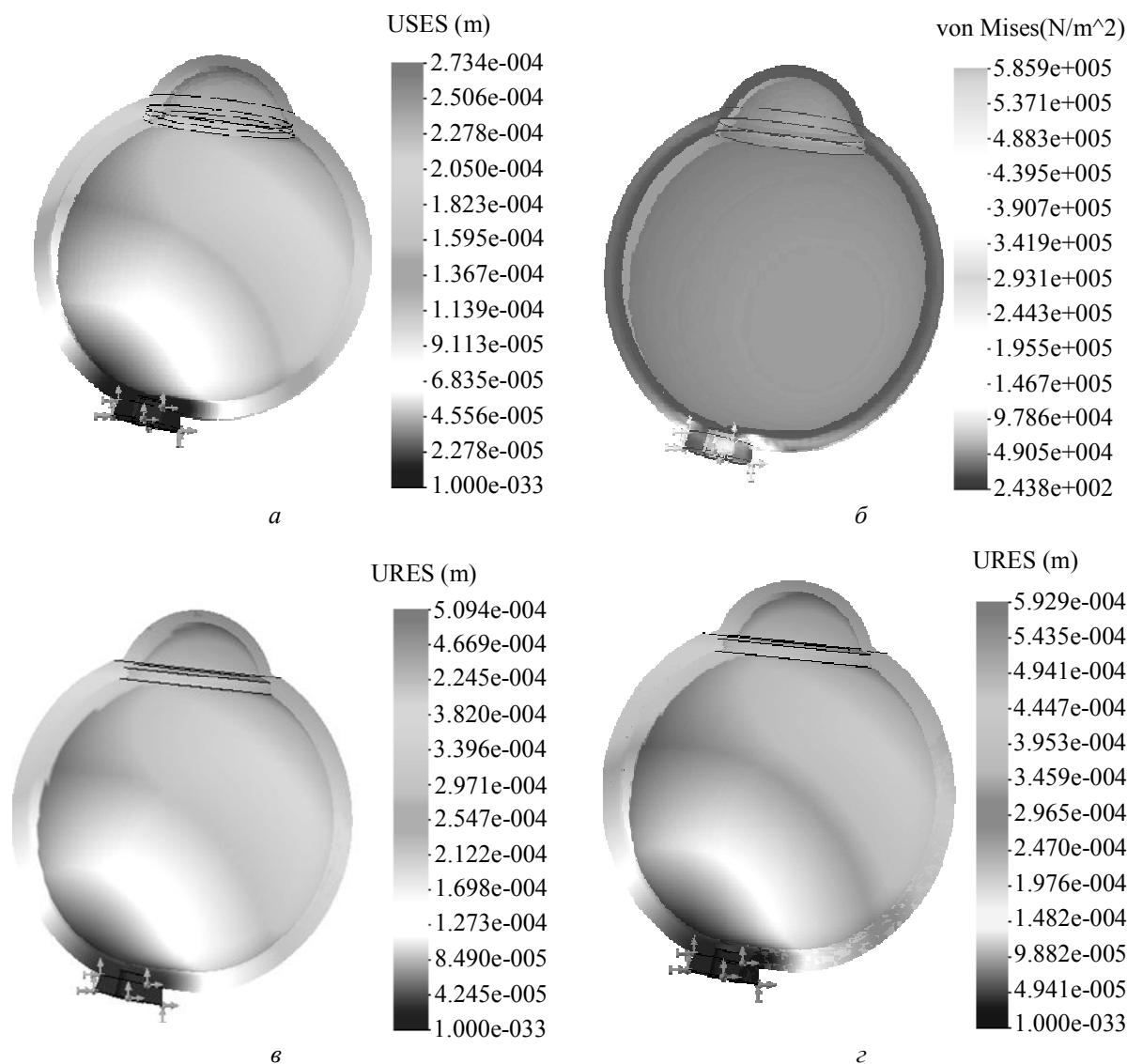
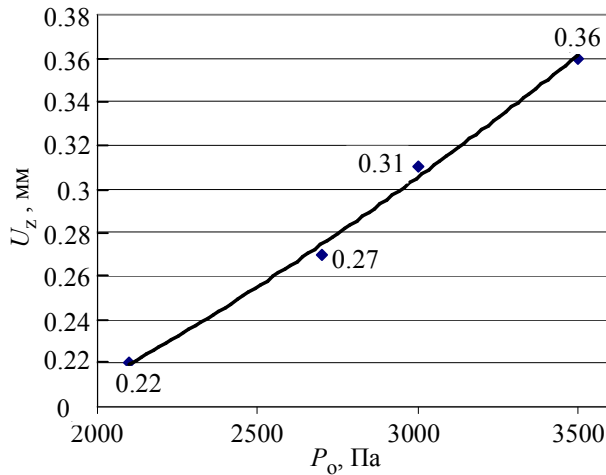


Рис. 2

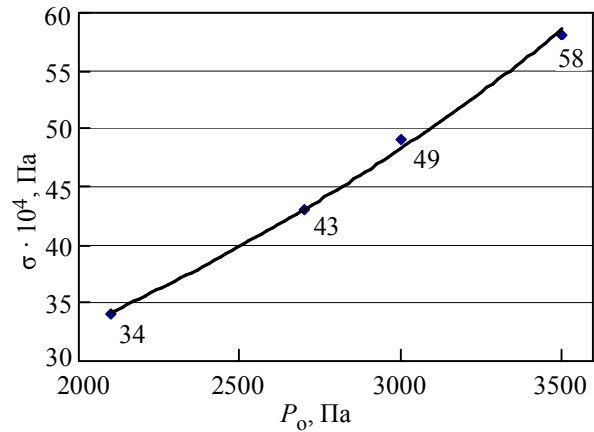
Перемещения в центре роговицы, вычисленные по содержательной модели, учитывающей лимб, при компрессионной нагрузке 19.5 мм рт. ст. (2.6 кПа) и ширине лимба 0.75; 0.9; 1.2 мм, соответственно, равны 0.5; 0.57; 0.59 мм. В результате полученных данных перемещение в центре роговицы без учета лимба практически в два раза меньше, чем перемещение с учетом механических и геометрических свойств лимба. Следовательно, учет лимба и его свойств необходим при разработке методик и систем биомеханического исследования состояния структур глаза.

Сосудистая теория патогенеза придает основное значение нарушениям в работе сосудов, сосудистым изменениям и (или) рассогласованиям в системе кровоснабжения глаза, связанным с ними ростом внутриглазного давления, метаболическим нарушениям питания аксонов ганглиозных клеток и тканей диска зрительного нерва. Эскавация р. п. является первостепенной причиной в появлении частичных выпадений поля зрения в виде скотом (дефектов). Аксоны всех ганглиозных клеток сетчатки собираются у заднего полюса глаза в зрительный нерв, начальная часть которого называется диском зрительного нерва (ДЗН). Основные слои сетчатки оканчиваются по краю ДЗН.

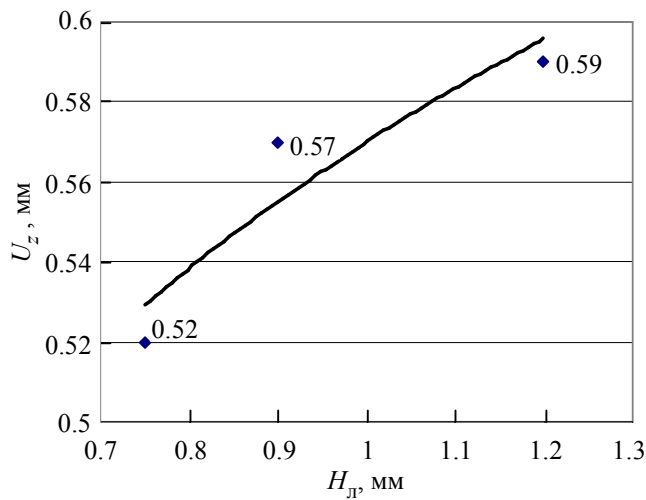
Аксоны перегибаются при переходе из полости сетчатки в направлении ствола зрительного нерва и образуют в середине ДЗН углубление в форме воронки или котла. Основной опорной анатомической структурой ДЗН является р. п., через которую проходят нервные волокна. Головной мозг и глазные яблоки через зрительные нервы связаны в единую гидродинамическую систему. В клинической практике по состоянию ДЗН судят о гидродинамическом балансе этой системы. Величина градиента давлений может достигать критической величины для р. п. и приводить к глаукоматозной деформации.



а



б



в

Рис. 3

Основной задачей в исследовании р. п. является выявление зависимостей деформаций структур р. п. при различных градиентах внутриглазного и внутричерепного давления с учетом природной экскавации, а также учет прилегающих слоев ДЗН при исследовании экскавации р. п.

В дополнение к допущениям при моделировании капсулы глазного яблока, при построении содержательной модели диска зрительного нерва (ДЗН) (рис. 4, схема (а) и содержательная модель (б) диска зрительного нерва: 1 – макула сетчатки; 2 – физиологическая экскавация диска; 3 – сетчатка; 4 – сосудистая оболочка; 5 – склера; 6 – твердая мозговая оболочка; 7 – паутинная оболочка; 8 – мягкая оболочка; 9 – центральные сосуды сетчатки; 10 – решетчатая пластинка) введены следующие допущения: 1) в центре р. п. находится отверстие (радиус отверстия  $r_a = 0.9$  мм), через которое проходит центральный артериальный сосуд; 2) р. п. представлена перфорированной трехслойной пластиной с толщиной слоев  $h_1 = 0.05$  мм,  $h_2 = 0.1$  мм,  $h_3 = 0.15$  мм; 2) материал слоев пластины сплошной, однородный, изотропный; 3) модули нормальной упругости  $E_1 = 1.1$  МПа,  $E_2 = 1.3$  МПа,  $E_3 = 1.7$  МПа; 4) участок капсулы глазного яблока с диаметром  $D$ , в котором находится ДЗН, жестко закреплен по наружному контуру.

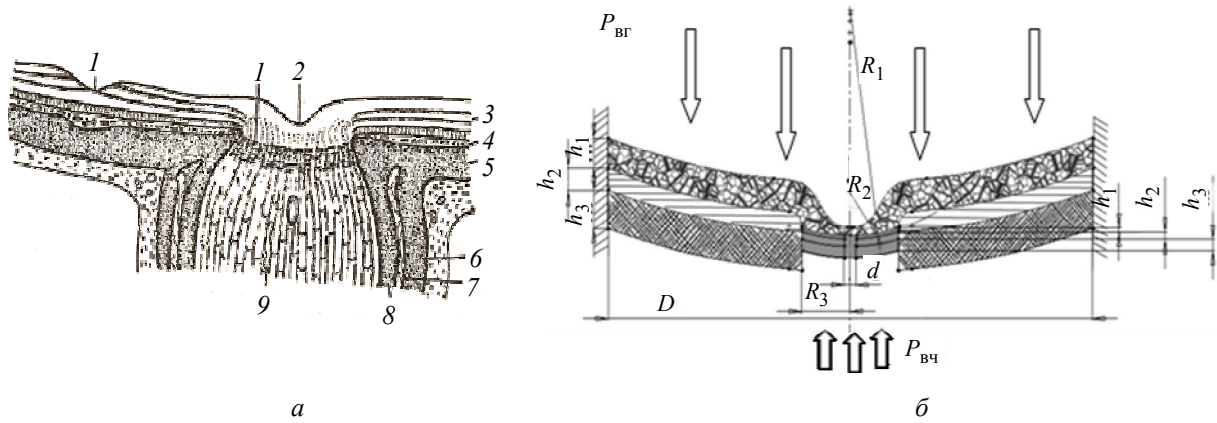


Рис. 4

Результаты вычислений перемещений и напряжений в структурах ДЗН приведены на рис. 5: эпюры перемещений (а) и напряжений (б) и зависимости экстремальных значений перемещений (в) и напряжений (г) от градиента давлений в структурах диска зрительного нерва.

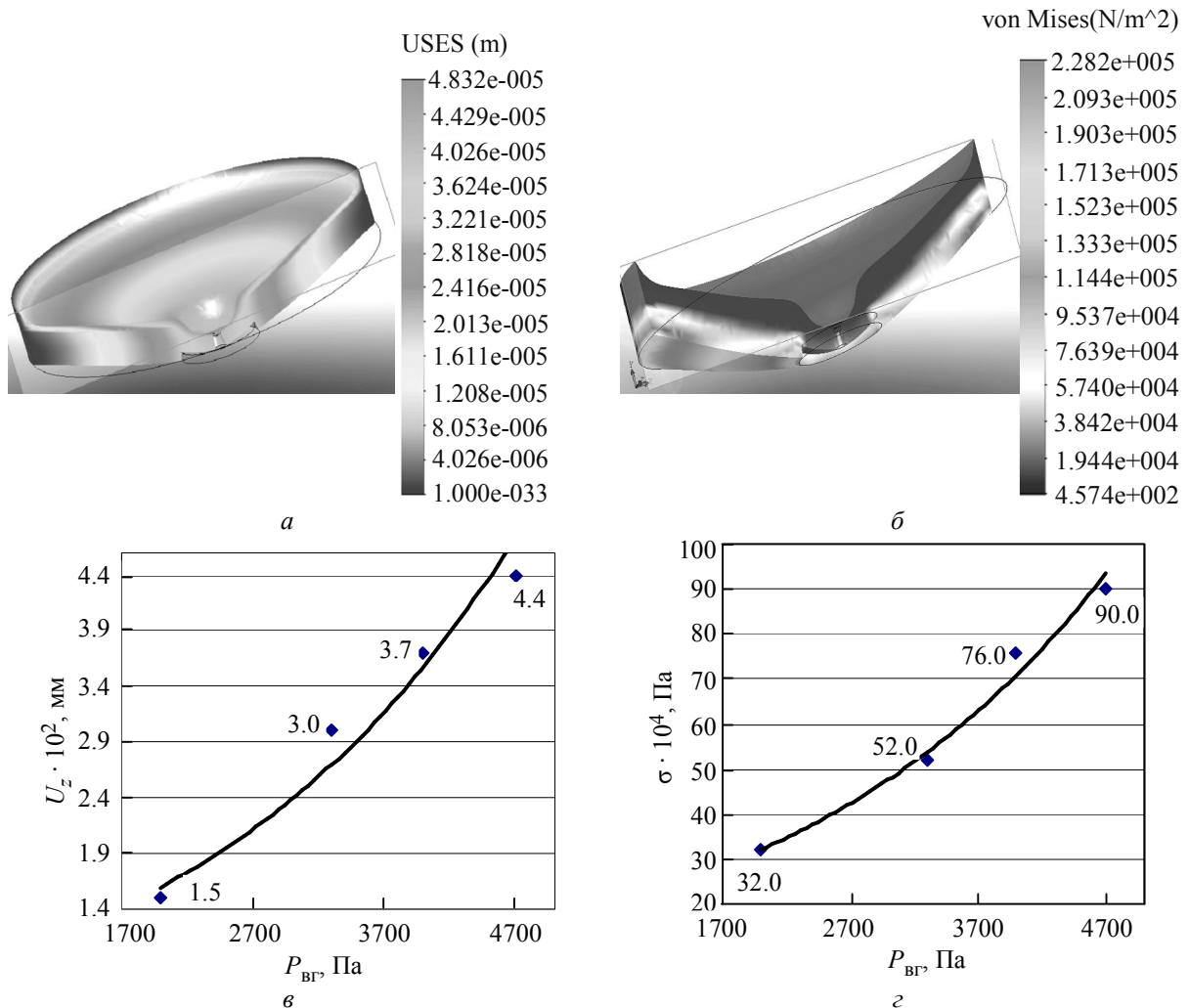


Рис. 5

В дополнение к допущениям при моделировании ДЗН при построении содержательных моделей р. п., жестко закрепленной по наружному контуру, для первой модели введены следующие: р. п. пронизывают 400 круглых отверстий четырех типоразмеров; состоит из трех слоев, толщины которых  $h_1, h_2, h_3$  равны 0.05, 0.1, 0.15 мм соответственно; радиус кри-

визны  $r$ . п.  $R = 3$  мм; радиусы отверстий соотносятся с радиусом центрального артериального сосуда  $r_a$  как  $r_1 = 1/2r_{ц.а.с}$ ,  $r_2 = 1/4r_{ц.а.с}$ ,  $r_3 = 1/8r_{ц.а.с}$ ,  $r_4 = 1/16r_{ц.а.с}$  ( $r_1 = 0.045$  мм,  $r_2 = 0.0225$  мм,  $r_3 = 0.011$  мм,  $r_4 = 0.005$  мм). В дополнение к допущениям для первой модели введены следующие: отверстия заполнены нервными волокнами с приведенным модулем нормальной упругости  $E_{н.в} = 55$  кПа; радиус кривизны  $r$ . п.  $R = 0$  мм.

Результаты вычислений перемещений и напряжений в структурах  $r$ . п. приведены на рис. 6: – эпюры напряжений ( $a$ ,  $в$ ) и графики зависимости максимальных перемещений ( $б$ ,  $г$ ) в перфорированных пластинках с начальным прогибом ( $a$ ,  $б$ ) и вставленными нервными волокнами ( $в$ ,  $г$ ).

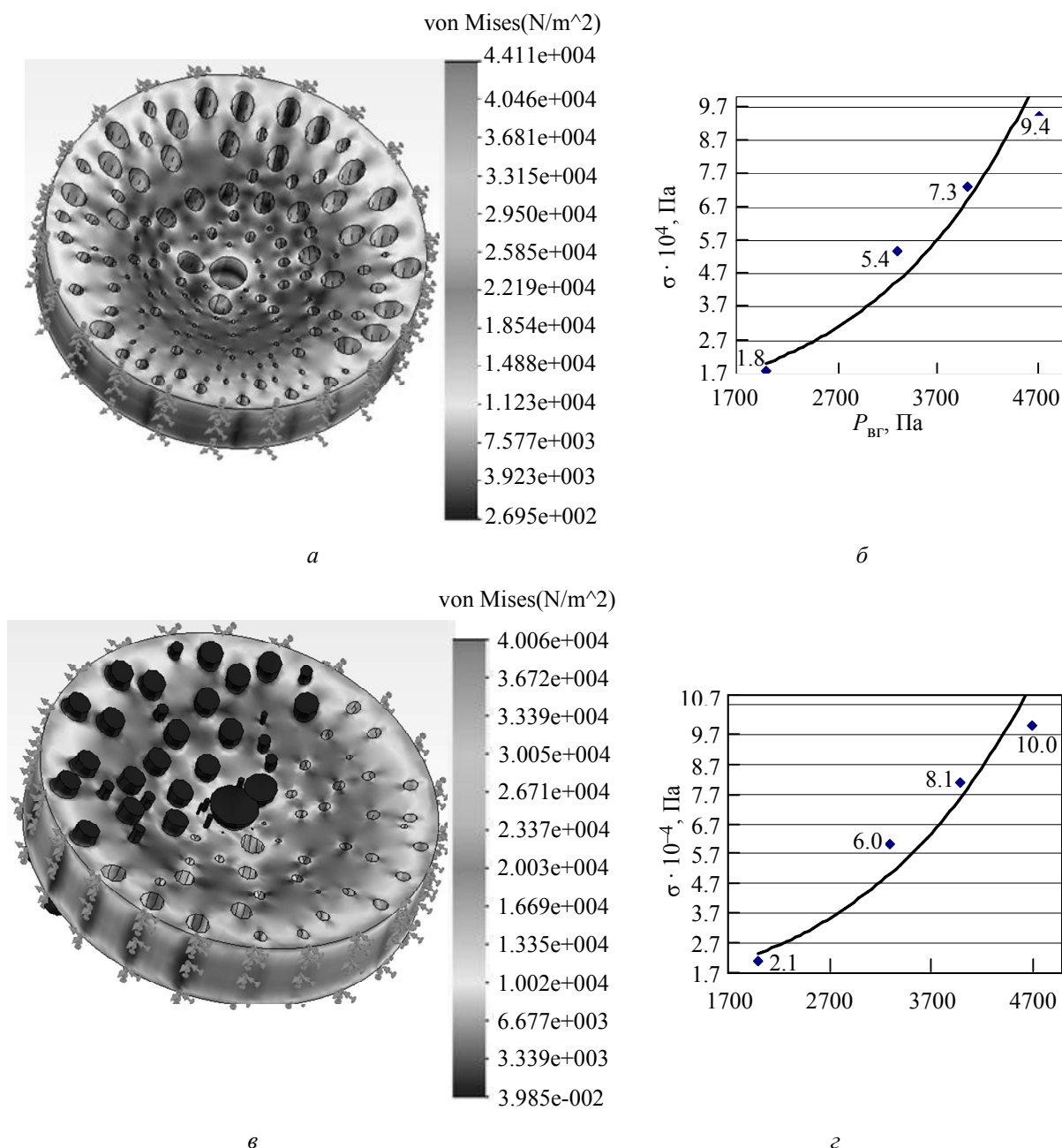


Рис. 6

Неоднородность материала  $r$ . п. существенно влияет на величины и характер распределения в ней прогибов и напряжений. Зоны на границе  $r$ . п. и нервного волокна,  $r$ . п. и сосудов являются концентраторами напряжений, деформации в этих зонах возрастают. Ве-



личина прогиба р. п. зависит от свойств структур глазного яблока. Перемещение в р. п. модели ДЗН значительно превышает максимальное перемещение в моделях только р. п. практически в 3 раза. Максимальное перемещение в модели р. п. – 0.01 мм, а в модели ДЗН максимальное перемещение р. п. – 0.035 мм. В модели ДЗН были учтены механические свойства всех слоев ДЗН, прилегающих к р. п.: склеры, сетчатки, сосудистой оболочки. Можно сделать вывод, что прогибание р. п. напрямую зависит от свойств прилегающих слоев.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

Биомеханическое моделирование глазного яблока дает возможность предсказать критические ситуации, выяснить механизм формирования патологий, найти области допустимых изменений формы, механических свойств и характера функционирования структур.

Компьютерное моделирование и биомеханический анализ структур глаза при измерении внутриглазного давления по методу Маклакова позволяют получить данные о перемещении в центре роговицы что позволит судить о точности измерения ВГД методом Маклакова. Биомеханический анализ включает в себя исследование структур глазного яблока с учетом и без учета механических и геометрических свойств лимба. Перемещение в центре роговицы при исследовании структур глаза без учета лимба практически в два раза меньше, чем перемещение при учете механических и геометрических свойств лимба. Следовательно, учет индивидуальных геометрических и механических свойств лимба необходим при измерении внутриглазного давления, так как его наличие значительно влияет на результаты. Необходимо также разработка методик и систем биомеханического исследования состояния структур глаза с учетом свойств лимба

Компьютерное моделирование и биомеханический анализ р. п. позволяет оценить максимальное перемещение в структурах р. п. при различных градиентах внутриглазного и внутричерепного давления. В результате исследования были получены зависимости деформации р. п. от градиента давлений: при увеличении внутриглазного давления деформация р. п. возрастает.

Анализ р. п. позволяет оценить деформацию нервных волокон при различных градиентах внутриглазного и внутричерепного давления. Наибольшая деформация нервных волокон наблюдается на краю р. п., что приводит к их атрофии и значительному ухудшению зрительных функций

Биомеханическое исследование структур ДЗН позволяет судить о максимальной деформации р. п. с учетом прилегающих тканей.

Была получена зависимость максимального перемещения в структурах р. п. от градиента внутриглазного и внутричерепного давлений. По полученным данным перемещение в р. п. модели ДЗН практически в 3 раза превышает максимальное перемещение в моделях только р. п. Следовательно, учет прилегающих слоев ДЗН необходим при исследовании деформации структур р. п., так как эти данные существенно влияют на процесс развития глаукомы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В. В. Глаукома остроугольная. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2008. 352 с.
2. Краковская Е. В. О напряженно-деформированном состоянии внешней оболочки глаза// Вестн. С.-Петербург. ун-та. 2008. Сер. 1, вып. 3. С. 140–143.
3. Бауэр С. М., Васильева Е. В. Приложение теории сопряженных оболочек к задачам офтальмологии // Обозрение прикладной и промышленной математики. М.: Изд-во «ОПиПМ», 2005. Т. 12, вып. 3, 1–7, X. С. 700–701.

4. Краковская Е. В. Модели сопряженных сферических оболочек в задачах офтальмологии: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., 2008. 15 с.

5. Абушек Г. В. Напряженно-деформированное состояние составной мягкой сферической оболочки, предварительно нагруженной внутренним давлением // Вестн. С.-Петербург. ун-та. 2008. Сер. 1, вып. 1. С. 85–92.

*D. A. Rubashova*

*COMPUTER MODELING AND BIOMECHANICAL RESEARCHES OF EYE STRUCTURES IN HEALTH AND DISEASE*

*The authors have developed models and conducted studies of tensions and movements of the eye capsule during stress testing as well as of anatomical components of the optic disc with the pressure gradient present. The models were developed by Solid Works and Cosmos Works software packages.*

**Eye, compression, limbus, optic disc, tension, lamina cribrosa, movement**

УДК 621.398.694.3-555.5(086.5):578

*А. В. Ваганов, И. С. Захаров*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИНFUЗОРИЯМИ В ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

*Рассматривается определение соотношения сигнал/фон на выходе измерительного преобразователя от клетки микроорганизма, находящегося в жидкой дисперсной среде.*

**Биоконтроль, инфузории, сигнал/шум, дисперсная среда, сыворотка крови**

Использование биотестирования как разновидности биологического контроля для исследования токсичности (биологической вредности) различных жидких дисперсных сред (ЖДС) актуально в биологии, медицине, экологии, косметологии и различных областях промышленности.

В медицине к ЖДС относятся следующие биологические среды: кровь, ее плазма и сыворотка, лимфа, ликвор и др., контроль токсичности которых необходим при исследовании эндотоксикоза.

Анализ литературы показал, что современные исследователи в качестве биосреды чаще используют кровь, ее плазму или сыворотку, а в качестве тест-организма – простейших, например инфузорий [1].

Существующие методики исследования токсичности биосред основаны преимущественно на визуальных методах, использовании телевизионных измерительных систем или систем компьютерной обработки изображений подвижных (живых) клеток. Применение существующих образцов фотометрической аппаратуры, предназначенных для исследования водных сред, крайне затруднено. Это объясняется сложностью объекта измерения (биосреда с инфузориями), так как биосреды обладают сложными физико-химическими свойствами (мутность, вязкость, сложный солевой состав и т. д.), а также отсутствием математической модели, адекватно описывающей взаимодействие оптического излучения с исследуемыми биосредами.

Все вышеизложенное послужило основанием для создания математической модели бесконтактного оптико-электронного измерительного преобразователя (ОЭИП), общая теория которых изложена в [2]. ОЭИП может быть положен в основу прибора для контроля токсичности, позволяющего автоматически оценивать изменение концентрации живых (подвижных) инфузорий в исследуемой биосреде.

Математическая модель ОЭИП для контроля токсичности биосред является развитием модели [3], лежащей в основе преобразователя, примененного в турбидиметрическом фотометре «Биотестер». Она описывает взаимодействие оптического излучения с клеткой инфузории, находящейся в однородной среде. При этом инфузория представляется сферической непоглощающей частицей радиуса  $r \gg \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны источника излучения (ИИ). Таким образом, к данной частице применимы законы геометрической оптики.

Для характеристики ослабления клеткой инфузории падающего потока вводится понятие поперечника ослабления, учитывающего долю потока, рассеиваемую частицей вне фотоприемника (ФП). Для инфузории, как оптически «мягкой» частицы, на небольшом расстоянии от ФП уменьшение площади рассеяния в основном связано с прошедшим через нее преломленным излучением в направлении ФП с учетом его телесного угла. Тогда согласно [3], [4] выражение для  $S_{\text{ext}}$  запишется в виде:

$$S_{\text{ext}} = Q_{\text{рас}} S_{\text{инф}} = (1 - \chi_{\Sigma}(\Omega, m)) S_{\text{инф}}, \quad (1)$$

где:  $Q_{\text{рас}}$  – фактор эффективности рассеяния (учитывает оптические особенности частицы);  $S_{\text{инф}}$  – площадь клетки инфузории;  $m^2 \chi_{\Sigma}(\Omega, m) \in 0 \dots 1$  – интегральная нормированная индикатриса рассеяния, характеризующая долю потока, рассеянного частицей вперед в пределах телесного угла  $\Omega$  фотоприемника с учетом относительного показателя преломления  $m$ .

Значение  $Q_{\text{рас}}$  изменяется, соответственно, в пределах от 0 до 1. Расчет индикатрисы рассеяния большой прозрачной частицы представлен, например, в [5].

При пересечении клеткой инфузории контролируемого объема ОЭИП, описанного в [6], [7], возникающее изменение потока мощности, обусловленное «затенением» части поверхности ФП частицей, определяет величину полезного сигнала на выходе ОЭИП. Если «тень» от инфузории перекрывает ФП площадью  $S_{\text{ФП}}$ , то для обнаружения частицы в водной среде, полагая интенсивность светового потока по поверхности ИИ равномерной, отношение сигнал/шум (где шум – фоновый поток излучения) рассчитывается по предложенной в [3] формуле:

$$\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{J_{\text{пр}} S_{\text{ext}}}{J_{\text{пр}} S_{\text{ФП}}} = (1 - \chi_{\Sigma}(\Omega, m)) \frac{S_{\text{инф}}}{S_{\text{ФП}}}, \quad (2)$$

где  $J_{\text{пр}}$  – интенсивность прямого потока оптического излучения, падающего на ФП после прохождения излучения через исследуемый однородный объем водной среды, Вт/м<sup>2</sup>;  $R$  – радиус ФП (для круглого ИП).

Как видно из (2), соотношение сигнал/шум для водных сред определяется оптическими свойствами клетки инфузории и размерами рабочей поверхности ФП. Увеличение данного соотношения возможно путем уменьшения площади ФП, однако это может привести к уменьшению контролируемого объема ОЭИП, что, в свою очередь, снизит поток инфузорий через поверхность датчика. Данная проблема подробно рассмотрена в [7].

В отличие от водной, биологическая среда представляют собой сложную полидисперсную взвесь частиц различного размера, формы и концентрации. В общем случае исследуемая неоднородная среда может быть промоделирована взвесью малых подвижных частиц (инфузорий) в среде еще меньших частиц различной концентрации и размеров (элементов биосред).

Разработка модели ИП для дисперсных биосред должна опираться на комплексный подход, описанный в [8].

В неоднородной среде, включающей в себя частицы, меньшие длины волны или сравнимые с нею, возникает ослабление и рассеяние падающего от ИИ излучения фракциями частиц, а также возврат ими рассеянного излучения от большой частицы (инфузории) на фотоприемник, приводящий к дополнительному уменьшению площади экстинкции частицы. Тогда изменение потока мощности излучения, падающего на ФП и определяющего величину полезного сигнала на выходе ИП при условии прохождения данного излучения через объем частиц  $i$ -й фракции, рассчитывается как

$$P'_c = J_{\text{пр}i} (1 - \chi_{\Sigma i}(\Omega, m) - k_i(\Omega, \chi_i(\gamma))) S_{\text{инф}}, \quad (3)$$

где  $J_{\text{пр}i}$  – интенсивность прямого потока оптического излучения, падающего на ФП после прохождения излучения через объем с частицами  $i$ -й фракции, Вт/м<sup>2</sup>;  $k_i(\Omega, \chi_i(\gamma))$  – безразмерный коэффициент, учитывающий возврат рассеянного клеткой инфузории излучения  $i$ -й фракцией частиц среды с индикатрисой рассеяния  $\chi_i(\gamma)$  в телесном угле ФП.

В исследуемой дисперсной биосреде на большую частицу падает в основном прошедший поток, ослабленный фракциями частиц среды, а на ФП – прошедший и рассеянный этими фракциями поток. Поэтому мощность фонового излучения, падающего на ФП со всего объема с частицами  $i$ -й фракции, вычисляется по формуле

$$P'_{\phi i} = (J_{\text{пр}i} + J_{\text{рас}i}) S_{\text{ФП}}, \quad (4)$$

где  $J_{\text{рас}i}$  – интенсивность рассеянного оптического излучения, падающего на ФП со всего объема исследуемой полидисперсной среды.

В некоторых биосредах, например в сыворотке крови, оптическое взаимодействие между частицами невелико, так как расстояние между ними превышает их собственный радиус минимум в три раза. При этом рассеяние считается однократным. В этом случае расчет интенсивности прямого потока оптического излучения, падающего на ФП после прохождения через объем, содержащий частицы  $i$ -й фракции, считая поглощение частиц малым, можно выполнить по формуле

$$J_{\text{пр}i} = \frac{I_0}{l^2} e^{-\sigma_i l}, \quad (5)$$

где  $I_0$  – сила излучения ИИ, Вт/ср;  $l$  – расстояние между стенками кюветы, заполненной исследуемой средой, м;  $\sigma_i$  – показатель ослабления  $i$ -й фракции частиц с одинаковыми оптическими постоянными, 1/м.

Для расчета интенсивности рассеянного оптического излучения частицами  $i$ -й фракции  $J_{\text{рас}i}$ , падающего на ФП от объема, ограниченного угловой апертурой ОЭИП, выделяем на плоскости ИИ и ФП малые площадки  $S_1$  и  $S_2$  (рис. 1). На данном рисунке инфузории изображены в виде больших темных шаров, остальные сферы – частицы среды.

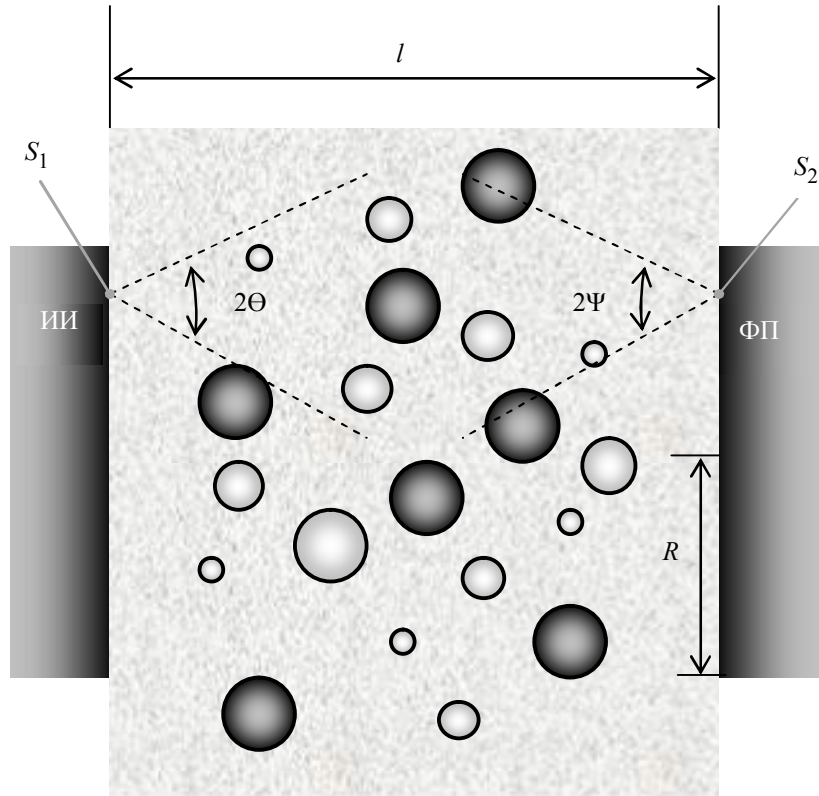


Рис. 1

При однократном рассеянии расчет  $J_{рас_i}$  для данной пары площадок может производиться [9], [10] следующим образом:

$$J_{рас_i} = \frac{I_0 \sigma_i}{l} C(\chi_i, \Psi, \Theta) e^{-\sigma_i l}, \quad (6)$$

где  $I_0$  – сила излучения ИИ, Вт/ср;  $\sigma_i$  – показатель рассеяния  $i$ -й фракции частиц с одинаковыми оптическими постоянными  $1/m$ ;  $C(\chi_i, \Psi, \Theta)$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние индикатрисы рассеяния частиц  $i$ -й фракции и апертурных углов ФП и ИИ на интенсивность рассеянного света.

Значения  $C(\chi_i, \Psi, \Theta)$  для двух видов частиц сыворотки приведены на рис. 2, где значение угла ИИ  $\Theta = 30^\circ$ . Сплошная линия соответствует альбумину, точечная – хиломикронам ( $\rho \approx 1.5$ ).

В случае многократного рассеяния оптического излучения в исследуемом объеме расчет  $J_{рас_i}$  производится по более сложной зависимости.

При однократном рассеянии коэффициент  $k_i(\Omega, \chi_I(\gamma)) \rightarrow 0$ , так как переотражение света частицами среды мало.

Тогда по аналогии с (2) и с учетом (3), (6) итоговое выражение для вычисления соотношения сигнал/шум на выходе ОЭИП, обусловленное наличием в сыворотке крови частиц различных фракций, имеет вид:

$$\frac{P'_{с_i}}{P'_{ш_i}} = \frac{1}{1 + \sigma_i \cdot C(\chi_i, \Psi, \Theta)} \frac{P_c}{P_{ш}} = t(\sigma_i, l, C_i) \frac{P_c}{P_{ш}}. \quad (7)$$

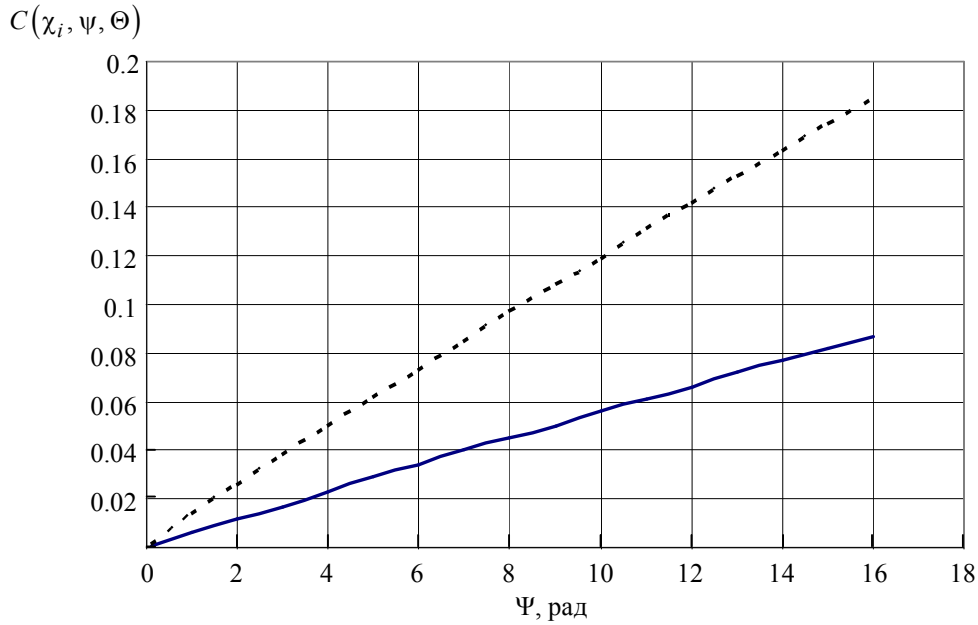


Рис. 2

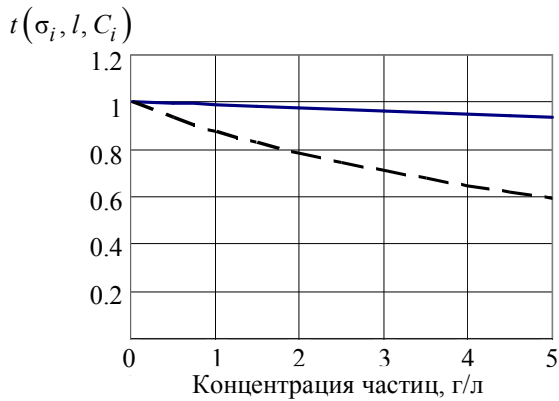


Рис. 3

Применимость формулы (7) в связи с отсутствием в исследуемой среде многократного рассеяния излучения оговорена выше.

Таким образом, соотношение сигнал/шум для водной среды отличается от такового для сыворотки крови безразмерным коэффициентом  $t(\sigma_i, l, C_i)$ , зависимость которого от концентрации одной из липидных фракций в сыворотки крови приведена на рис. 3, где прерывистая линия соответствует углам  $\Theta$  и  $\Psi$ , равным  $15^\circ$ , сплошная линия –  $4.5^\circ$ .

Расчеты проводились в среде MATCAD. При этом среда с частицами считалась монодисперсной (распределение по размерам отсутствует), а сами частицы – не поглощающими оптического излучения. Расстояние между ИИ и ФП принято равным 1 см. Зависимость для расчета  $\sigma_i$  рассмотрена выше.

Влияние белковой фракции на соотношение сигнал/шум проанализировано на примере альбумина, имеющего наибольшую концентрацию в сыворотке. В качестве индикатрисы использовалась релеевская зависимость. Было установлено, что уменьшение величины сигнал/шум из-за рассеяния альбумином падающего излучения не превышает 1 % даже при больших углах ОЭИП.

Влияние липидных фракции на соотношение сигнал/шум проанализировано на примере хиломикроннов ( $\rho \approx 1.5$ ) как наиболее крупных частиц в сыворотке. В качестве индикатрисы рассеяния для подобных частиц приемлемо использование зависимостей с полиномами Лежандра. В норме концентрация хиломикроннов в сыворотке крови невелика, однако при наличии данных частиц (различные патологии) они оказывают заметное влияние на соотношение сигнал/шум даже в умеренных концентрациях. Уменьшение угловой апертуры ОЭИП позволяет увеличить значение данного соотношения (рис. 3).

Как следует из рис. 3, при малой концентрации хиломикрон в сыворотке (рассеянное излучение мало) значение  $t(\sigma_i, l, C_i) \rightarrow 1$ , тогда (7) становится аналогичным выражению для слабоссеивающей водной среды (2).

Для итогового расчета соотношения сигнал/шум с учетом влияния всех фракций сыворотки крови зависимость (7) запишем в виде:

$$c/ш = \frac{1}{1 + l \sum_{i=1}^I \sigma_i C_i (\rho_i, \Psi, \Theta)} \frac{P_c}{P_{ш}}. \quad (8)$$

Таким образом, величина соотношения сигнал/шум для сыворотки крови определяется оптическими свойствами инфузории, расстоянием между ИИ и ФП, соотношением размеров инфузорий и рабочей поверхности ФП, а так же числом фракций частиц среды и их рассеивающими свойствами. Данное соотношение не зависит от интенсивности излучения, падающего от ИИ.

Были построены калибровочные кривые для двух видов биосред на переработанном фотометре «Биотестер-2», ОЭИП которого позволял производить измерения на длине волны около 800 нм. Было осуществлено также термостатирование кюветного модуля. Полученные результаты приведены на рис. 4.

Из рис. 4, а видно, что наклон калибровочных кривых для пробы с относительно «прозрачной» сывороткой (прерывистая линия) практически совпадает с таковой для среды Лозина-Лозинского (сплошная линия). Для пробы, содержащей «мутную» сыворотку (точечная линия), показания прибора несколько ниже.

Для исследуемой пробы с относительно «прозрачной» плазмой (прерывистая линия) показания прибора (рис. 4, б) идут ниже калибровочной кривой (сплошная линия), что связано с наличием в плазме большего количества элементов, чем в сыворотке. Для пробы с «мутной» плазмой (точечная линия) показания прибора заметно меньше, чем для для сыворотки. Значение оптической плотности для экспериментальных сывороток и плазм находились в пределах  $D_{сыв} \approx 0.02 \dots 0.2$  и  $D_{пл} \approx 0.2 \dots 1$  соответственно.

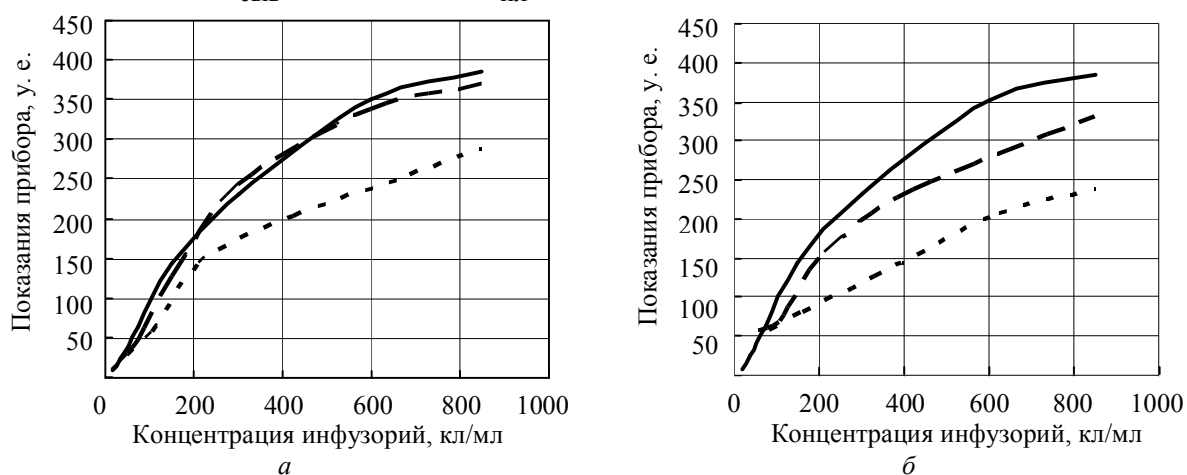


Рис. 4

Таким образом, увеличение оптической плотности среды приводит к снижению показаний прибора из-за уменьшения соотношения сигнал/шум. Однако следует учесть, что кроме изменения оптической плотности среды может также изменяться и ее вязкость. Увеличенная вязкость также может снижать подвижность инфузорий и, как следствие, величину показаний прибора.

В статье приведена зависимость для расчета соотношения сигнал/шум на выходе ОЭИП, предназначенного для измерения концентрации подвижных инфузорий в сыворотке крови или в аналогичной биосреде. Указаны границы ее применимости. Показано, что для слабонерасеивающих сред данная зависимость полностью совпадает с приведенной в [3]. Показано, что белковые фракции не оказывают заметного влияния на соотношение сигнал/шум, однако частицы с параметром дифракции  $\rho \approx 1.5$  (хиломикроны) при определенной концентрации могут ухудшать обнаруживающую способность ОЭИП. Решение данной проблемы заключается в использовании ИИ и ФП с малой угловой апертурой. Приведены графические зависимости на экспериментальных сыворотках и плазмах, качественно подтверждающие аналитическую зависимость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноходов Д. О., Виноходов В. О., Гинак А. И., Земляникина Т. А. // Сб. СПбГТИ «Архив ветеринарных наук». 1999. Т. 1, № 3. С. 551–577.
2. Попечителей Е. П., Чигирев Б. И. Двухлучевые фотометрические системы для клинико-физиологических исследований: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991.
3. Захаров И. С., Пожаров А. В., Сидоренко В. М. Экспрессные методы интегральной оценки экологического состояния окружающей среды. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. С. 33–39.
4. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. М.: Изд-во ГИТТЛ, 1951.
5. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986.
6. Ваганов А. В. Прибор для исследования эндотоксикоза на основе биотестирования // Научное приборостроение. 2003. Т. 13, № 3. С. 57–61.
7. Ваганов А. В., Захаров И. С. Измеритель концентрации подвижных микроорганизмов в макро- и микрообъемах // Научное приборостроение. 2004. Т. 14, № 3. С. 57–60.
8. Ваганов А. В., Захаров И. С., Пожаров А. В. Подходы к исследованию токсичности коллоидно-дисперсных сред // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2007. № 1. С. 38–41.
9. Ваганов А. В., Захаров И. С., Пожаров А. В. Проблемы построения оптической модели взвеси инфузорий в сыворотке крови // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2006. № 3. С. 45–48.
10. Кабанов М. В. Об учете однократного рассеяния при измерениях прозрачности атмосферы // Изв. высш. науч. заведений. Сер. Физика. 1962. № 1. С. 28–32.

*A. V. Vaganov, I. S. Zakharov*

#### *MATHEMATIC MODEL OF INTERACTION BETWEEN OPTIC RAYS AND INFUSORIA IN LIQUID-DISPERSION MEDIUMS*

*In the paper investigation of signal/noise ratio on the output of optical-electronic transducer for measuring concentration of microbiological cells in liquid-dispersion medium, is considered.*

**Biocontrol, infusoria, signal/noise ratio, dispersion medium, blood serum**





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

УДК: 658, 658.562

*О. В. Кананухина, И. В. Степанов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА**

*Рассмотрены вопросы классификации рисков, методы анализа и управления рисками и их применение в менеджменте качества.*

### **Риск, менеджмент риска, менеджмент качества**

В последнее десятилетие популярными стали такие концепции, как «безотходные технологии», «экологическая чистота», «обеспечение качества и безопасности», «обеспечение качества жизни», «безопасное существование» и др. Основные факторы, объединяющие указанные концепции, – это принцип ориентации на потребителя и требование снижения опасности невыполнения условий и обязательств в соответствующей сфере деятельности, т. е. снижение риска.

Под риском понимают сочетание вероятности возникновения какого-либо неблагоприятного события и возможного ущерба от этого события [1]. В большинстве случаев риск представляет собой математическое ожидание величины ущерба и определяется в расчете на один календарный год.

Одной из основных теорий управления риском на сегодняшний день считается эволюционная теория рисков, которая направлена на предсказание наиболее вероятных рисков в будущем и поиск методов противодействия таким рискам. В основе эволюционной теории управления риском лежат следующие идеи:

1. Существует естественный отбор среди рисков, который выражается в том, что опасности, против которых успешно борются, постепенно исчезают.

2. Возникновение новых рисков является следствием развития человеческого общества и, в частности, следствием развития техносферы. Существуют различные варианты возникновения новых рисков, например:

- а) новое направление в техносфере → новые риски;
- б) риск + риск → новый риск;

в) риск + защита → новый риск.

3. Для описания различных видов рисков существуют универсальные количественные характеристики эволюционных процессов и общее математическое описание.

Эволюционный подход к риску и соответствующие модели, используемые при анализе риска (например, системы нелинейных дифференциальных уравнений, логико-вероятностные модели, марковские и полумарковские сети и т. д.), являются важным элементом математической теории риска.

В 90-е годы XX века применительно к сложившимся отношениям в социальной, экологической, производственной и экономической сфере появилось понятие «общество риска» [1], что было обусловлено целым рядом факторов:

1) развитие техносферы привело к появлению новых, ранее не встречавшихся опасностей и рисков, причем масштабы возможных аварий и ущерб от них могут быть сравнимы с последствиями локальных войн прошлого;

2) глобализация мировой экономики и объединение рыночных и финансовых механизмов ряда крупных стран создали новые опасности, в частности, риск глобального экономического кризиса;

3) неравномерное развитие различных регионов планеты и отдельных стран привело к возникновению социальной напряженности в ряде регионов, что, в свою очередь, явилось причиной локальных и региональных военных конфликтов, гражданских войн, пиратства и т. д.;

4) процессы глобального изменения климата привели к существенному увеличению числа стихийных бедствий, что повлияло и на техносферу, экономику и социальную сферы.

**Классификация рисков.** В сегодняшнем мире жизнь любого человека и любой организации, как правило, связана с различными рисками. Рассмотрим основные виды рисков [1], [2].

1. *Производственный риск* связан с невыполнением предприятием своих планов и обязательств по производству продукции, товаров, услуг, других видов производственной деятельности в результате неблагоприятного воздействия внешней среды, а также неадекватного использования новой техники и технологий, основных и оборотных средств, сырья, рабочего времени.

С производственным риском связаны следующие виды рисков:

а) организационный риск, обусловленный неэффективностью внутренней организации работы компании;

б) кредитный – риск того, что контрагент не выполнит свои обязательства в полной мере в срок;

в) рыночные риски, связанные с нестабильностью экономической конъюнктуры: риск финансовых потерь из-за изменения цены товара, риск снижения спроса на продукцию, трансляционный валютный риск, риск потери ликвидности и пр.;

г) юридический риск – потери, связанные с тем, что законодательство или не было учтено вообще, или изменилось в период сделки; риск несоответствия законодательств разных стран; риск некорректно составленной документации, в результате чего контрагент в состоянии не выполнять условия договора и пр.;

д) технико-производственные – риски нанесения ущерба окружающей среде (экологический риск); риск возникновения аварий, пожаров, поломок; риск нарушения функционирования объекта вследствие ошибок при проектировании и монтаже, ряд строительных рисков и пр.

2. *Экономический риск* обусловлен неблагоприятными изменениями в экономике предприятия или в экономике страны. С экономическим риском тесно связаны, например:

а) коммерческий риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, произведенных или закупленных предпринимателем;

б) финансовый риск, связанный с возможностью невыполнения фирмой своих финансовых обязательств;

в) страховой риск – это риск наступления предусмотренного условиями страховых событий, в результате чего страховщик обязан выплатить страховое возмещение (страховую сумму).

3. *Политический риск* обусловлен изменением политической обстановки, влияющей на предпринимательскую деятельность.

4. *Экологический риск* возникает в результате угрозы нанесения вреда окружающей среде и человеку.

5. *Техногенный риск* связан с опасностью возникновения техногенных аварий, катастроф.

6. *Социальный риск* связан с влиянием различных событий на человека и общество.

Реализовать управление рисками возможно только при создании развитых систем мониторинга и контроля, включая и системы мониторинга используемых технологий. Необходимым становится постоянное проведение исследований, направленных на то, чтобы в кризисной ситуации неожиданностей было как можно меньше. Кроме того, общество постоянно должно резервировать весьма значительные ресурсы, чтобы обеспечивать свою устойчивость относительно катастроф в этой сфере.

Следует отметить, что для различных видов рисков существуют разработанные и стандартизированные методы их верификации, оценки, анализа и технологии управления рисками [1]–[3].

**Менеджмент риска.** Широкое внедрение в практику деятельности организаций концепции всеобщего управления качеством и стандартов в области менеджмента качества (стандарты ISO серии 9000) способствовало началу формирования нового подхода к управлению рисками в организациях. В частности, наметился определенный переход от «пожарных» методов решения проблем к превентивным (предупреждающим), что позволяет компаниям снизить расходы на переделки, пресечь возникновение опасных ситуаций и аварий, которые могут привести к значительным финансовым потерям.

ГОСТ Р 51897–2002 [4] вводит понятие «менеджмент риска», под которым понимаются скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении рисков. Менеджмент риска включает оценку рисков, обработку рисков, принятие рисков и коммуникацию рисков. Структура менеджмента рисков представлена на рис. 1.

Основная предпосылка при создании системы менеджмента риска (МР) заключается в том, что цель каждой организации – это создание стоимости для сторон, заинтересованных в ее деятельности. При этом все организации сталкиваются с неопределенностью, и задачей руководства является принятие решения об уровне неопределенности, с которым организация

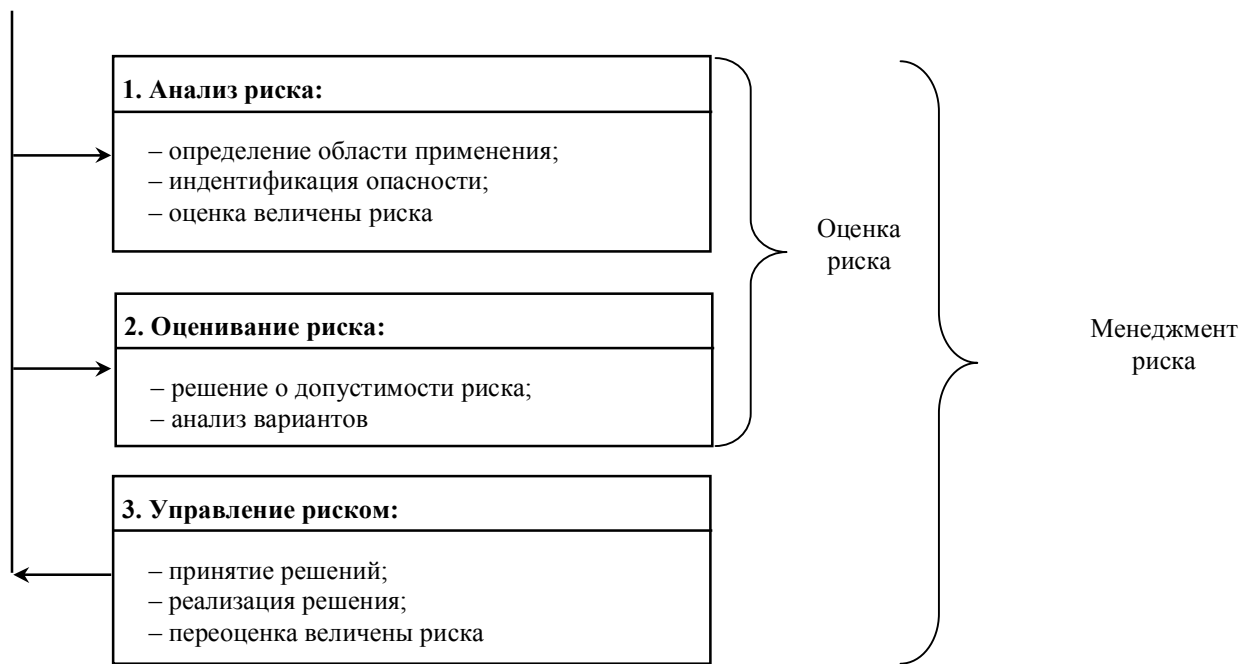


Рис. 1

готова смириться, стремясь увеличить стоимость для заинтересованных сторон. Неопределенность, с одной стороны, таит в себе риск, а с другой – открывает возможности, поэтому она может привести как к снижению, так и к увеличению стоимости. Управление рисками (УР) позволяет руководству эффективно действовать в ситуациях, связанных с возникновением рисков, и использовать возможности, увеличивая потенциал для роста стоимости компании.

МР является центральной частью стратегического управления организации – это процесс, следуя которому организация системно анализирует риски каждого вида деятельности с целью максимальной эффективности каждого шага и всей деятельности в целом.

Основная цель МР – вклад в процесс максимизации стоимости организации. Это означает выявление всех потенциальных «негативных» и «положительных» факторов, влияющих на организацию. Задачей МР является идентификация рисков и управление рисками. УР, в свою очередь, – это процесс принятия решений, основная цель которого выбрать эффективные методы работы с каждым из выявленных рисков.

Для предприятий разработаны и введены в действие различные стандарты по МР, в которых напрямую или косвенно заходит речь о рисках: ГОСТ Р 51897, ГОСТ Р 51898, ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 14001, ISO 22000, ISO 27001/BS 7799-2 (ISO 17799/BS 7799-1) и т. д. Разработаны также методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов в помощь руководителям, установлены законы, регулирующие правовые отношения: ФЗ № 116 «О промышленной безопасности», ФЗ № 187 «О техническом регулировании».

Стандарт OHSAS 18001 – выдвигает требования к системе менеджмента профессионального здоровья и безопасности, позволяет влиять на такие риски, как социальный (снижает или позволяет исключить возможность получения травмы на рабочих местах), страховой (в случае правильной организации рабочего пространства, снижает количество несчастных случаев в компании, что позволяет снизить страховые выплаты), производственные, организационные и технико-производственные (на них влияет правильная организация рабочего пространства) и т. д. Одним из основных требований данного стандарта является разработка процедуры по УР (включая их идентификацию, оценку и выработку мер, мониторинг).

Стандарт ISO 14001, включающий в себя требования к системе экологического менеджмента, в первую очередь относится к работе по снижению (исключению) экологических, социальных, техногенных рисков, влияющих на загрязнение окружающей среды, на здоровье человека и общества в целом.

НАССР (ISO 22000) содержит требования к системе менеджмента пищевой безопасности, благодаря его грамотному внедрению обеспечивается оптимизация взаимоотношений с поставщиками, партнерами, потребителями и контролирующими органами, осуществляется мониторинг рисков на постоянной основе, разработка и внедрение средств контроля.

Стандарты ISO 27001/BS 7799-2 (ISO 17799/BS 7799-1) предназначены для построения системы менеджмента информационной безопасности, в соответствии с требованиями которых организуется работа по защите персонала и снижению внутренних угроз; повышается уровень физической безопасности и безопасности окружающей среды; осуществляется эффективное управление средствами связи и эксплуатацией оборудования. Благодаря выполнению требований стандартов происходит своевременное выявление и УР; снижение рисков от внешних и внутренних угроз.

**Управление рисками.** Выполнение существующих законодательных и нормативных требований в области анализа риска осуществляется на этапе УР (рис. 1), который включает:

- 1) постановку целей УР;
- 2) качественный и количественный анализ риска;
- 3) выбор методов воздействия на риск (снижения риска);
- 4) анализ эффективности принятых решений и корректировку целей УР [1], [4].

Для каждого из перечисленных этапов характерны свои специфические методы МР.

На первом этапе широко используются методы анализа и прогнозирования экономической конъюнктуры, выявления возможностей и потребностей предприятия в рамках стратегии и текущих планов его развития.

На втором этапе используются методы качественного и количественного анализа: сбор имеющейся и новой информации, моделирование деятельности предприятия, статистические и вероятностные методы и т. п.

На третьем этапе производится сопоставление эффективности различных методов воздействия на риск: избежания риска, снижения риска, принятия риска на себя, передачи части или всего риска третьим лицам, которое завершается выработкой решения о выборе их оптимального набора.

Результатом реализации четвертого этапа должно стать новое знание о риске, позволяющее при необходимости откорректировать ранее поставленные цели УР.

Ключевым этапом, на котором формируется стратегия МР, является второй этап – анализ риска. Задачи анализа риска следующие:

- определение потенциальных зон риска;
- выявление рисков, сопутствующих деятельности предприятия;
- прогнозирование практических выгод и возможных негативных последствий проявления выявленных рисков.

Методы качественного анализа можно разделить на четыре группы [1]:

- 1) базирующиеся на анализе имеющейся информации;
- 2) сбор новой информации;
- 3) моделирование деятельности организации;
- 4) эвристические методы качественного анализа.

Итоговые результаты качественного анализа риска служат исходной информацией для проведения количественного анализа риска. На этом этапе вычисляются числовые значения вероятности наступления рисков событий и объема вызванного ими ущерба или выгоды [1]. Выбор конкретного метода количественного анализа риска зависит от множества факторов и учитывает специфику процессов, порождающих соответствующие виды рисков.

В процессе анализа риска должно быть проведено исследование всех возможных путей возникновения риска и определены все факторы, влияющие на возникновение ущерба. На рис. 2 приведен пример анализа риска при аварии основного технологического оборудования.

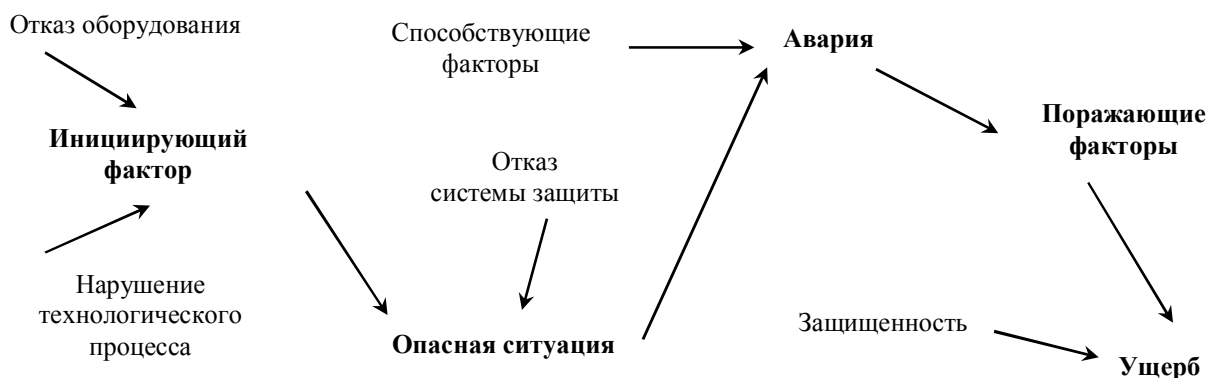


Рис. 2

**Управление риском в системе менеджмента качества (СМК).** Менеджмент качества (МК) – это скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству [5]. Основной задачей МК является удовлетворение потребностей всех заинтересованных сторон (владельца, руководителя, сотрудников, потребителя и т. д.) при производстве качественной продукции с минимальными потерями, что, в свою очередь, приведет к увеличению прибыли компании в целом.

Для унификации требований по качеству разработаны и внедрены стандарты серии ГОСТ Р ИСО 9000 [5], [7]. Для различных отраслей производства существуют отраслевые стандарты: ISO 13485–2003 «Медицинские изделия. Системы менеджмента качества», ИСО ТУ 16949:2002 (QS 9000) – в автомобильной промышленности и т. д.

В рамках функционирования СМК или интегрированной системы менеджмента (ИСМ) предприятия необходимо обеспечить выполнение требований заинтересованных сторон, которые заключаются в обеспечении: безопасности рабочих мест; безопасности, надежности и сохранности производимой и поставляемой продукции; устойчивости системы, технических средств и оборудования; доступности и сохранности информации; гарантии качества и безопасности и т. п. Таким образом, МК должен включать деятельность по анализу и управлению рисками.

Задача МР является многокритериальной оптимизационной, направленной на выбор стратегий, позволяющих в наибольшей степени выполнять требования заинтересованных сторон по безопасности, надежности, устойчивости, целостности, доступности, сохранности, выполнения и обеспечения гарантии. В общем случае задача выбора направлена на выбор приемлемого соотношения «возможность (опасность) события»/«ущерб от события». При этом используются методы качественного и количественного анализа риска.

С учетом изложенного можно говорить, что для любой компании, которая внедрила СМК или ИСМ, уже заложены подходы МР. Например, на этапе внедрения системы используются методы МР для идентификации возможных рисков: мозговой штурм, метод Дельфи, опросы, SWOT-анализ и т. д. [6].

Необходимость использования методов и технологий МР в МК подтверждается необходимостью выполнения одного из обязательных требований МС ИСО 9001:2008 [7], а именно пункта 8.5.3 «Предупреждающие действия», в котором говорится о том, что «организация должна определять действия по устранению причин потенциальных несоответствий для предупреждения их появления. Предупреждающие действия должны соответствовать возможным последствиям потенциальных проблем». Превентивные (предупреждающие) действия – это и есть ни что иное, как разработка мероприятий, позволяющих после анализа ситуации, определения основных причин ее возникновения и последствий снизить возможность их проявления.

МР является важнейшим элементом, направленным на обеспечение качества в смысле определения и гарантии соответствия требованиям и, в обязательном порядке, реализуется в МК. Например, при статистическом приемочном контроле различают «риск поставщика» и «риск потребителя», оценка которых проводится с использованием статистических методов и методов вероятностного анализа, которые разработаны в рамках теории управления рисками [1].

Анализируя подходы МР и МК, можно сделать вывод, что МР является:

- неотъемлемой частью МК;
- основой для принятия решения о создании в организации СМК и ИСМ;
- центральным ядром функционирования СМК и ИСМ;
- инструментом мониторинга и постоянного улучшения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление риском / Под ред. Г. Г. Малинецкого. М.: ИПМ РАН, 2003.
2. Орлов А. И. Менеджмент: Учебник. М.: Изумруд, 2003.
3. Шишаков А. Риски, которыми мы управляем // Риск-менеджмент. Июль–авг. 2008. № 7–8.
4. ГОСТ Р 51897–2002. Менеджмент риска. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2003.
5. ГОСТ Р ИСО 9000–2005. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Изд-во стандартов, 2005.
6. Меньшов В. Риск – дело благородное, но иногда опасное // Консультант. Авг. 2008. № 15.
7. ГОСТ Р ИСО 9001–2008. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Изд-во стандартов, 2009.

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

*USING OF RISK-THEORY IN QUALITY MANAGEMENT*

*Questions of classification of risks, methods of the analysis and management of risks and their application in a quality management are considered.*

**Risk, risk-management, quality management**





УДК 167:141

А. Ф. Иванов

## ОНТОЛОГИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

*Содержит краткий анализ онтологических оснований новейшей ветви развития квантовой теории – квантовых вычислений. Формулируется основной вопрос развития информационной техники и технологий.*

**Онтология, эволюция, информация, информационная реальность, квантовый компьютер, квантовые вычисления, кубит**

Во второй половине XX века сложилось устойчивое представление о том, что информация является атрибутом мироздания. Об этом свидетельствует формирование, развитие и экспансия информационного подхода в современной – постнеклассической – науке. Однако на сегодняшний день нет удовлетворительного решения проблемы оснований, в том числе онтологических, составляющих базис «информационного» компонента трансформации современной научной картины мира – эволюционно-синергетической, равно как и соответствующей этой картине мира научной методологии [1].

Проблема онтологических оснований информации, в том числе квантовой информации, является одной из самых актуальных проблем в процессе философского осмысления информационного подхода, имеющего статус общенаучного, равно как и проблем, возникающих в ходе развития информатики в качестве научной дисциплины и развертывания информатизации в качестве одного из основных направлений современной стадии эволюции человеческой цивилизации.

Первый шаг в направлении построения согласованной теории квантовых вычислений заключается в необходимости более четкого определения онтологических оснований информации как атрибута материи [2].

Самое общее и вместе с тем самое простое онтологическое основание информации и информационной реальности образуют такие атрибуты мироздания, как *структурность* и *системность*. Именно они лежат в основе двух наиболее известных из достаточно большого числа определений информации [3]. (1) *Информация = Df упорядоченная структура, обладающая относительной самостоятельностью от вещественно-энергетических носителей*

в процессе их взаимодействия [4]. (2) *Информация = Df мера негэнтропии в системе* [5] (т. е. информация связывается с мерой порядка в системе). Нетрудно заметить определенное тождество в приведенных дефинициях, ведь негэнтропия и есть упорядоченность структуры в системе.

Осознание структурности мира есть понимание субъектом специфичности форм бытия по фундаментальному и предельному основанию их существования, и прежде всего – материальной или идеальной субстанции. Обобщая данный аспект рассматриваемой проблемы, с необходимостью приходим к констатации предельной структурированности Мира, которая (в этом ракурсе) реализуется в единстве материального и идеального, бытия и мышления, материи и сознания. Самой развитой формой этого единства из известных на сегодняшний день является Человек. Основная проблема осознания заключается в нерешенности вопроса перехода от неживой природы к живой в едином эволюционном процессе, по крайней мере, в масштабах «нашей» Метагалактики. В данном случае структурированность мироздания реализуется через дифференциацию живого и неживого. Принципиальное значение имеет и учет «внутренней» структурированности живой материи (уровни организации биологической формы движения материи: молекулярно-генетический, клеточный, органо-тканевый, организменный, популяционно-видовой, биогеоценетический, биосферный), равно как и неживой (в качественном аспекте, т. е. основных форм движения неживой материи – физический вакуум, элементарные частицы, поля, химическая и геологическая формы движения и др.; в количественном аспекте, т. е. пространственно-временной масштабности – микро-, макро- и мегамиры).

Системность универсума реализуется в единстве живого и неживого как минимум в аспекте генетической взаимосвязи и относительной прямой детерминации живого неживым, а также относительной обратной детерминации неживого живым, что нашло свое выражение в антропном принципе [6].

Второе онтологическое основание современных научных взглядов на информацию и информационную реальность составляет *принцип детерминизма*, сущность которого заключается в утверждении всеобщей закономерной взаимосвязи явлений и процессов действительности.

Учитывая то обстоятельство, что эволюционный подход изначально опирался на стохастический (вероятностный) детерминизм, необходимо отметить, что современное понимание эволюционных процессов существенно отличается от их понимания в истории научной и философской мысли. Прежде всего, это касается учения о содержании и роли причинности в развитии. В XX веке динамическая концепция причинности, на которой основывались классическая философия и наука (включая СТО и ОТО), была дополнена вероятностной. В соответствии с последней, причинно-следственная связь, во-первых, реализуется не во всех типичных для нее случаях, во-вторых, не всегда приводит к одному и тому же результату. Иначе говоря, причинность имеет вероятностный, статистический характер, т. е. основывается не только на необходимых, но и на случайных отношениях, которые являются объективными. Именно поэтому в рамках эволюционного процесса происходит порождение нового.

Третье онтологическое основание информации и информационной реальности составляет *принцип развития*, утверждающий принципиальную направленность изменчивости мироздания, универсального эволюционного процесса. Информация является критерием и фактором развития [7]: от «несвободности» («связности») информации в неживой (естественной, в отличие от искусственной – техники) природе к «свободной» (в определенной мере) информации в живой природе и в обществе.

В этом аспекте информацию можно и нужно трактовать как меру отражательной способности систем, а также меру дифференцированности подсистем, образующих данную систему, т. е. как меру сложности в организации систем. Речь идет о том, что в рамках универсального эволюционного процесса порождаются такие сложноорганизованные системы, которые в своей структуре имеют специальные подсистемы, основные функции которых – извлечение, преобразование, хранение и передача информации.

Еще одно, четвертое, онтологическое основание информационной реальности образует *принцип единства мира*. Принципиальная фрагментарность научного знания регулярно генерирует проблему единства мира. Средствами только лишь самой науки эта проблема не может быть решена. Поэтому источником способов ее решения в научном познании выступает философское учение о бытии, причем приоритетными являются варианты материалистических онтологических учений [8].

На современном этапе развития философии и науки проблема единства мира решается в трех основных аспектах.

Первый аспект заключается в том, что *субстанциональное единство мира* предполагает рассмотрение всего многообразия известных науке объектов с позиций их общей единой субстанциональной основы – материи. В современной науке данный аспект представлен в виде принципа материального единства мира. Вплоть до середины XIX века вещество и энергия рассматривались как две основных формы объективной реальности, на основе которых существуют все остальные ее виды, включая такие сложные, как биологическая и социальная. Однако с возникновением электромагнитной теории Максвелла, квантовой физики, кибернетики и теории информации выяснилось, что субстанция, т. е. материя, обладает гораздо большей сложностью. Представления о веществе были дополнены представлениями о поле, которое, подобно веществу, также обладает энергией. В физических теориях последнего времени в качестве субстанциональной основы (в относительном смысле) мыслится понятие физического вакуума, флуктуации которого детерминируют известные нам основные виды физической реальности – элементарные частицы, взаимодействия (гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное) между которыми порождают поля. Но даже такое углубление понимания видов материи не позволяет удовлетворительно объяснить бесконечное многообразие и сложнейшую организацию мироздания, наиболее полно реализующиеся в биологической и социальной материи. По этой причине в современной научном познании в понятие материи, которая понимается как единство вещества, поля, излучения и энергии, порождаемых флуктуациями физического вакуума, включается информационный аспект существования всех материальных систем, который выражает меру порядка в явлениях и процессах универсума.

Второй аспект – *номологическое единство мира*, заключается в общности законов, действующих в многообразных формах материи. Данный аспект единства мира выражает его синхронность, т. е. пространственную распределенность системы законов природы во всем пространственно-временном континууме. Несмотря на существенные различия мега-, макро- и микромиров, закон сохранения и превращения энергии, а также частные законы сохранения (массы, заряда, импульса и т. д.), закон всемирного тяготения и другие действуют во всех этих мирах, образуя единую причинно-следственную сеть Вселенной. Однако согласно современным научным представлениям, эти законы справедливы в пределах от  $10^{-33}$  см (фундаментальная длина) до 15 млрд световых лет в пространственном масштабе и от  $10^{-43}$  с (фундаментальная длительность) до 15–18 млрд лет во временном масштабе. Из этого обстоятельства следует, что наука при решении проблемы единства мира не может игнорировать результаты развития философии. Номологическое единство мира было осознано еще древнегреческими натурфилософами в виде принципа детерминизма. Классическая физика, как и вообще классическая наука, формулировала свои законы для изолированных систем, которые в действительности не существуют и являются лишь идеализацией. Современное естествознание стремится точнее описывать реальность и поэтому формулирует законы не столько для изолированных систем, сколько для систем открытых, которые обмениваются с окружающей средой материей, энергией и информацией. Именно такие системы и составляют тот мир, в котором мы живем и который имеем возможность познавать. Такие системы находятся в непрерывном изменении, причем это изменение происходит в определенном направлении: от хаоса к порядку. Синергетика – одна из новейших междисциплинарных концепций – пришла к выводу, прямо противоположному классической физике. Этот вывод заключается в том, что суть законов движения, определяющих тенденции взаимодействий в мире, состоит в том, что конечное состояние, к которому стремятся все существующие системы, – не хаос, что утверждалось в одном из начал равновесной термодинамики (законе возрастания энтропии), а напротив, – порядок. В рамках синергетического подхода возможен возврат к учению древнегреческих философов, таких как Эмпедокл, согласно которым мир изменяется от хаоса к порядку. Подобный подход позволяет рассмотреть с принципиально новой точки зрения единство системы законов движения многообразных форм материального бытия, для чего необходимо ввести третий аспект единства мира.

Третий аспект состоит в том, что *эволюционное единство мира* определяется генетической взаимосвязью всех форм движения материи. Данный аспект единства мира, в отличие от номологического, отражает его асинхронность, т. е. временную распределенность системы законов природы во всем пространственно-временном континууме. Рассмотрение единства мира с позиций принципа развития позволяет получить более глубокое понимание субстанционального и номологического аспектов единства мира. Во-первых, становится более ясной и четкой внутренняя взаимосвязь бесконечно многообразных форм движения материальных систем как в количественном отношении (мега-, макро- и микрообъектов), так и в качественном (живая и неживая природа, природа и общество). Во-вторых, сами законы форм движения материи рассматриваются как изменяющиеся, т. е. система законов матери-

альной Вселенной направленно изменяется, развивается. Поэтому сегодня предельное основание номологического единства мира составляют универсальные законы развития.

Осознание системной взаимосвязи трех аспектов проблемы единства мира позволяет построить единую научную картину универсума, в которой будет показано, как исходные физические формы движения материи, развиваясь по своим собственным законам, обуславливают последовательность других основных форм движения материи, включая биологическую и социальную, в которых информация и информационные процессы субстанционально необходимы. Таким образом, принцип единства мира позволяет искать решение проблемы источника информации в биологической и социальной формах материи. В пределе таким источником выступает весь универсум.

В конечном итоге можно связывать принципиальное наличие информационных процессов в Мире с существованием *идеального*, что возвращает исследователя к исходному пункту философского анализа – к фундаментальной дихотомии мироздания на материальное и идеальное как к предельной структурированности мироздания.

Рассмотренные ранее онтологические основания информации позволяют определить понятие «информационной реальности». *Информационная реальность = Df фрагмент мира, в котором осуществляются взаимодействия на основе информации, присутствующей в нем в относительно свободном состоянии.* Из этого определения следует, что информация (в «связанном» или «несвязанном», т. е. в «свободном» состоянии) присутствует во всех частях универсума, в то время как информационная реальность существует там и тогда, где и когда появляются самоорганизующиеся сложные системы (сначала естественные, затем и искусственные), включающие в себя специализированные подсистемы, основная функция которых состоит в обеспечении информационного взаимодействия как внутри системы, так и системы и среды.

Онтологическая атрибутивность информации позволяет определить виды информации исходя из многообразия структурных уровней организации универсума.

Виды информации соответствуют основным сферам материального мира:

- информация в неживой природе, которая, в свою очередь разделяется на «классическую» (макромир) и «квантовую» (микромир) [9];
- информация в живой природе;
- информация в социуме, включая информацию в технических (искусственных) системах.

Следует подчеркнуть, что эволюция информационной реальности в социуме, равно как и характер и направление информатизации, зависит от степени осознания субъектом единства мира, например «классического» и «квантового» миров.

Применительно к информационным технологиям, развитие которых рассматривается как один из определяющих факторов информатизации, взаимодействие материального и идеального при протекании информационных процессов реализуется через взаимодействие двух компонентов: элементной базы, аппаратных средств, комплектующих (hardware) – т. е. материальной составляющей, и программного обеспечения (software), т. е. идеальной (логической) составляющей. По этой причине *основным онтологическим вопросом развития информационных технологий является вопрос об отношении аппаратных средств и про-*

*граммного обеспечения.* Нетрудно увидеть аналогию между основным вопросом развития информационных технологий и основным вопросом философии (вопрос об отношении материи и сознания, материального и идеального). Эта аналогия имеет под собой историческое основание. Через всю историю возникновения и развития информационных технологий красной нитью проходит проблема соотношения естественного и искусственного интеллектов, мозга и компьютера (ЭВМ). В этом ракурсе анализ онтологических проблем развития информационной реальности трансформируется в анализ онтологических проблем развития информационных технологий, который распадается на два коррелирующих между собой направления: 1) анализ развития аппаратных средств, «железа» (hardware) и 2) анализ развития программного обеспечения (software).

Эволюция аппаратных средств информационных технологий детерминирована развитием естествознания (в первую очередь – физики, химии, нейрофизиологии и др.) и техники (электротехника, электроника, микроэлектроника, нанoeлектроника и др.). Здесь необходимо отметить взаимосвязь между этапами научного познания материи (от макромира к микромиру) и этапами создания и развития вычислительной техники (от механических счетных машин XVII века к квантовому компьютеру, создание которого прогнозируется в первой половине XXI века). Таким образом, характер и направление развития информационных технологий в аппаратной части в определенной степени зависят от состояния научного познания различных уровней объективной реальности в естествознании.

Эволюция программного обеспечения определяется главным образом развитием математики, логики, лингвистики, психологии. Согласно принципу «черного ящика», пользователь не обязан знать, как происходит взаимодействие между различными программами и их пакетами, равно как и между программным обеспечением и аппаратной частью. Главное, чтобы оперирование программным обеспечением было простым и интуитивно понятным. Это же в полной мере относится и к аппаратной части информационных технологий.

Однако реализация критериев простоты, наглядности, функциональности и надежности, которые образуют качественную сторону «логического» (идеального) компонента информационных технологий, «утяжеляет» программное обеспечение, что выражается в росте размеров программ и их пакетов (количественный аспект). Как следствие, происходит повышение требований к аппаратной части, на которой это программное обеспечение будет реализовано. Например, для нормальной работы операционной системе корпорации «Microsoft» Windows Vista требуется не менее 1 Гбайт физической памяти, не говоря уже о характеристиках других комплектующих.

Принимая во внимание вышесказанное, можно сформулировать основную онтологическую проблему развития информационных технологий: проблему когерентности (соответствия) аппаратных средств («hardware») и программного обеспечения («software»).

Другую важную онтологическую проблему развития информационной реальности, а значит, и информационных технологий, составляет взаимосвязь уровней организации материального мира, и прежде всего макро- и микромира (классического и квантового миров). Несмотря на рост быстродействия вычислительной техники в ряде случаев время на решение с ее помощью тех или иных задач стремится к бесконечности. Например, самому быстрому на сегодняшний день компьютеру потребуется более 14 млрд лет для расшифровки кода с ключом в

266 бит. Речь идет об отрезке времени, сопоставимом с возрастом Вселенной. В этом примере отражен тот факт, что существующие сегодня информационные технологии, реализованные на основе закономерностей макромира, имеют предел в своем развитии. Согласно закону взаимного перехода количественных изменений в качественные, неизбежен переход к новым технологиям, в основу которых будут положены иные природные закономерности и, как следствие, аппаратная часть информационных технологий будет реализована на ином уровне организации физической реальности – на квантовом уровне.

Речь идет о переходе к использованию в аппаратной части информационных технологий процессов, протекающих в микромире – на атомном и субатомном уровнях организации материи. Таким образом, следующий виток развития информационной реальности связан с развитием квантовой физики.

Уже сегодня имеются результаты, которые позволяют говорить об очертаниях информационных технологий ближайшего будущего. Ряд из них получили название «нанотехнологии».

Суть нанотехнологий заключается в том, что определенными способами на поверхности подложек создаются функциональные элементы нанометровых (1 нм – одна миллионная миллиметра) размеров, в том числе из отдельных молекул и атомов, с возможностью их контроля и визуализации. Так, в исследовательском центре корпорации IBM, расположенном в Силиконовой Долине (штат Калифорния, США), успешно проведен ряд экспериментов по «перестановке» отдельных атомов с одного места на другое. В условиях лаборатории уже работает новая технология, которая позволяет увеличить плотность записи данных на носитель в 20 раз.

Согласно прогнозу лауреата Нобелевской премии в области физики (1986 г., совместно с Г. Рорером и Э. Руской) Герда Карла Биннига, в ближайшие годы (первые два десятилетия XXI века) на основе нанопроцессора может быть создан простейший компьютер на 20–30 микросхемах атомарной величины.

В перспективе развитие нанотехнологий позволит кардинальным образом обновить «начинку» компьютерной техники. Приблизительно через 10 лет миниатюризация микросхем, протекающая нынешними темпами, исчерпает себя. Следовательно, неизбежен переход аппаратной части информационных технологий в новое качество. В частности, ставшие сегодня классическими чипы на основе кремния будут заменены на чипы из полимеров и биополимеров, созданных с применением нанотехнологий. Память компьютеров станет трехмерной, при этом может быть использован голографический способ записи информации.

Пиком развития нанотехнологий может стать создание квантового компьютера [9]. Теоретические выкладки показывают, что квантовый компьютер (кубит) из 50 атомов будет иметь большую вычислительную мощь, чем все ныне существующие компьютеры, вместе взятые [10]. Основная проблема, возникающая в процессе создания квантового компьютера, заключается в том, каким образом получить от атомов результат вычисления и каким образом осуществлять ввод и вывод информации. Ученые из института квантовой оптики им. Макса Планка используют для этих целей лазерную пушку. Считывание результатов производится посредством направленного лазерного луча. Но это означает, что программы для квантового компьютера реализуются в виде последовательности импульсов лазерного луча, а не на машинном языке, как в обычных компьютерах.

Учитывая требование соответствия аппаратных средств и программного обеспечения, следует ожидать кардинальных изменений в программной части информационных технологий, суть которых заключается в том, чтобы обеспечить надлежащие способы ввода и вывода информации для пользователя. То есть программная составляющая квантового компьютера должна обеспечить надежный и эффективный перевод «квантовых битов» («q-бит») в классические биты, тем самым обеспечив переход информации из микромира в макромир, в котором живет пользователь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методология исследования сложных развивающихся систем / Под ред. проф. Б. В. Ахлибининского. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. С. 149–151.
2. Колин К. К. Феномен информации и философские основы информатики // *Alma mater* (Вест. высш. шк.). 2004. № 11. С. 33–38.
3. Мелик-Гайказян И. В. Информационные процессы и реальность. М.: Наука, 1997.
4. Ахлибининский Б. В., Храленко Н. И. Основные концепции современного естествознания. М.: Вузовская книга, 2000.
5. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М., 1960. Научная неопределенность и информация / Пер. с англ.; Под ред. и с послесл. И. В. Кузнецова. 2-е изд., стереотип. М.: КомКнига, 2006.
6. Barrow J. D. and Tipler F. J. *The Anthropic Cosmological Principle*. New York: Oxford University Press, 1986; Linde A. *Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle*. Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0211048> (первая публикация в: «Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos» honoring John Wheeler's 90th birthday / J. D. Barrow, P. C. W. Davies, & C. L. Harper eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2003) и др.
7. Казаринов М. Ю. Информация как критерий и фактор развития // Проблема развития в гуманитарном и социально-экономическом знании: Тез. докл. и выступл. межвузовской научн. конф.; Санкт-Петербург, 16–17 нояб. 1999 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. С. 18–21.
8. Грюнбаум А. Новая критика теологических интерпретаций физической космологии // *Вопр. филос.* 2002. № 4. С. 67–88.
9. Валиев К. А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // *Успехи физических наук*. 2005. Т. 175, № 1. С. 3–39.
10. Дойч Д. Структура реальности. М.; Ижевск: РХД, 2001.

*A. F. Ivanov*

### *THE ONTOLOGY OF QUANTUM COMPUTATION: RELIMINARY REMARKS*

*Contains the brief analysis of the ontological bases of the newest branch of development of the quantum theory – quantum computation. The basic question of development of information techniques and technologies is formulated.*

**Ontology, evolution, the information, an information reality, a quantum computer, quantum computation, q-bit**





УДК 621 (099)

*М. А. Партала*

## **МАЛОИЗВЕСТНАЯ КОМАНДИРОВКА ПРОФЕССОРА А. С. ПОПОВА**

*Будучи профессором ЭТИ, А. С. Попов был командирован Морским министерством в Учебно-артиллерийский отряд в Ревеле для подготовки радиооборудования, в связи с предстоящим визитом германского императора Вильгельма. Во время этого визита А. С. Попов принимал сигналы радиообмена между кораблями немецкой эскадры, что явилось первым осуществлением радиоразведки.*

**А. С. Попов, А. А. Петровский, Минный офицерский класс, ЭТИ, Учебно-артиллерийский отряд, Николай II, Г. Маркони, Вильгельм II**

Весной 1901 года А. С. Попов принял приглашение директора Электротехнического института Императора Александра III занять освобождающуюся в институте кафедру физики в звании ординарного профессора. Переход А. С. Попова из Минного офицерского класса (МОК) в Электротехнический институт (ЭТИ) ознаменовал начало нового, очень важного периода в биографии ученого. Следует, однако, отметить, что многие эпизоды, касающиеся этого периода, не получили должного освещения в работах по истории радиотехники. Один из таких эпизодов связан с командировкой А. С. Попова летом 1902 года в Ревель на корабле Учебно-артиллерийского отряда.

Назначение А. С. Попова профессором ЭТИ потребовало его перевода из Морского ведомства в Министерство внутренних дел (МВД), по ведомству которого числились Главное управление почт и телеграфов (ГУПиТ) и Электротехнический институт. Указанный перевод состоялся Высочайшим приказом по гражданскому ведомству за № 69 от 28 августа 1901 года [1].

Контакты А. С. Попова с Морским ведомством не были, однако, прерваны после его перехода в ЭТИ. Достаточно отметить, что уже будучи профессором ЭТИ, он продолжил в 1901/02 учебном году проведение занятий в МОК в Кронштадте. В этом плане безусловный интерес представляют некоторые фрагменты его письма к А. А. Петровскому от 20 июля 1901 г., в котором А. С. Попов писал [2]:

«Многоуважаемый Алексей Алексеевич, вследствие моего перехода из Кронштадта в С.-Петербург освободилось мое место в Минном офицерском классе. Первым кандидатом, которого я предложил вместо себя, был В. В. Скобельцын, но он отказался. Затем заведую-

щий классом обратился к Н. Н. Георгиевскому, который также не пожелал идти в Кронштадт. Как Вам уже писал Н. Н. Георгиевский, я предполагал предложить Вас как следующего кандидата.

На днях я виделся с помощником командующего Минным отрядом...; после переговоров мы пришли к следующему решению: предложить Вам чтение курса по электричеству, на него полагается около 100 часовых лекций и ведение практических занятий по этому курсу – 25 занятий, каждое 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> часа, причем занятия ведутся с двумя сменами слушателей. Всего занятий 50. <...> Кроме того, тот же преподаватель естественно должен вести и так называемый курс электротехники, правильнее курсы динамо-машин и электродвигателей, 40 лекций с двумя сменами – 40 занятий...».

И далее, самый интересный для нас момент из этого письма: «*Нынешний год* я согласился сохранить его за собой (выделено мной. – *Авт.*), – по крайней мере, чтение лекций, ведение же занятий желательно так устроить, чтобы Вы приняли в них непосредственное участие с тем, чтобы со следующего года самостоятельно вести весь курс, т. е. и чтение лекций, и занятия...».

В этой связи заслуживают более внимательного прочтения некоторые фрагменты воспоминаний А. А. Петровского, опубликованных в [3]. Петровский, рассказывая о педагогической деятельности А. С. Попова, в частности вспоминал: «Когда в первый раз, в январе 1902 г., я пришел на вступительную лекцию А. С. Попова по теории динамо-машин и электродвигателей, то увидел простой, неизысканный подход прямо к делу, не артистическое, но строго обоснованное и серьезное изложение. По окончании лекции я спросил слушателя, сидевшего рядом, какое у него осталось впечатление, и получил ответ: “Очень ясно излагает”, и действительно, эта ясность изложения, последовательность суждений и глубина мысли составляли характерную черту лекций А. С. Попова» [3, с. 186].

Кажущаяся в данном случае простой и очевидной оговорка (или описка) А. А. Петровского, назвавшего студента слушателем, сразу перестает быть таковой, как только мы понимаем, что речь в воспоминаниях идет (несмотря на январь 1902 г.) о лекции А. С. Попова в Минном офицерском классе, а не в ЭТИ.

В апреле 1902 г., по завершении теоретического курса в МОК А. С. Попов участвовал в приеме экзаменов у слушателей по предметам «Электричество» (5.04) и «Электротехника и судовые электрические установки» (10.04) [4].

На летние месяцы, свободные от занятий в ЭТИ и МОК, А. С. Попов запланировал проведение целого ряда работ по беспроволочной телеграфии на кораблях Балтийского и Черноморского флотов. Одной из первых его флотских командировок 1902 г. стала поездка на корабле Учебно-артиллерийского отряда (УАО) в Ревель (ныне Таллин). Еще в мае решением управляющего Морским министерством на УАО были распределены два комплекта приборов беспроволочного телеграфирования, из числа произведенных Кронштадтской мастерской в 1902 г. В письме от 21 июня 1902 г. в Главный морской штаб (ГМШ) А. С. Попов сообщал: «На днях (17 июня) отправлены все ... станции для Артиллерийского отряда, и на будущей неделе я поеду в Ревель для личного руководства при установке приборов и первых испытаниях телеграфирования на более значительные расстояния» [4]. Некоторые детали и подробности этой командировки А. С. Попова мы узнаём из его писем, отправленных жене Раисе Алексеевне из Ревеля<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Самое раннее из сохранившихся ревельских писем А. С. Попова датировано 28 июня 1902 г.

Командование УАО разместило А. С. Попова на эскадренном броненосце «Император Александр II» (рис. 1), предоставив в его распоряжение помещения адмиральского салона. В одном из своих первых писем А. С. Попов сообщал: «... Несмотря на то, что я целые дни занят с 7 часов утра до 11 вечера, все-таки чувствую себя совсем хорошо, вероятно благодаря морскому воздуху. <...> Жить мне совсем хорошо. Я водворился в адмиральском помещении на “Александре II”. Мое помещение состоит из кабинета, залы и спальни. К сожалению, я пользуюсь только последней, потому что с утра до вечера нахожусь на других судах» [5].

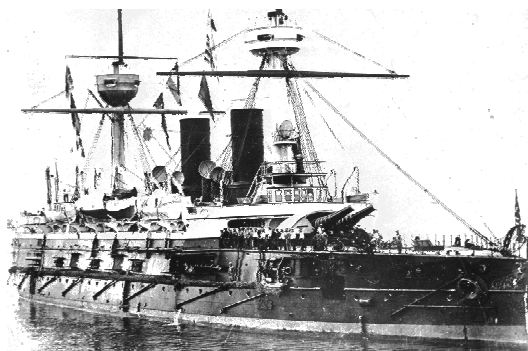


Рис. 1. Броненосец «Император Александр II»

Необходимо отметить, что обстановка, в которой пришлось работать А. С. Попову, была более чем нервной и напряженной. Причиной тому были внешние факторы – подготовка кораблей в походе Учебного артиллерийского отряда (УАО) к предстоящему императорскому смотру (рис. 2), а также к запланированному визиту в Ревель германской эскадры, в ходе которого должна была произойти встреча двух императоров – Николая II и Вильгельма II. Программой встречи предусматривалась демонстрация различных военно-морских учений, показ которых был возложен на командование и личный состав УАО.

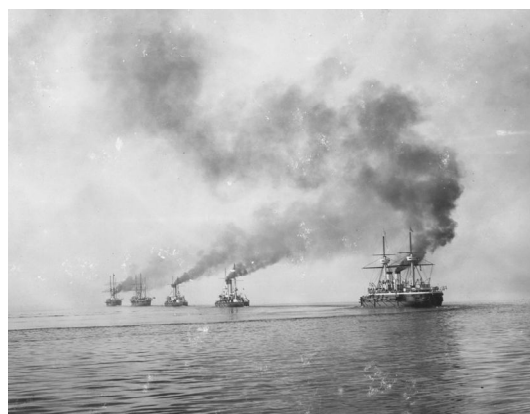


Рис. 2. Учебный артиллерийский отряд в походе

Важно подчеркнуть, что на борту императорской яхты «Штандарт», на которой ожидалось прибытие в Ревель Николая II, также в начале кампании была установлена радиостанция производства Кронштадтской мастерской. Это позволяло в любой момент по инициативе «Штандарта» провести проверку двухсторонней связи с кораблями УАО. Следует учитывать и ещё одно немаловажное обстоятельство: буквально накануне, 3 июля, в ходе визита в Кронштадт итальянского крейсера «Carlo Alberto», на борту последнего произошла встреча Николая II с Г. Маркони, который продемонстрировал российскому императору работу своей аппаратуры. С учетом этого можно было ожидать повышенного внимания Николая II к любым аспектам применения аппаратуры беспроводного телеграфа на кораблях УАО [4].

В своем послании от 11 июля А. С. Попов писал жене: «Прости, что я до сих пор – вечер четверг – не написал тебе, но меня просто заездили. С момента приезда я с семи часов утра до 12 вечера не дома (т. е. не на броненосце “Император Александр II”. – *Авт.*). Сегодня даже ночевал на “Минине” (рис. 3), потому что ночью ожидали телеграммы с идущего сюда из Кронштадта “Штандарта”. Не спал всю ночь и теперь едва сижу и пишу – хочется спать» [4].

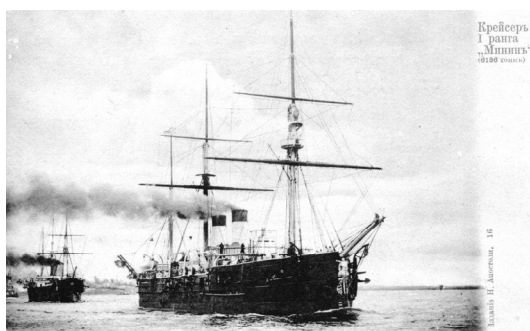


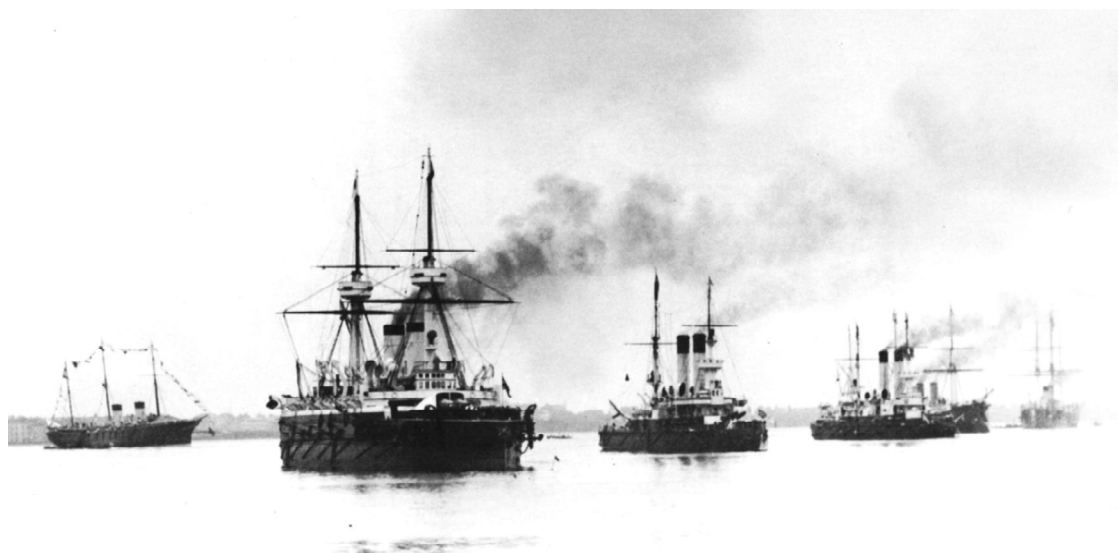
Рис. 3. Крейсер 1 ранга «Минин»

Следующее письмо, отправленное в выходной день, позволяет точнее ощутить напряженный график работ по подготовке кораблей и аппаратуры к императорскому смотру. «Воскресенье 14 июля. <...> Всю неделю до вчерашнего дня опять работал до наивысшего напряжения... <...> Сегодня был на “Памяти Азова”, но я предпочел <бы> сидеть дома, т. е. на “Александре”. Несмотря на большие потери сил..., теперь совсем отлежался за 1½ сутки. Положительно море действует на меня укрепляющим образом, потому что мне кажется, на берегу я не выдержал бы поднять столько работы с утра до поздней ночи и даже всю ночь, как было на минувшей неделе...

Завтра и послезавтра последуют дни хода и нужно окончить проверять работу <беспрОВОлочного> телеграфа, какой потребуется на смотре. За этим я еще и остаюсь» [4].

Надо признать, что до настоящего времени, к сожалению, не выявлены в архивах и не введены в научный оборот все отчетные документы по этой командировке А. С. Попова, что не позволяет составить целостное представление о характере проведенных им на кораблях УАО работ. Поэтому в полном объеме эта тема еще только ждет своих исследователей. Однако один из сюжетов заслуживает, по мнению автора статьи, особого внимания военноморских историков и специалистов по истории радио.

23 июля в Ревель на яхте «Hohenzollern» прибыл германский император Вильгельм II (рис. 4). Императорскую яхту сопровождал отряд боевых кораблей в составе броненосного крейсера «Prinz Heinrich», легкого крейсера «Nimphe» и миноносца «Sleipner». Состоялась известная встреча двух императоров, важное место в которой, как уже отмечалось, было отведено военно-морской теме. Кораблями УАО были продемонстрированы различные показательные учения, получившие высокую оценку обоих монархов.



*Рис. 4. Встреча немецкой эскадры кораблями Учебного артиллерийского отряда*

Находясь в эти дни на кораблях УАО, А. С. Попов оказался, что называется, в самой гуще событий, получив возможность сделать ряд интересных и весьма важных наблюдений, касающихся радио. Одно из этих наблюдений показалось А. С. Попову настолько важным, что он, не дожидаясь возвращения в С.-Петербург, подготовил и направил в ГМШ отдельную докладную записку. Александр Степанович сообщал:

«Во время пребывания Германского Императора на Ревельском рейде германские суда, снабженные беспроволочным телеграфом, “Гогенцолерн”, “Принц Генрих” и “Нимфа”, могли принимать наши депеши и, по словам германских офицеров, получали их. На наших станциях также можно было принимать депеши, которыми обменивались германские суда, но принятые нами отдельные фразы не имели интереса, – это были разговоры между дежурными о вахте и т. п.

Утром 26 июля [в] 9 ч. 45 м. я, будучи на “Минине”, принял полностью переговоры между “Принцем Генрихом” и “Нимфой”. Депеши касались вопроса о понимании русского языка и наших разговоров по беспроволочному телеграфу, каковые постоянно происходили, главным образом, между Карлосом (остров, на котором была установлена одна из радиостанций Учебно-артиллерийского отряда. – *Авт.*) и “Мининым”. В прилагаемой таблице восстановлено все, что получалось на ленте. Всякая депеша начиналась одним и тем же знаком, означавшим начало по международному алфавиту. Затем следует знак ...–. Он составляет две слившихся буквы ...–, . *ve* значит понял, ясно вижу (*verstand*). Этот знак также употребляется в телеграфе. В депешах он иногда повторяется несколько раз вместо одного, затем следует точка и потом уже текст депеши. За текстом непременно следует знак окончания.

Сообщаю об этом на случай приема германских депеш нашими кораблями. Телеграфируют значительно быстрее нас, иногда слишком быстро, что означает большую практику телеграфистов по сравнению с нашими. Наши аппараты, по крайней мере [на] небольших расстояниях, вполне могут принимать германские телеграммы. На следующей странице воспроизведены упомянутые выше переговоры. Лента находится у меня.

Профессор А. Попов. 28 июля 1902 г. Ст. “Преображенская” Варшавск. ж. д.» [6].

Составленная и приложенная А. С. Поповым к этой докладной записке таблица воспроизведена в данной статье целиком, в качестве иллюстрации (рис. 5).

По мнению автора настоящей статьи, знакомство с этими документами позволяет исследователям совершенно по-новому взглянуть на роль и место А. С. Попова в истории отечественной радиоразведки. В марте 1903 г. в докладной записке в ГУПиТ по вопросу организации международной радиолинии «Одесса–Варна» профессор А. С. Попов, оценивая её разведзащищенность, прямо укажет: «По свойству беспроволочного телеграфа нельзя защититься от подслушивания какою-либо промежуточной станцией, если она поставит себе такую задачу» [1], [4].

Этот фундаментальный вывод, лежащий в основе всей современной радиоразведки, приводится практически во всех отечественных учебниках, посвященных столь важной отрасли военного дела. Теперь очевидно, что А. С. Попов опирался в нём в том числе и на свой собственный опыт ведения радиоразведки, полученный на кораблях УАО в 1902 г.

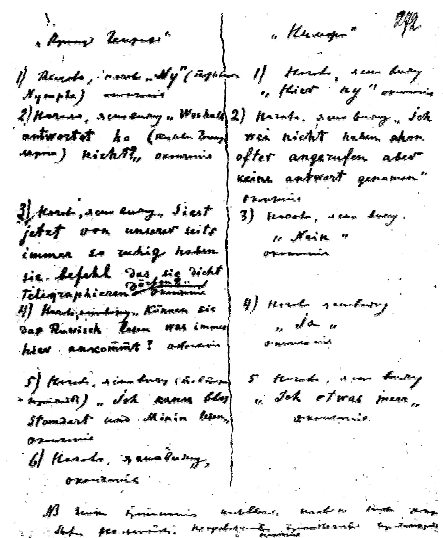


Рис. 5. Донесение А. С. Попова

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов А. С. Сборник документов. К 50-летию радио. Л.: Лениздат, 1945.
2. Коллекция Александра Степановича Попова. Каталог / Сост.: Л. И. Золотинкина, Х. А. Иоффе, Н. Н. Курицына, Е. Г. Кьяндская-Попова, Н. И. Лосич, В. К. Марченков, Ю. И. Спиридонов; Под ред. Н. Н. Курицыной; ЦМС им. А. С. Попова. СПб., 1995.
3. Александр Степанович Попов в характеристиках и воспоминаниях современников / Сост. М. И. Радовский; Под ред. К. К. Баумгарта. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1958.
4. Золотинкина Л. И., Партала М. А., Урвалов В. А. Летопись жизни и деятельности Александра Степановича Попова / Под ред. акад. РАН Ю. В. Гуляева. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008.
5. ММП, ф. 2.1. № XXX.
6. РГА ВМФ, ф. 417, оп. 1, д. 2298, л. 271, 271 об.; ММП, ф. 2.1.2, № 535, 536, 537.

*M. A. Partala*

### *LITTLEKNOWN BUSINESS TRIP OF A. S. POPOV*

*As a professor ETI, A. S. Popov was sent by a Naval ministry to Artillery-training detachment in Revel to prepare wireless equipment before a visit of German Emperor Wilhelm II. In the time of that visit A. S. Popov received the radio signals, exchanged by the German ships. This was the first realization of radiointelligence.*

**A. S. Popov, A. A. Petrovsky, Mine officer class, ETI, Artillery-training detachment, Nicolas II, G. Marconi, Wilhelm II**

## Сведения об авторах

*Бабичев Дмитрий Анатольевич*

Магистрант группы № 4102 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7(921)447-99-33. E-mail: demon-leti@yandex.ru.

*Ваганов Александр Валерьевич*

Старший преподаватель кафедры автоматизации предприятий связи СПб ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, соискатель ученой степени к.т.н. на кафедре инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7(911)112-09-80. E-mail: a\_v\_vaganov@mail.ru.

*Второв Виктор Борисович*

Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: +7(921)394-18-98. E-mail: Victor\_Vtorov@mail.ru.

*Жукова Екатерина Евгеньевна*

Старший преподаватель кафедры высшей математики № 1 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812)388-93-89. E-mail: kate@zhukova.pdmi.ras.ru.

*Захаров Игорь Сергеевич*

Доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812)234-90-71. E-mail: Sergeich188@gmail.com.

*Иванов Андрей Федорович*

Доцент кафедры философии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», профессор, д-р филос. наук.

Тел.: (812)234-89-82. E-mail: AFIvanov@mail.eltech.ru.

*Ивановский Сергей Алексеевич*

Доцент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812)393-65-80. E-mail: saivanovsky@mail.ru.

*Казаков Борис Борисович*

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812)234-00-59. E-mail: boris\_kazakov@bk.ru.

*Козлова Людмила Петровна*

Доцент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812)346-12-48. E-mail: tigrenok59@mail.ru.

*Козлова Ольга Александровна*

Аспирант кафедры процессов управления и информационных систем Северо-Западного технического университета.

E-mail: K\_Olga\_A@mail.ru.

*Кананухина Ольга Владимировна*

Аспирант кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

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

*Крашенинникова Юлия Викторовна*

Доцент кафедры высшей математики № 2 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7(905)253-14-33.

*Партала Михаил Анатольевич*

Ученый секретарь Мемориального музея А. С. Попова СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Капитан I ранга.

Тел.: (812)234-59-00.

*Романов Александр Евгеньевич*

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7(921)319-09-37. E-mail: ellebon@gmail.com.

*Рубашова Дарья Александровна*

Студентка второго курса магистратуры кафедры биомедицинской электроники и охраны среды СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7(960)240-62-33. E-mail: rubashovad@bk.ru.

*Сидоров Александр Иванович*

Профессор кафедры оптоинформационных технологий и материалов СПбГУИТМО, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник.

Тел.: (812)446-81-00. E-mail: aisidorov@newmail.ru.

*Смирнова Вера Андреевна*

Старший преподаватель кафедры высшей математики № 2 СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. физ.-мат. наук.

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

*Соколов Сергей Сергеевич*

Профессор кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.

Тел.: (812)234-16-97; (812)346-44-47. E-mail: sovet@eltech.ru.

*Сольницыев Ремир Иосифович*

Профессор кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ.

Тел.: +7(921)315-19-25.

*Степанов Илья Владимирович*

Доцент кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: +7(921)319-01-08. E-mail: ilstep@mail.ru.

*Тупик Виктор Анатольевич*

Проректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (812)234-34-76. E-mail: vatupik@eltech.ru.

*Устинов Алексей Борисович*

Ассистент кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812)234-99-83; +7(950)030-07-34. E-mail: spinlab@eltech.ru.

*Филатов Денис Михайлович*

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ», аспирант.

Тел.: +7(921)998-89-09. E-mail: DenF2412@list.ru.

*Цирухин Андрей Александрович*

Аспирант кафедры квантовых электронных приборов СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

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)