



К 125-летию  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

# Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Ежемесячный журнал

5' 2011

## Содержание

### Редакционный совет:

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

\* \* \*

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

### РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

*Шавров А. В.* Анализ характеристик точности алгоритма совместного обнаружения и оценивания параметров радиосигналов ..... 3  
*Аммон Л. Ю.* Компьютерное моделирование процесса образования наночастиц при золь-гель-синтезе ..... 8

### ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Ламкин И. А., Тарасов С. А., Феоктистов А. О.* Оптимизация технологии получения омических контактов к эпитаксиальным слоям  $p$ -GaN ..... 14  
*Смелов И. Н., Лучинин В. В.* Использование винтообразных антенн с поперечным излучением для уменьшения габаритов идентификационных радиомаркеров ..... 18  
*Агафонова Д. С., Ремизов И. А., Сидоров А. И.* Волоконный датчик показателя преломления на основе конического волокна ..... 22  
*Гареев К. Г., Грачева И. Е., Альмяшев В. И., Мошников В. А.* Получение и анализ порошков-ксерогелей с нанопазой гематита ..... 26

### ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Матвеева И. В., Калмычков В. А.* Моделирование квантовых цепей на виртуальном клеточном автомате ..... 33  
*Каменьков Д. В., Анисимов В. И.* Структура и свойства электронных документов ..... 39  
*Пашков М. П.* Применение метода распознавания образов при диагностировании автономной вычислительной системы ..... 43  
*Ляшенко А. Л., Новожилов И. М.* Применение метода расширенных частотных характеристик для анализа объектов с распределенными параметрами ..... 48  
*Ходыров И. А., Татаринов Ю. С.* Прогнозирование показателей организации с использованием журналов событий ..... 53

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

*Зуев В. А., Пелевин А. Е.* Оптимизация курса судна в задаче динамического позиционирования ..... 59

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

*Федоров В. В.* Электромагнитные объемные резонаторы – источники гравитационного поля ..... 69  
*Беналлал Н., Ватаев А. С., Доан Ань Туан, Нахди Т.* Определение высокочастотных параметров электрических машин переменного тока ..... 78

### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Кривцова Г. Б.* Кавитационная зона «точечного» источника ультразвукового воздействия – мультифрактальный информационно-энергетический объект водной среды ..... 87

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

*Попечителев Е. П.* Информационные критерии  
качества выполнения аналитических исследований ..... 93

*Патрина Т. А.* Автоматизированная система исследования  
и контроля биомеханических параметров костных  
тканей и имплантатов на основе набора  
специализированных программных блоков ..... 101

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

*Котова Е. Е.* Моделирование процесса обучения  
с использованием управляющих дидактических стратегий ..... 109

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ  
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

*Барашко Д. Ф.* Сравнительный анализ показателей оценки  
эффективности и функционирования в предпринимательстве ..... 119

*Капитонова О. В., Степанов И. В.* Применение  
методов менеджмента качества при анализе риска  
опасных производственных объектов ..... 123

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

*Степаненко И. С.* Инфинитив в роли подлежащего  
в английском и немецком языках ..... 129

*Канова Е. А.* Медиареальность: философский анализ ..... 136

*Сведения об авторах* ..... 142

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

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России

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

**Учредитель:**

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

**Свидетельство о регистрации**

ПИ № ФС2-8390  
от 04.12.2006 г. выдано  
Управлением Федеральной  
службы по надзору  
за соблюдением  
законодательства в сфере  
массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия  
по Северо-Западному  
федеральному округу

\* \* \*

**Редакторы:**

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

Подписано в печать 13.05.11 г.  
Формат 60 × 84 1/8.

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

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)  
Заказ 45.

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

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



УДК 621.396.62

*А. В. Шавров*

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ\***

*Приведены результаты исследования характеристик точности оценивания параметров алгоритма, описанного в [1]. Проанализирована эффективность оценок, а также рассмотрено влияние угловых координат источников на точность их оценивания.*

### **Оценивание параметров, граница Крамера–Рао, эффективность оценок**

Одной из важнейших характеристик алгоритма, описанного в [1], является характеристика точности оценивания параметров источников. Алгоритмом оцениваются 3 параметра – частоты, пеленги и углы места источников. Для определения степени эффективности оценивания параметров необходимо обозначить критерии, по которым проводится анализ [2]. Статистическую оценку принято считать качественной, если она удовлетворяет свойствам несмещенности и эффективности.

При определении потенциальной несмещенности и эффективности оценки важную роль играют 2 основных параметра – дисперсия оценки и ее смещение. Согласно классической теории, по определению, к эффективным могут относиться только несмещенные оценки, поэтому, прежде всего, необходимо проанализировать смещение оценок. Для этого было проведено 1000 циклов моделирования алгоритма при каждом значении отношения сигнал/шум  $q$ . По результатам моделирования для каждого значения  $q$  были рассчитаны средние значения параметров, что позволило оценить смещение оценок относительно истинных значений параметров.

Результаты моделирования в виде зависимостей смещения оценок частоты, пеленга и угла места от значений  $q$  приведены на рис. 1,  $a$ – $в$  соответственно.

---

\* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (Государственный контракт от 1 октября 2010, №14.740.11.0530).

Анализ результатов эксперимента показывает, что  $|f - \bar{f}| \rightarrow 0, |\theta - \bar{\theta}| \rightarrow 0, |\beta - \bar{\beta}| \rightarrow 0$  при  $q \rightarrow \infty$ . Следовательно, оценки, формируемые алгоритмом, являются асимптотически несмещенными, что позволяет перейти к определению их эффективности. Для этого необходимо вычислить значения дисперсий или СКО оценок и сравнить их с границей минимальной дисперсии.

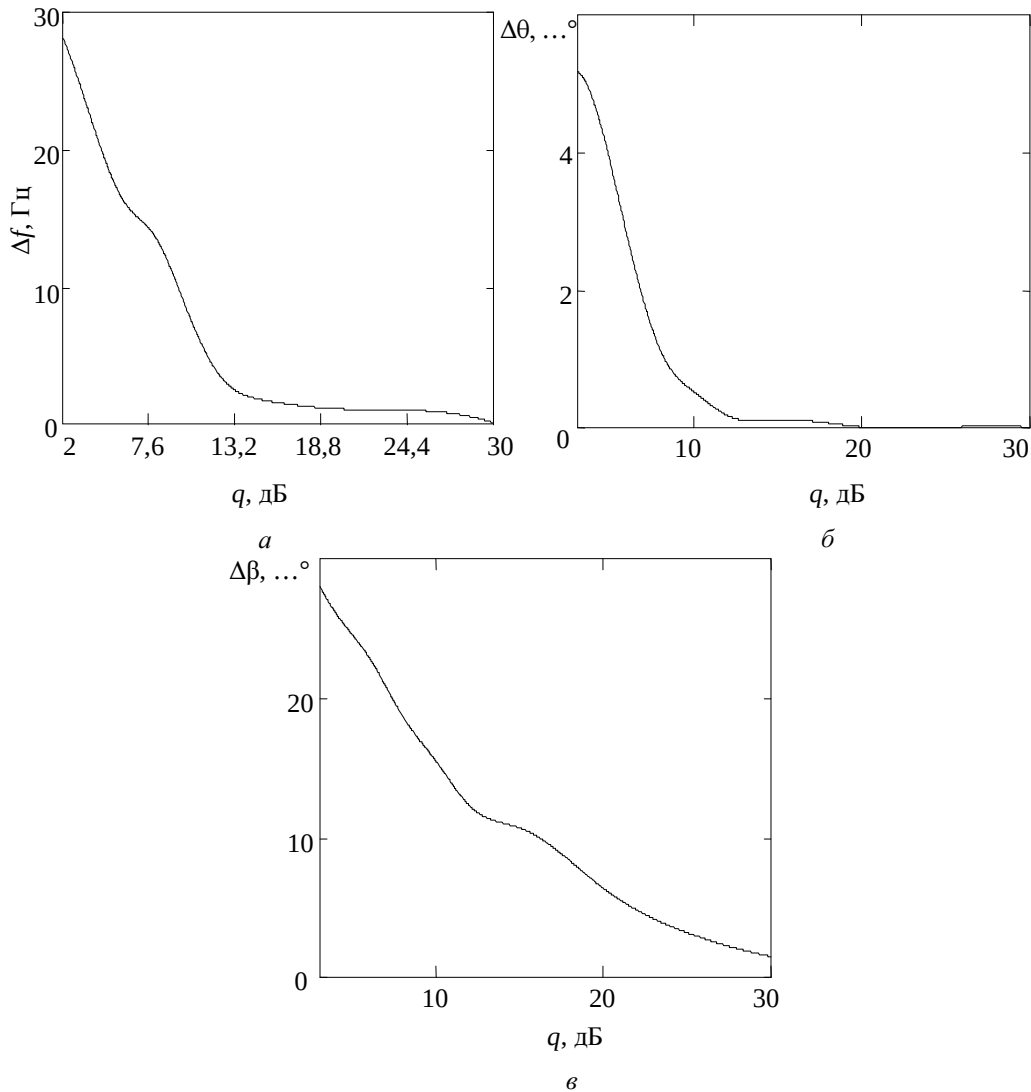


Рис. 1

По определению, граница Крамера–Рао – это нижняя граница неравенства Крамера–Рао, которая для линейных методов оценивания является минимально достижимой границей дисперсии оценок:

$$D_f \geq \frac{1}{I_N(f)},$$

где  $I_N(f) = \frac{d^2 L(f, x_1, \dots, x_N)}{df^2}$  – информация Фишера, содержащаяся в модели об оцениваемом параметре  $f$ ;

$L(f, x_1, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N \ln(w(f, x_1, \dots, x_N))$  – логарифмическая функция правдоподобия;  $w(f, x_1, \dots, x_N)$  – плотность распределения для используемой статистической модели.

Как упоминалось ранее, при разработке алгоритма использовалась следующая модель сигналов:

$$x_i = A \cos(2\pi f \Delta_t i) + N(0, \sigma), \quad i = 1, \dots, N.$$

Тогда функция правдоподобия вычисляется как

$$L(f, x_1, \dots, x_N) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (x_i - A \cos(2\pi f \Delta_t i))^2}.$$

Подставив выражение для функции правдоподобия в выражение для информации Фишера, а его в свою очередь в неравенство Крамера–Рао получим:

$$D_f = \frac{\sigma^2}{A^2 \sum_{i=1}^N (2\pi f \Delta_t i \sin(2\pi f \Delta_t i))^2} - \text{нижняя граница дисперсии оценки частоты для приме-}$$

няемой модели сигналов.

Характеристики точности оценивания параметров строились по результатам 1000 циклов моделирования для каждого значения отношения сигнал/шум. Характеристики точности оценивания частоты, полученные на основе моделирования алгоритма при значениях длины обрабатываемой выборки 128, 32 и 16 данных приведены на рис. 2, а–в соответственно.

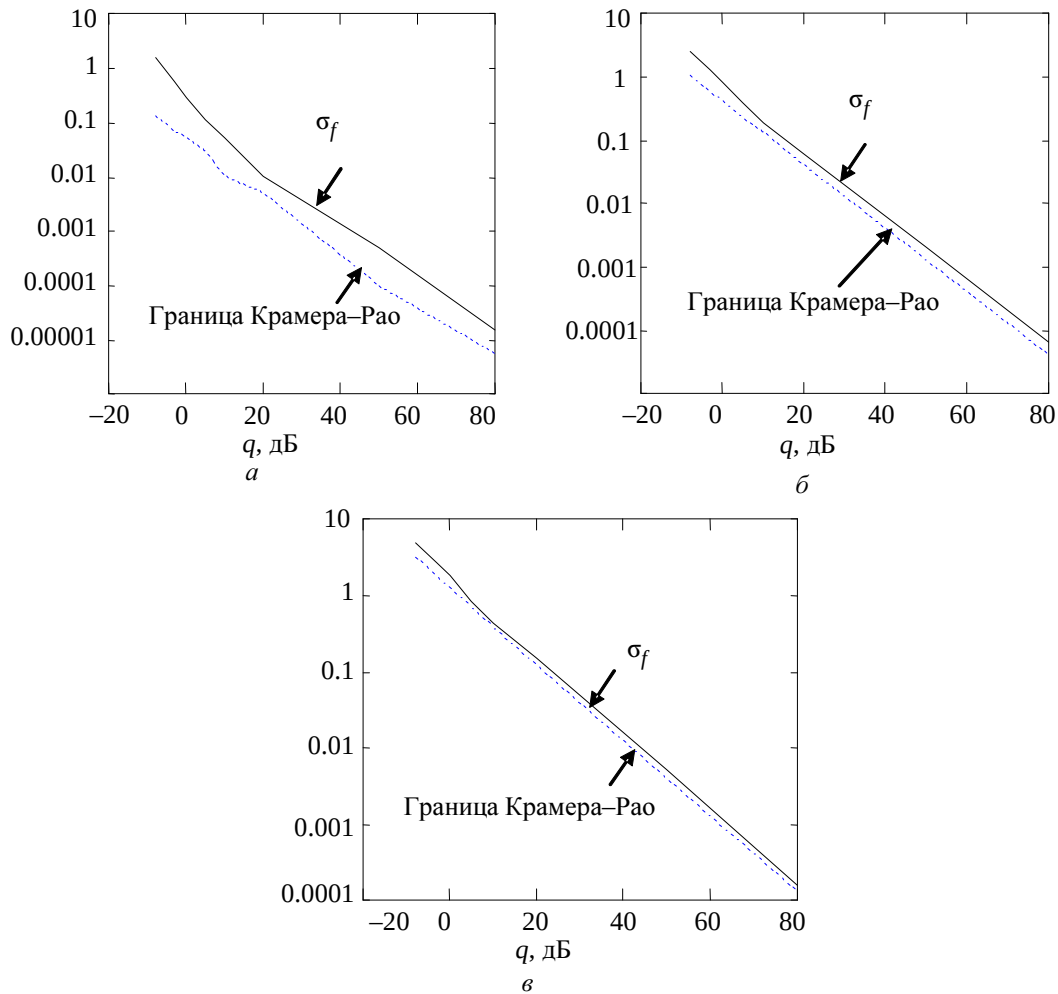


Рис. 2

Подобный анализ проводился и для оценивания фаз принимаемых сигналов, на основании которых рассчитываются пеленги и углы места. При оценивании фазы синусоидального сигнала на фоне гауссовского шума нижняя граница Крамера–Рао определяется следующим выражением:

$$D_{\varphi} = \frac{2\sigma^2}{NA^2}.$$

Характеристики точности для оценивания фаз при длинах выборки 128, 32 и 16 отсчетов приведены на рис. 3, *а–в* соответственно.

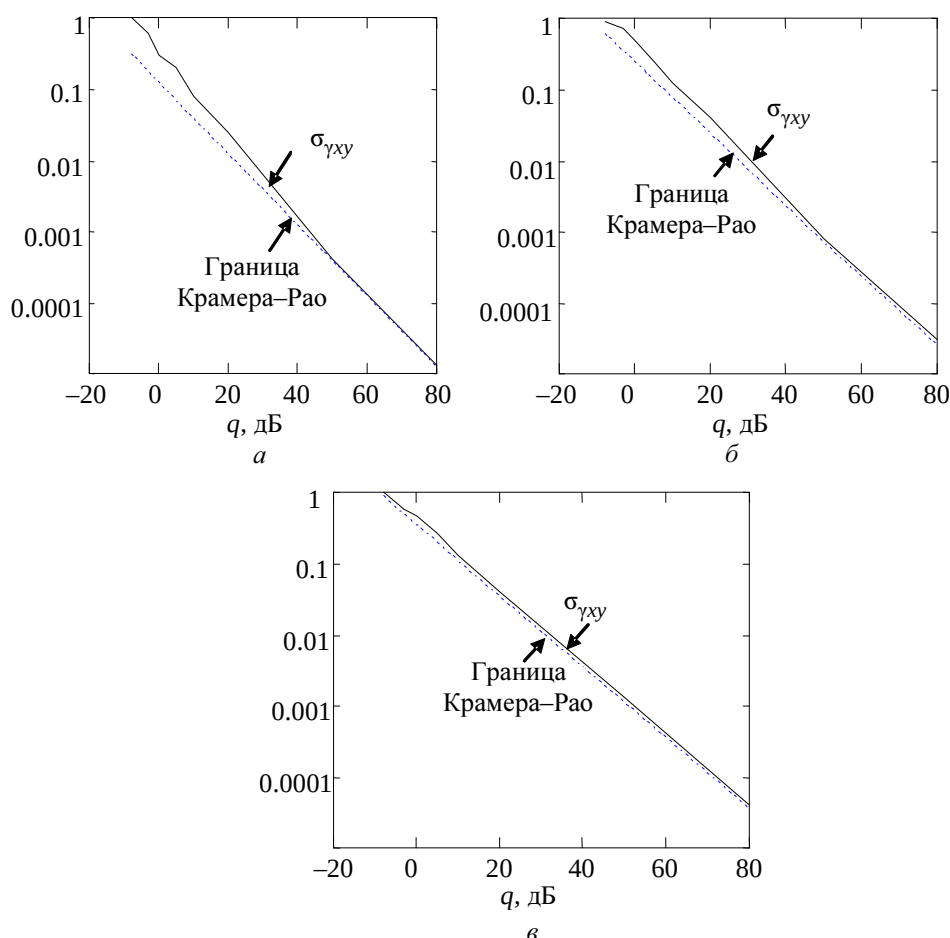


Рис. 3

Анализ полученных зависимостей показывает, что каждую зависимость для точности оценивания как частот, так и фаз можно условно разделить на 3 участка. Для всех полученных характеристик характерно то, что в области  $q \rightarrow 0$  дисперсии оценок идут приблизительно параллельно границе Крамера–Рао. С ростом  $q$  характеристики переходят ко 2-му участку, для которого характерно сокращение расстояния относительно границы Крамера–Рао. При дальнейшем увеличении  $q$  наступает 3-й участок, на котором дисперсии оценок практически равны нижней границе, причем наименьший проигрыш относительно границы минимальной дисперсии наблюдается при меньших длинах выборки данных.

Таким образом, формируемые алгоритмом оценки являются не только несмещенными, но и эффективными асимптотически, поэтому их можно считать качественными.

Наряду с проведенным анализом точности представляет интерес выявление характерных особенностей данного алгоритма при оценивании параметров, в частности, определение влияния угловых координат источников на точность их оценивания. Задача состоит в том, чтобы выяснить, существует ли зависимость между точностью оценивания пеленга от угла места и наоборот. Для оценки возможной зависимости необходимо многократно промоделировать алгоритм при различных значениях угловых координат. Для определения зависимости между точностью оценки пеленга и значением угла места было проведено по 1000 циклов моделирования при значениях  $\beta$  от 0 до  $90^\circ$ . При моделировании была обнаружена следующая особенность: при значении  $\beta = 90^\circ$  оценить пеленг не представляется возможным, так как значения оценки пеленга распределены в интервале от 0 до  $360^\circ$ . Этот факт объясняется тем, что при значении угла места  $90^\circ$  фазовые сдвиги между парами элементов  $\gamma_{xy}$  и  $\gamma_{xz}$  равны 0, так как  $\cos \beta = 0$ . Следовательно, однозначно определить  $\theta$  в данном случае невозможно. По мере уменьшения угла места от  $90^\circ$  дисперсия оценки  $\theta$  уменьшается и достигает своего минимума при  $\beta = 0$ . Экспериментальная зависимость  $\sigma_\theta(\beta)$  при  $q = 20$  дБ, построенная по результатам моделирования, представлена на рис. 4.

Аналогичные исследования были проведены для установления зависимости между точностью оценивания угла места и значением пеленга. Было проведено 1000 циклов моделирования при значениях  $\theta$  от 0 до  $360^\circ$ , для каждого значения  $\theta$  оценивалось СКО оценок  $\beta$ . Вид этой зависимости, полученный экспериментально, представлен на рис. 5.

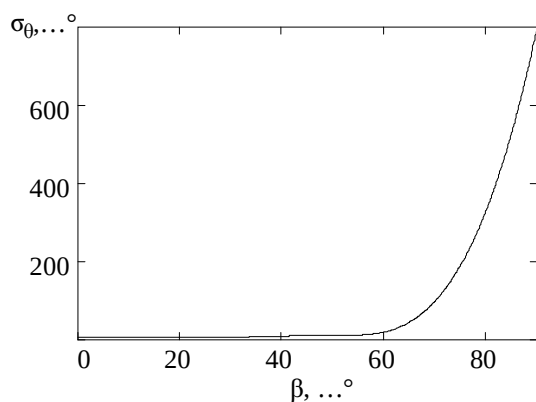


Рис. 4

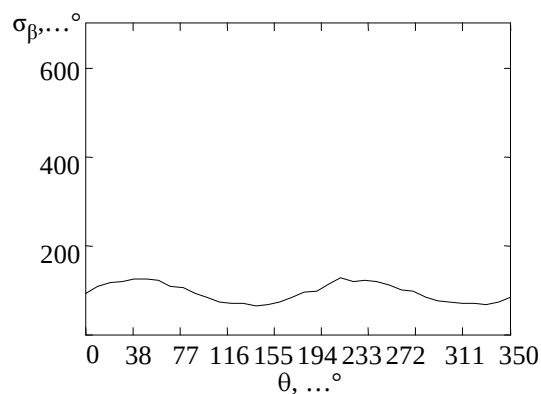


Рис. 5

Из результатов моделирования видно, что при изменении угла  $\theta$   $\sigma_\beta$  флуктуирует в окрестности значения, приблизительно равного  $100^\circ$ . Таким образом, явной зависимости между точностью оценивания угла места и значением пеленга не прослеживается.

Следует отметить, что при оценивании параметров разработанный алгоритм обеспечивает значительно худшую точность по определению углов места. Однако для некоторых классов задач точность оценивания угла места не является критичной. В частности, при применении разработанного алгоритма для обнаружения мобильных абонентов в системах подвижной связи, как правило, первостепенное значение имеет оценивание несущих частот и пеленгов. В этом случае информация об угле места носит вспомогательный характер и служит для уточнения местоположения абонента по высоте. Для достижения более высокой точности оценивания углов места необходимо модернизировать алгоритм, а также геометрию антенной решетки, что является темой отдельных исследований. Полученные в результате исследования данные совместно с характеристиками, выведенными в [3], имеют важное значение для практического применения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шавров А. В. Алгоритм совместного обнаружения-оценивания источников радиосигналов для систем радиомониторинга// Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 1. С. 3–9.
2. Roy R., Kailath T. ESPRIT – Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques. // IEEE transactions on acoustics, speech and signal processing. 1989. Vol. 37, № 7. P. 984–995.
3. Шавров А. В. Расчет порогового значения решающей статистики для алгоритма совместного обнаружения и оценивания параметров радиосигналов// Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 1. С. 3–7.

A. V. Shavrov

PARAMETER ESTIMATION ACCURACY ANALYSIS FOR JOINT ESTIMATION AND DETECTION ESPRIT-BASED ALGORITHM.

*The paper describes the results of estimation accuracy analysis for the joint detection and estimation algorithm covered in [1]. The analysis of estimates efficiency is discussed. Also DOA influence on accuracy characteristics is explored.*

**Parameter estimation, Cramer–Rao lower bound, estimate`s efficiency**

УДК 501.,544.015.2,544.023.23

*Л. Ю. Аммон*

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-СИНТЕЗЕ

*Рассмотрено моделирование процессов образования наночастиц в золь-гель-технологии при гидролизе тетраэтоксисилана или кремнезема.*

**Компьютерное моделирование, золь-гель-синтез, фрактальные структуры, наночастицы**

Обычно в золь-гель-технологии используется реакция гидролиза тетраэтоксисилана  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 3\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  или реакция щелочного гидролиза кремнезема  $\text{SiO}_2 + 4\text{NaOH} \Rightarrow \text{Na}_4\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  [1]. Рассмотрим природу образования золя кремниевой кислоты. Структурообразующей единицей в этих реакциях служит анион ортокремниевой кислоты  $[\text{SiO}_{4/2}]^{-4}$ . Пространственная структура этого аниона представлена как тетраэдр, в котором атом кремния (с гибридизацией  $sp^3$ ) связан с четырьмя атомами кислорода. Обозначение  $[\text{SiO}_{4/2}]$  показывает, что каждый атом кислорода одной валентностью связан с кремнием, а второй – либо с заместителем (ионами водорода, щелочного металла и т. п.), либо с другой тетраэдрической группировкой. Средняя длина связи между кремнием и кислородом составляет 0.163 нм, ковалентный тетраэдрический радиус группировки равен 0.117 нм [2]. Закономерности образования мономеров, димеров, тримеров и ассоциатов большей сложности (влияние температуры, pH среды, продолжительности реакций и т. д.) могут привести к пониманию процессов формирования устойчивых наночастиц [3].

Благодаря тому, что в наночастице большая часть атомов находится на поверхности, она обладает большой поверхностной энергией. С другой стороны, наночастица представляет собой совокупность ионных, ковалентных, гипервалентных и водородных связей и их энергетических характеристик, при этом фактор размера не играет решающей роли. При определении наночастицы как нанообразования с уникальными свойствами возникает вопрос о необходимости введения для нее понятия «нежесткая молекула». В отличие от



обычной «жесткой» молекулы «нежесткая» наночастица имеет на своей поверхности несколько одинаковых или различных энергетических минимумов, разделенных малыми энергетическими барьерами. Энергия перехода от одной структурной конфигурации к другой мала и не превышает нескольких десятков килоджоулей на моль. Таким образом, возникновение даже слабой водородной связи может привести к структурному изменению всего нанообразования – за счет деформации валентных углов одна структура способна переходить в другую. Эти представления учтены при составлении модели.

В данной статье рассмотрена компьютерная модель образования кластера, состоящего из кремнекислородных тетраэдров, по аналогии с процессом поликонденсации продуктов гидролиза тетраэтоксисилана. Понятие «кластер» трактуется как «последовательность тетраэдров, соседние элементы которой имеют как минимум одну общую точку».

Геометрическая структура кремнекислородного тетраэдра представляется правильным тетраэдром: все его грани – равносторонние треугольники, все вершины равноудалены от центра тетраэдра. В вершинах такого тетраэдра находятся атомы кислорода, а в центре – атом кремния (рис. 1).

Начальной конструкцией кластера является один кремнекислородный тетраэдр, расположенный в начале трехмерной системы координат: середина тетраэдра, т. е. атом кремния, находится в точке (0; 0; 0).

Затем иницируется итеративный процесс, состоящий из формирования очередной частицы, определения точки присоединения, вычисления новых координат и добавления этой частицы в последовательность, представляющую кластер в памяти компьютера.

Выбор точки присоединения очередной частицы к кластеру носит случайный характер, однако каждая вершина тетраэдра обладает некоторым вариационным параметром – весовым коэффициентом, который учитывается при определении общей точки двух тетраэдров. Таким образом, через весовые коэффициенты реализуется модельное представление о химической природе и длине связей между атомами молекул и их влиянии на структуризацию кластера.

Вторым важным моментом моделирования является механизм роста кластера, то, каким образом элементы кластера соединяются друг с другом. Как известно [4], [5], в природных кристаллических силикатных системах могут наблюдаться ленточные структуры, когда кремнекислородные тетраэдры расположены по некоторым линиям, состоящим из цепочек Si – O – Si, и островные структуры с замкнутым циклом тетраэдрических группировок. Связывающий 2 атома кремния кислород называется мостиковым [6]. В аморфных силикатах тетраэдрические группировки располагаются более хаотично [7]. Считается, что в таких системах существует ближний порядок, когда две тетраэдрические группировки связаны друг с другом почти по линии центров атомов кремния или с небольшим отклонением от линейности на некоторый угол  $\theta$ . Накопление таких отклонений приводит к нарушению регулярности структуры. Дальний порядок предполагает накопление углов отклонения и более хаотичное распределение структурных единиц. Экспериментальное

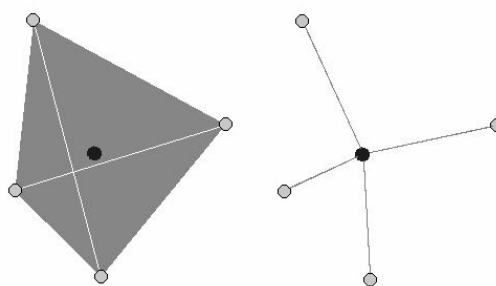


Рис. 1

определение угла отклонения  $\theta$  связано с совместным исследованием диффузии радиоактивных катионов в аморфных системах и их электропроводности. Отклонение от выполнимости уравнения Эйнштейна–Нернста, связывающего диффузию и электропроводность, позволяет оценить значение  $\theta$ , лежащее в пределах  $5...30^\circ$  [8], [9]. В данной модели учитывается только ближний порядок. Эти структурные представления были заложены в разрабатываемую модель в качестве угла отклонения от линейности.

Физическая картина образования кластера такова, что участвующие в его формировании частицы представлены правильными тетраэдрами. Соединение двух частиц происходит через одну общую вершину (атом кислорода), которая, естественно, должна быть вакантной, незанятой. Ориентация двух соединяющихся частиц кластера представляется следующим образом: во-первых, атомы кремния и общий (мостиковый) атом кислорода располагаются на одной прямой, во-вторых, остальные атомы кислорода максимально удалены друг от друга (рис. 2) [10].

Дополнительным условием модели является возможность задать некое отклонение от угла в  $180^\circ$  при присоединении очередной частицы к элементу кластера (рис. 3). Реализуется это за счет того, что после начальной стыковки с кластером каждая из вершин присоединяемого тетраэдра (частицы) поворачивается на заданный угол вокруг оси вращения. Ось вращения, в свою очередь, проходит через общую точку (атом кислорода) и имеет случайную ориентацию.

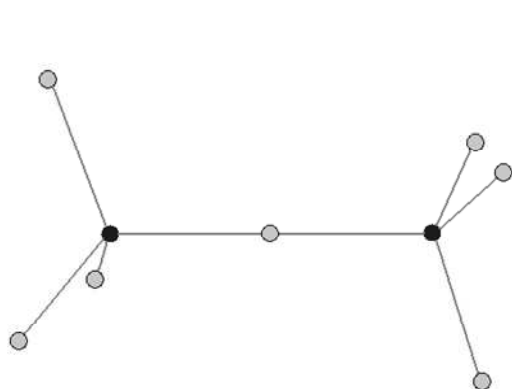


Рис. 2

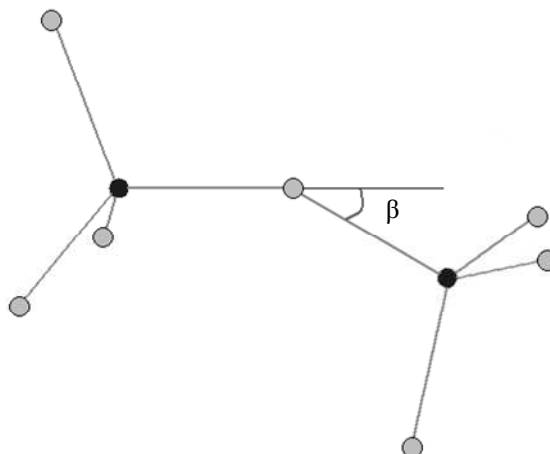


Рис. 3

В данной модели помимо случайного направления оси вращения имеется еще одно допущение – угол поворота также выбирается случайно, но имеет ограничения по значениям – не более  $N$  градусов. Таким образом, помимо весовых коэффициентов роста появляется еще один параметр моделируемой системы – максимальный угол отклонения при стыковке двух кремнекислородных тетраэдров.

Далее представлены результаты моделирования с использованием комбинаций различных значений весовых коэффициентов и максимальных углов отклонения (рис. 4, а–в).

В ходе тестового машинного эксперимента обрабатывалась задача определения степени влияния параметров системы на ее поведение. Для этого необходимо было установить, как меняется среднее число тетраэдрических группировок, при котором происходит образование цикла, замкнутого кластера (рис. 4, б) при варьировании значений весовых коэффициентов и максимального угла отклонения.

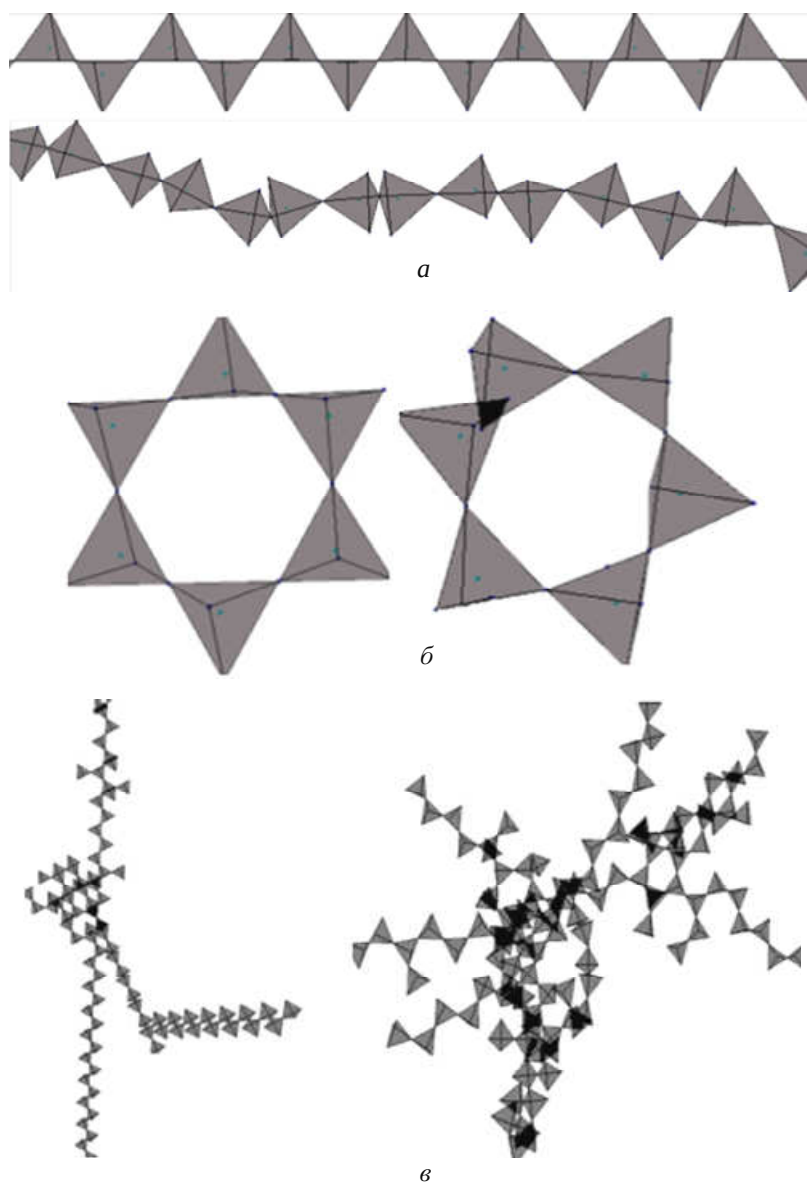


Рис. 4

На приведенных далее рисунках представлены полученные результаты: зависимость усредненного по количеству испытаний числа тетраэдров, образующих цикл, от максимального угла отклонения (рис. 5), а также от весового коэффициента, увеличение которого повышает вероятность линейного роста (рис. 6). Экспериментальным путем установлено, что незначительная погрешность в усреднении числа частиц достигается при  $10^6$  опытах.

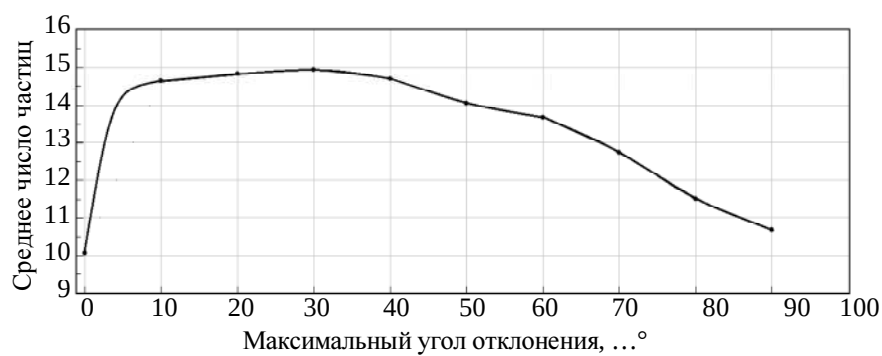


Рис. 5

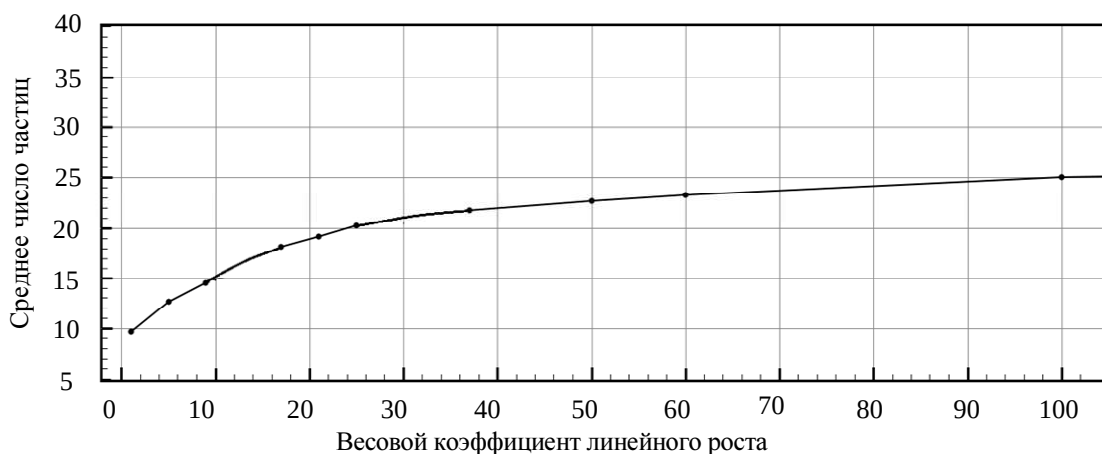


Рис. 6

Рис. 5 показывает, что наибольшее количество частиц (14, 15), необходимых для формирования цикла, соответствует максимальному углу отклонения  $20...30^\circ$ . При увеличении весового коэффициента линейного роста (рис. 6) максимальное значение частиц стремится к 25. Этот эксперимент показывает, что вклад структурных изменений, вносимых природой химической связи, значительно больше, чем вклад во взаимном расположении тетраэдров. Исходя из этого, можно заключить, что после рубежа в 50...100 единиц каждое следующее значение весового коэффициента дает незначительный прирост среднего числа молекул, необходимого для образования цикла, но возможностей для структурных преобразований значительно больше.

После анализа полученных данных был выполнен еще один эксперимент для получения зависимости количества частиц, необходимого для образования цикла, от весового коэффициента, но уже при фиксированном значении максимального угла отклонения в  $30^\circ$  (кривая 1 на рис. 7). Кривая 2 соответствует значению максимального угла отклонения  $0^\circ$ .

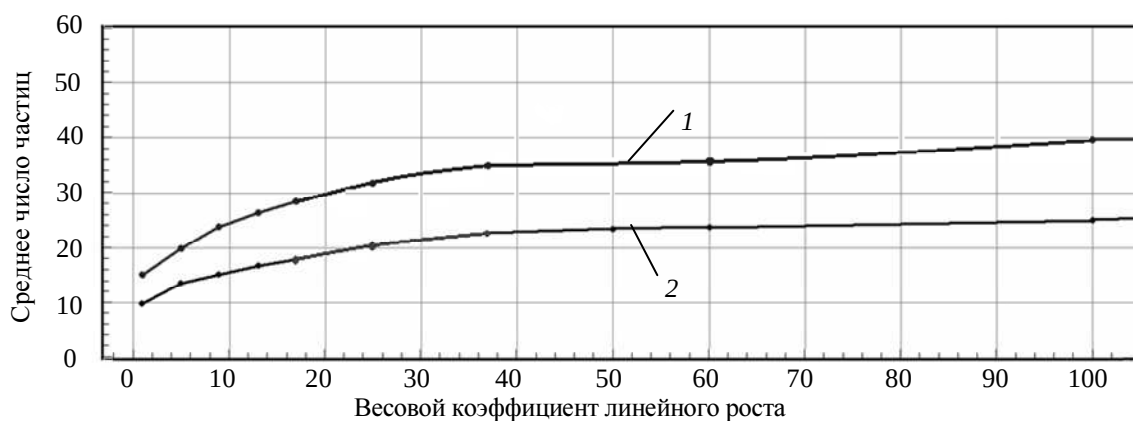


Рис. 7

Сравнивая рис. 6 и 7 можно установить, что при значении весового коэффициента, равном нулю, среднее число частиц отличается в 1,54 раза, а при значении, равном 100, – в 1,58.

Таким образом, в данной статье описаны результаты моделирования процесса поликонденсации продуктов гидролиза тетраэтоксисилана. Принятые модельные допущения позволяют утверждать, что модель достаточно адекватно описывает процесс образования наночастиц в реальной химической реакции. Разработанное программное обеспечение позволяет визуально наблюдать за динамикой роста кластера.

По результатам вычислительного эксперимента определена зависимость среднего числа молекул кластера, при котором образуется замкнутая структура, от параметров системы: угла отклонения, возникающего при стыковке молекул, и коэффициента, определяющего степень линейности роста кластера.

Данная работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 09-08-1111 «Процессы переноса во фрактальных средах и системах: свойства и размерности»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

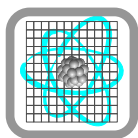
1. Кузнецова Л. А., Николаева Л. В., Борисенко А. И. Тонкослойные и эмалевые керамические покрытия. Л.: Наука, 1980.
2. Лазарев А. Н., Игнатьев И. С., Тенишева Т. Ф. Колебания простых молекул со связями Si–O. Л.: Наука, 1980.
3. Аммон Л. Ю. Моделирование процесса синтеза наноразмерных пленок // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: Межвуз. сб. науч. тр. / Под общ. ред. В. М. Самсонова, Н. Ю. Сдобнякова. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2010. Вып. 2. С. 5–9.
4. Аппен А. А. Химия стекла. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1974.
5. Торопов Н. А., Журавлев В. Ф. Физическая и коллоидная химия силикатов / Под общ. ред. Д. С. Белянкина. М.; Л.: Гизместпром РСФСР, 1941.
6. Шукаев И. Л. Лекции по неорганической химии. Ч. 1. Пространственное строение веществ и химии неметаллов. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2004. С. 7.
7. Белюстин А. А., Шульц М. М. Взаимодиффузия катионов и сопутствующие процессы в поверхностных слоях щелочносиликатных стекол, обработанных водными растворами // Физика и химия стекла. 1983. Т. 9, № 1. С. 3–27.
8. Haven Y., Verkerk B., Diffusion and electrical conductivity of sodium ions in sodium silicate glasses // Phys. Chem. Glass. 1965. 6. P. 38-45.
9. Жабров В. И., Кузнецова Л. А. Исследование морфологии пленок на основе силиката натрия методом атомно-силовой микроскопии // Физика и химия стекла. 2009. Т. 35, № 1. С. 65–73.
10. Фичини Ж., Ламброзо-Бадер Н., Депензе Ж.-К. Основы физической химии. М.: Мир, 1972.

L. U. AMMON

#### COMPUTER SIMULATION OF THE FORMATION OF NANOPARTICLES BY SOL-GEL SYNTHESIS

*The purpose of this study is to simulate the formation processes of nanoparticles in the sol-gel method by hydrolysis of tetraethoxysilane or silica.*

**Computer simulation, sol-gel synthesis, fractal structures, nanoparticles**



УДК 621.315.592

И. А. Ламкин, С. А. Тарасов, А. О. Феокистов

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ЭПИТАКСИАЛЬНЫМ СЛОЯМ $p$ -GaN

*Исследовано влияние технологических режимов получения омических контактов к эпитаксиальным слоям  $p$ -GaN на вольт-амперные характеристики таких контактов и предложены рекомендации по снижению сопротивления таких контактов.*

**Полупроводник, полупроводниковые нитриды, вакуумное напыление, омические контакты**

Нитрид галлия (GaN) является одним из наиболее перспективных материалов электронной промышленности. Структуры на основе GaN и его твердых растворов находят широкое применение при изготовлении коротковолновых излучателей [1] и СВЧ-транзисторов [2]. При создании лазерных и светодиодных структур повышенной мощности важную роль начинают играть параметры омических контактов, в первую очередь, их сопротивление [3]. Для омических контактов к эпитаксиальным слоям  $n$ -GaN в настоящее время получены сопротивления на уровне  $8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  за счет использования комбинации слоев Ti/Al [4]. Однако создание низкоомных омических контактов к нитриду галлия  $p$ -типа по-прежнему представляет определенные трудности. В работе, результаты ко-

торой представлены настоящей статьей, исследовано влияние технологических факторов на параметры омических контактов к слоям  $p$ -GaN и предложены рекомендации по уменьшению их сопротивления.

**Методика изготовления структур.** Структура исследованных образцов представлена на рис. 1. На сапфировой подложке толщиной 430 мкм при использовании методик газофазной эпитаксии создавался буферный слой нелегированного нитрида галлия толщиной 2 мкм, необходимый для снижения влияния дислокаций и иных дефектов, вызванных рассогласо-

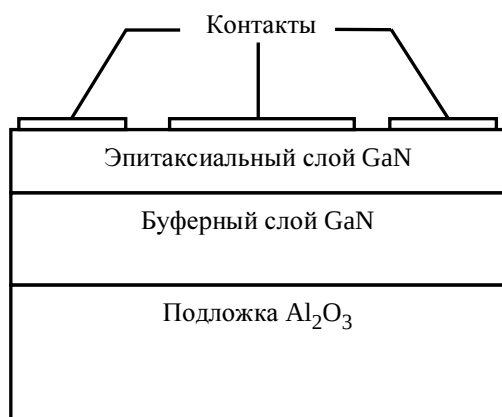


Рис. 1

ванием кристаллических решеток GaN и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Далее выращивался «рабочий» слой *p*-GaN толщиной 900 нм. Концентрация легирующей примеси находилась на уровне  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Относительно большая толщина верхнего слоя использовалась для минимизации воздействия границ раздела между эпитаксиальными слоями и связанных с ними дефектов на процессы токопереноса в контактах металл–полупроводник. Для всех последующих экспериментов использовались эпитаксиальные структуры, созданные в рамках одного техпроцесса. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что основное влияние на характеристики созданных омических контактов оказывали выбор металла и технологические факторы его наращивания, а не особенности эпитаксиальных структур.

Металлические слои создавались вакуумным напылением в установке на основе вакуумного универсального поста ВУП-4 при вакууме не хуже  $10^{-5}$  мм рт. ст. Установка позволяла проводить нанесение в одном технологическом процессе до трех слоев металлов различной толщины и состава. Были созданы структуры со слоями Ni, Au, Ag, Ti, Al и др., а также многослойные контакты (Ni/Au и др.). Толщины каждого слоя варьировались для различных образцов в пределах от 5 до 100 нм. Перед нанесением металлических контактов поверхность структур предварительно очищалась с использованием различных химических реагентов, в частности, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CCl<sub>4</sub>, изопропилового спирта, ацетона и др. В процессе напыления для улучшения адгезии металла структуры подогревались до температур 100...300 °С.

Часть исследованных образцов подвергалась отжигу в окислительной среде при температурах 400...700 °С. Отжиг производился в печи ПМ-8 с автоматизированным контролем температуры. Время отжига варьировалось для различных структур в пределах от 3 до 30 мин.

**Исследование влияния технологических факторов на вольт-амперные характеристики структур металл–*p*-GaN.** При отработке технологии создания омических контактов было изучено влияние широкого ряда технологических параметров формирования структур металл–нитрид галлия на их вольт-амперные характеристики и сопротивление. Было исследовано воздействие предварительной обработки поверхности полупроводника и подогрева подложки, вариации толщины слоев, составляющих контакт. Показано, что важнейшее влияние на характеристики контакта оказывают параметры отжига, в особенности его температура.

На первом этапе исследований были изучены характеристики структур с однослойными металлическими контактами. К сожалению, практически все структуры такого типа обладали выпрямляющими вольт-амперными характеристиками (рис. 2). Варьирование технологическими параметрами нанесения металлических слоев не привело к существенному улучшению ситуации. Некоторого уменьшения сопротивления удалось достичь при отжиге контакта Au–*p*-GaN в окислительной среде (рис. 3), однако выпрямление наблюдалось даже при отжиге в течение 30 мин и более. Таким образом, можно сделать вывод, что однослойные контакты малопригодны для создания омических контактов к слоям *p*-GaN.

Были созданы структуры с двуслойными контактами. Наилучшие результаты были достигнуты для композиции Ni/Au, поэтому в дальнейшем основное внимание в работе было уделено такому варианту омического контакта.

Исследования показали, что получение омической характеристики для контакта Ni/Au возможно только за счет правильного подбора соотношения толщин никеля и золота при обязательном применении отжига в окислительной среде при температурах не менее 450 °С про-

должительностью не менее 5 мин. Особенно важен правильный выбор толщины слоя Ni. На рис. 4 представлены ВАХ структур с различным Ni-подслоем. Уже при толщине 10 нм контакт переставал быть омическим, поэтому оптимумом является значение около 5 нм.

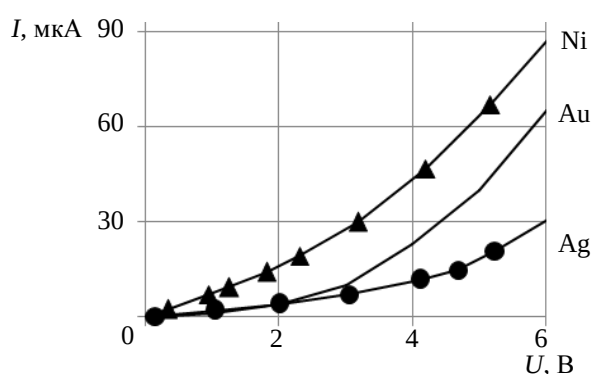


Рис. 2

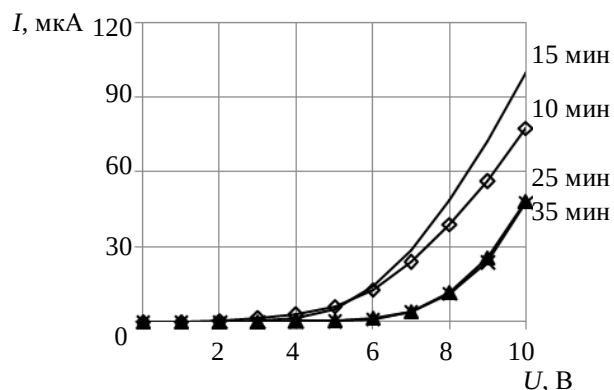


Рис. 3

Для золота наблюдалась иная ситуация (рис. 5). При повышении толщины слоя до 10 нм сопротивление контакта понижалось. Дальнейшее увеличение толщины золота не приводило к существенному изменению сопротивления. Таким образом, оптимальным значением толщины золотого слоя можно считать 10 нм.

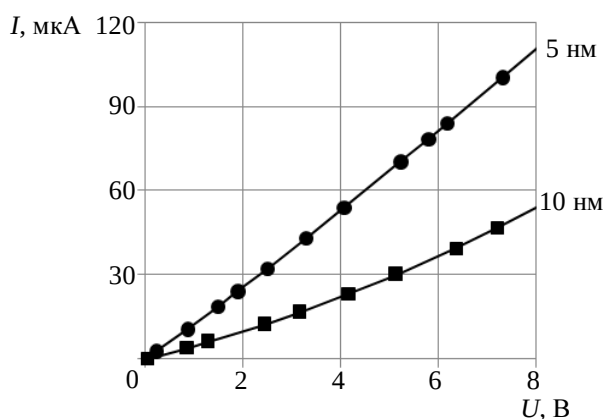


Рис. 4

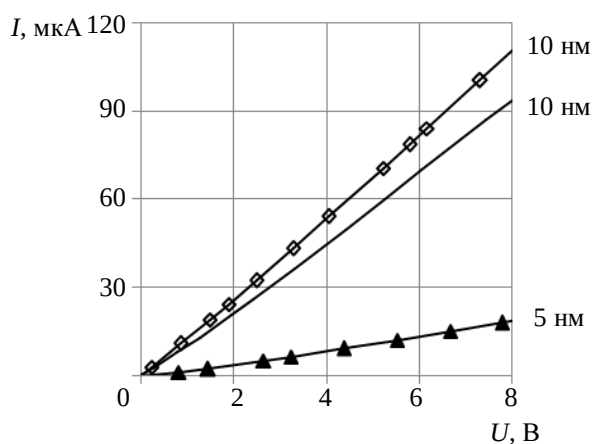


Рис. 5

Однако без отжига в атмосфере, содержащей кислород, или в случае отжига при температурах до 450 °C вольт-амперные характеристики структур Ni/Au-*p*-GaN были нелинейны. Исследования показали, что сравнительно меньшим сопротивлением обладают образцы, подвергнутые отжигу при температуре 500 °C (рис. 6). Дальнейшее увеличение температуры приводило к ухудшению параметров омических контактов.

Влияние времени отжига на вольт-амперные характеристики представлено на рис. 7. Видно, что для получения омических контактов необходим отжиг продолжительностью не менее 10 мин. При отжиге в течение 20 мин и более сопротивление контакта повышается.

Объяснить полученные результаты можно следующим образом. В неотожженных структурах Ni/Au-*p*-GaN на границе полупроводника существует контакт Ni-*p*-GaN, который, как указывалось ранее, проявляет выпрямляющие свойства. Для получения омического контакта необходим отжиг в окислительной атмосфере при температуре, достаточной для



проникновения кислорода сквозь золото к никелю и образования слоя оксида никеля. Такой слой будет обладать диэлектрическими свойствами, поэтому использование только слоя никеля с последующим отжигом не позволяет получить качественный омический контакт.

Золото при отжиге в химические реакции не вступает, однако активно диффундирует в слой никеля, добираясь до поверхности полупроводника. Одновременно происходит миграция атомов никеля в противоположном направлении. В результате часть золота распределяется в слое оксида никеля, а часть образует островки пленки на поверхности. Возникает композитная структура, проводящая благодаря туннелированию электронов между частицами золота в слое оксида никеля.

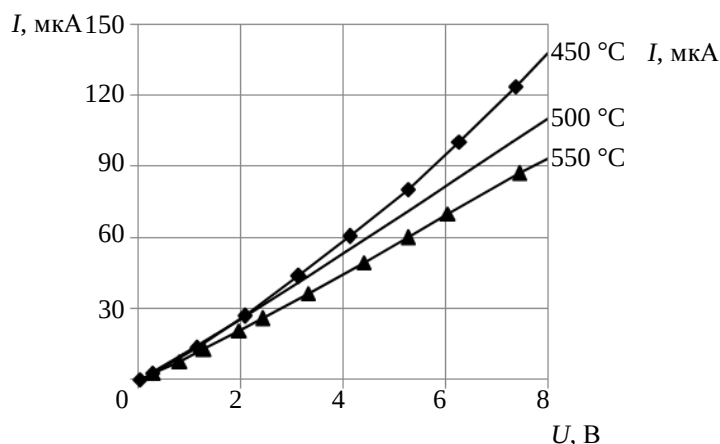


Рис. 6

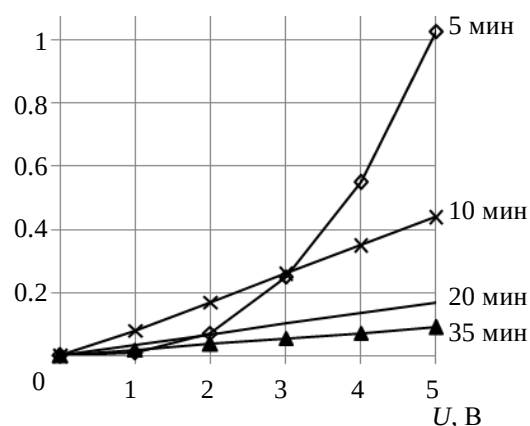


Рис. 7

Атомов золота должно быть достаточно для распределения в объеме оксида никеля. Действительно, атомы золота из слоя толщиной 10 нм проникают в оксид в значительно большем количестве, чем из слоя толщиной 5 нм, которого оказывается недостаточно для равномерного заполнения слоя никеля. В случае толстого слоя никеля атомов золота не хватает для образования проводящей структуры, поэтому вольт-амперная характеристика становится нелинейной. Слишком большая толщина золота может снижать эффективность проникновения кислорода и препятствует образованию слоя оксида.

Температура и продолжительность отжига также оказывают на диффузию атомов значительное влияние. Можно предположить, что температура менее 500 °C не позволяет никелю окисляться и диффундировать в достаточном объеме, следствием чего является нелинейная ВАХ.

По итогам работы можно сформулировать рекомендации по формированию качественных омических контактов к *p*-GaN: следует использовать структуры Ni/Au с соотношением толщин 5/10 нм с отжигом при температуре 500 °C в течение 10 мин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jmerik V. N. Low-threshold 303 nm lasing in AlGaIn-based multiple-quantum well structures with an asymmetric waveguide grown by plasma-assisted molecular beam epitaxy on c-sapphire / V. N. Jmerik, A. M. Mizerov, S. V. Ivanov et al. // Appl. Phys. Lett. 2010. Vol. 96. P. 141112.
2. Многослойные гетероструктуры AlN/AlGaIn/GaN/AlGaIn – основа новой компонентной базы твердотельной СВЧ-электроники / А. Алексеев, Д. Красовицкий, С. Петров, В. Чалый // Компоненты и технологии. 2008. № 2. С. 138–144.
3. Ковалев А. Н. Современные методы усовершенствования полевых AlGaIn/GaN-гетеротранзисторов // Изв. вузов. Материалы электронной техники. 2007. № 2. С. 4–17.

4. Morkoc H. Large-band-gap SiC, III-V nitride, and II-VI ZnSe-based semiconductor device technologies / H. Morkoc, S. Strike, G. B. Gao et al. // J. Appl. Phys. 1994. Vol. 76. P. 1363.

I. A. Lamkin, S. A. Tarasov, A. O. Feoktistov

TECHNOLOGY OPTIMIZATION FOR CREATION OHMIC CONTACTS  
TO p-GaN EPITAXIAL LAYERS

*The formation of Ohmic contacts to p-GaN epitaxial film is discussed. Influence of technological factors on V-I-characteristics is investigated. The recommendations for decreasing of Ohmic contacts resistance are presented.*

Semiconductor, nitride semiconductors, vacuum deposition, Ohmic contacts

УДК 621.396.10

И. Н. Смелов, В. В. Лучинин

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИНТООБРАЗНЫХ АНТЕНН С ПОПЕРЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ГАБАРИТОВ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ РАДИОМАРКЕРОВ

*Рассматриваются вопросы использования винтообразных антенн с поперечным излучением в диэлектрической среде для уменьшения пространственных габаритов идентификационных радиомаркеров.*

Радиомаркер, идентификация, антенна, габариты

В настоящее время задачи бесконтактной идентификации и регистрации объектов решают с помощью систем радиочастотной идентификации (РЧИД). Радиомаркеры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) обладают рядом преимуществ: это отсутствие встроенных источников питания (пассивные радиомаркеры), высокая стойкость к внешним воздействиям, практически неограниченный срок службы маркеров [1], [2].

Энергия, требуемая для работы любого пассивного радиомаркера (в том числе и на ПАВ), аккумулируется из электромагнитного сигнала, поступающего от считывателя. Таким образом, в состав пассивного радиомаркера (рис. 1) непременно входит антенная система, служащая для преобразования энергии электромагнитного поля в энергию токов высокой частоты для маркера, и обратно – при переизлучении ответного сигнала.

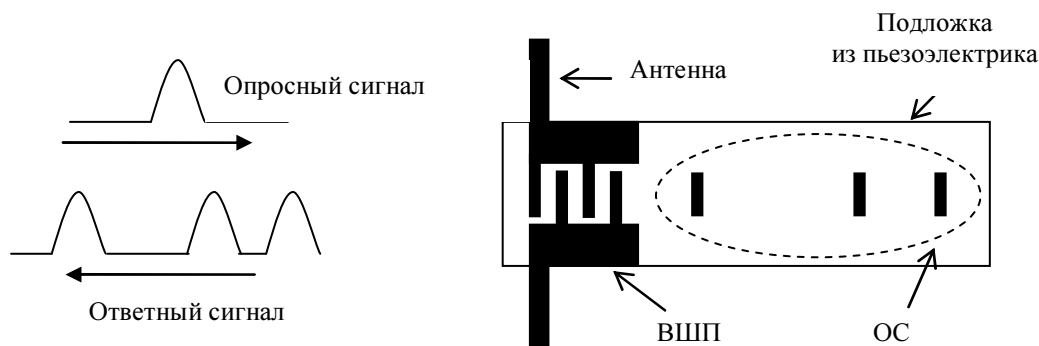


Рис. 1

Большинство антенн радиомаркеров изготавливаются из соображений наибольшей компактности. Для этого применяются различные укороченные вариации классических антенных конструкций – «укороченный шлейф», «спираль», «меандр», «чип» и др. [3].

Уменьшение габаритов антенны, как правило, приводит к ухудшению ее рабочих характеристик и удорожанию радиомаркера. Поэтому процесс разработки антенн радиомаркеров является непростой многопараметрической задачей оптимизации.

Следует отметить, что компактность идентификационного радиомаркера – характеристика относительная. Антенны, выполненные по печатной технологии, позволяют предельно сократить толщину маркера, однако это требуется не всегда. Нередки ситуации, когда нужно добиться компромисса между всеми тремя базовыми размерами маркера – длиной, шириной и высотой (толщиной). В этом случае целесообразно применять объемные конструкции антенн. В настоящей работе демонстрируется возможность минимизации габаритов радиомаркера по всем трем измерениям на примере использования винтообразной антенны с поперечным излучением (НМН-антенна) для частоты 868 МГц.

**Проектирование НМН-антенн.** Винтообразными принято называть антенны, выполненные в виде пространственной (объемной) спирали. По принципу работы винтообразные антенны подразделяют (по направлению излучения) на антенны с поперечным излучением (НМНА – *Normal-Mode Helical Antenna*) и антенны с осевым излучением (АМНА – *Axial-Mode Helical Antenna*)<sup>1</sup>.

Для работы в осевом режиме диаметр витков спирали должен быть порядка длины волны. Поскольку на частоте 868 МГц длина волны составляет 34,5 см, то компактной такую антенну реализовать фактически нельзя. К классу АМН-антенн относятся мощные стационарные антенны с большим усилением, применяющиеся, преимущественно, для радиосвязи на орбитальных спутниках. Диаграмма направленности таких антенн, как правило, довольно узка.

Иначе обстоит дело с винтообразными антеннами, которые излучают в поперечном направлении. Для работы в режиме поперечного излучения диаметр витков спирали должен быть гораздо меньше длины волны. В зависимости от отношения между шагом и радиусом витка спирали (при данной длине волны) эллиптическая поляризация излучения может стремиться к вертикальной, горизонтальной или быть круговой. Диаграмма направленности аналогична обычному несимметричному вибратору. Данный тип антенн широко используется в портативных радиокommunikационных устройствах, в том числе, в мобильных телефонах и, благодаря своим компактным размерам, они вполне пригодны для использования совместно с идентификационными радиомаркерами на ПАВ.

**Изготовление и настройка НМН-антенны в воздушной среде.** При разработке винтообразной антенны, излучающей в поперечном направлении, следует иметь значения параметров, определяющих ее геометрию, и уметь настраивать такую антенну на требуемую частоту. Количество витков  $n$  НМН-антенны зависит от остальных ее геометрических параметров, как-то: диаметр катушки, размеры проводника и расстояние между витками. Значение  $n$  может быть экспериментально определено путем постепенного уменьшения заведомо избыточной длины проволоки в катушке. Настройка антенны на нужную частоту может также эффективно осуществляться сжатием и растяжением пространственной спирали, при котором изменяется ее высота  $L$ . Фактически, рассматриваемая антенна является контуром, состоящим из катушки индуктивности и ее собственной емкости.

---

<sup>1</sup> Курушин А. А. Спиральные антенны в сотовых телефонах // Интернет-ресурс: <http://www.chipnews.ru>.

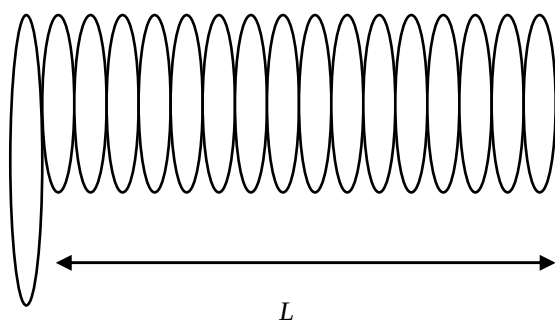


Рис. 2

Вариант NMH-антенны для частоты 434 МГц (рис. 2) со следующими параметрами: число витков  $n = 17$ ; диаметр провода 1 мм; диаметр витков 5 мм; высота катушки  $L = 30$  мм; материал проводника – медь представлен на сайте <http://www.telecontrolli.com>.

В данном случае, для частоты 868 МГц геометрия NMH-антенны из медной проволоки длиной  $\lambda/4$  будет характеризоваться следующими

параметрами: число витков  $n = 8.5$ ; диаметр провода 1 мм; диаметр оправы 5 мм; высота катушки  $L = 15$  мм.

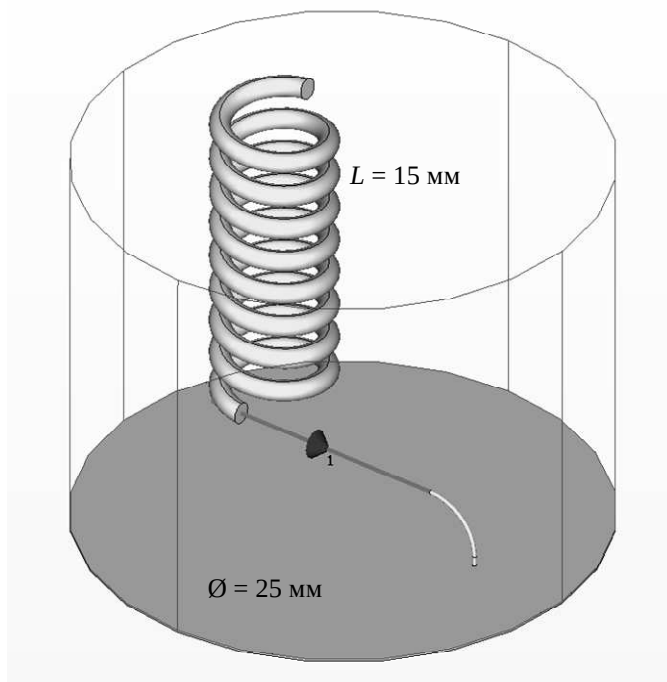
Все антенны, независимо от сложности их исполнения, как любой электронный компонент содержат не менее двух точек подключения. Поскольку NMH-антенна, как и четвертьволновый вибратор, является несимметричной, для реализации второй точки подключения следует использовать заземляющую поверхность (экран). Теоретически, характерный размер (радиус) экрана штыревой антенны должен составлять не менее четверти рабочей длины волны. На практике ее площадь может быть значительно уменьшена без существенного ухудшения рабочих характеристик [3].

Проведенное в пакете *CST Microwave Studio* моделирование NMH-антенны и последующие экспериментальные исследования показали, что для уверенного приема сигнала радиомаркером с NMH-антенной в радиусе порядка 1 м вполне достаточно использовать экран из медной фольги, диаметром порядка 25 мм. При этом в некоторых случаях удалось вообще отказаться от использования экрана, поскольку металлическая крышка корпуса ПАВ-метки принимает эту функцию на себя. Таким образом, благодаря использованию винтообразных антенн, излучающих в нормальном направлении, возможно изготовление рабочих образцов радиомаркеров в габаритах цилиндра порядка 15×25 мм (рис. 3, а).

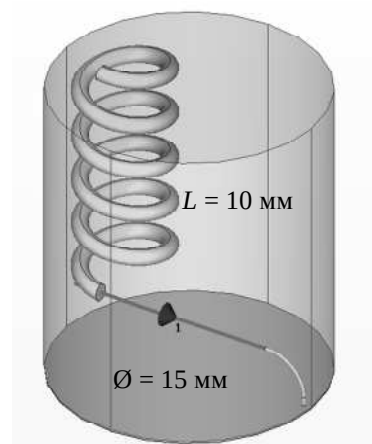
**Заливка NMH-антенн диэлектрическим компаундом.** Поскольку конструкция NMH-антенны является объемной, то ее механическая прочность по отношению к планарным аналогам невелика. Для придания дополнительной прочности радиомаркеру с такой антенной, а также для надежной фиксации системы внутри корпуса эффективно использование диэлектрических компаундов.

Из теории распространения радиоволн известно, что при помещении антенны в среду, отличную от вакуума, для поддержания ее согласования на прежней частоте необходимо сократить ее габариты в  $\sqrt{\epsilon}$  раз. Следовательно, при заполнении системы с винтообразной антенной кремнийорганическим однокомпонентным компаундом ( $\epsilon = 3.4$  на  $f = 10^6$  Гц) можно ожидать уменьшения геометрических размеров конструкции, по меньшей мере, в 1.5 раза.

Экспериментальные исследования и моделирование в среде *CST Microwave Studio* (рис. 3, б) показали, что благодаря использованию указанного компаунда можно добиться уменьшения размеров радиомаркера до габаритов цилиндра порядка 10×15 мм. При этом, как было отмечено ранее, использование экрана необходимо не всегда, что существенно облегчает конструирование подобных антенн.



*a*



*б*

Рис. 3

Уменьшить габариты идентификационного радиомаркера (в том числе и на ПАВ) одновременно по всем трем измерениям можно благодаря использованию объемных излучающих элементов. В частности, использование НМН-антенны, залитой кремнийорганическим однокомпонентным компаундом, на частоту  $f = 868$  МГц позволяет уместить радиомаркер в цилиндре с габаритами  $10 \times 15$  мм, при этом коэффициент усиления НМН-антенны уменьшится по сравнению с коэффициентом усиления обыкновенного четверть-волнового вибратора не более чем на 0.5 дБ. Дальнейшее уменьшение габаритов системы упирается уже не столько в проблему минимизации размера излучателя, сколько в габариты корпуса самой идентификационной метки, которые не могут быть уменьшены по конструктивно-технологическим соображениям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дшхунян В. Л., Шаньгин В. Ф. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. М.: АСТ, 2004.
2. Койгеров А. С., Смелов И. Н. Вопросы согласования радиомаркера с антенной в системе радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах // Тр. 65-й науч.-техн. конф. им. А. С. Попова «СПБНТОРЭС». СПб., 2010.
3. Kent Smith. Antennas for low power applications. RFM, 2003. 16 с.

*I. N. Smelov, V. V. Luchinin*

#### *USE OF NORMAL-MODE HELICAL ANTENNAS FOR REDUCTION DIMENSIONS OF IDENTIFICATION RADIO MARKERS*

*The possibility of using normal-mode helical antenna placed into dielectric environment for reducing space dimensions of radio marker is examined.*

**Radio marker, identification, antenna, dimensions**

## ВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

*Представлены результаты исследования распространения волноводных мод по коническому волокну при изменении показателя преломления окружающей среды. Показано, что сильная зависимость пространственного положения области выхода излучения из волокна при нарушении полного внутреннего отражения от показателя преломления может быть использована для создания датчиков показателя преломления.*

### Волоконно-оптический датчик, коническое волокно, показатель преломления

Волоконно-оптические датчики показателя преломления окружающей среды находят широкое применение в медицине, пищевой и химической промышленности, а также в мониторинге окружающей среды. Как правило, в качестве чувствительных элементов в них используются резонансные волноводные структуры: брэгговские [1] или длиннопериодные [2] волоконные решетки, резонаторы на модах шепчущей галереи [3], кольцевые [4] или петлевые [5] резонаторы, волноводные интерферометры Маха–Цендера различных модификаций [6]. Измеряемой величиной в таких датчиках является спектральный сдвиг резонансной полосы при изменении показателя преломления окружающей среды. Резонансные датчики обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к изменению показателя преломления окружающей среды ( $\Delta n$ ) и могут регистрировать  $\Delta n = 10^{-4} \dots 10^{-8}$ . В то же время резонансные чувствительные элементы сложны в изготовлении и имеют высокую чувствительность к изменению температуры. Для проведения измерений в резонансных датчиках используют дорогостоящие волоконные спектрометры с высоким спектральным разрешением.

Для многих практических применений достаточно измерять изменение показателя преломления окружающей среды с точностью порядка  $10^{-3} \dots 10^{-4}$ . Целями работы, результаты которой представлены настоящей статьей, были разработка и исследование волоконно-оптического датчика показателя преломления окружающей среды, обладающего простотой, экономичностью и в то же время относительно высокой чувствительностью.

**Постановка задачи.** В качестве чувствительного элемента датчика было предложено использовать стеклянное коническое волокно круглого сечения (рис. 1). На рисунке обозначены:  $D$  – диаметр;  $d$  – диаметр выходного торца волокна;  $L_0$  – длина волокна;  $\theta$  – угол конуса.

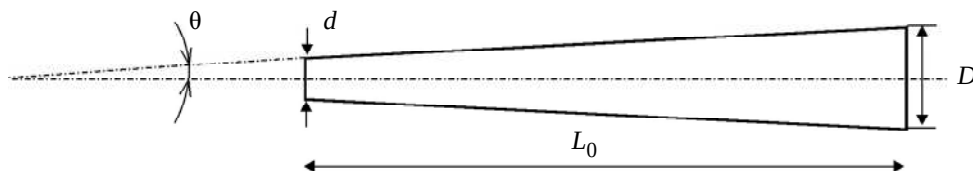


Рис. 1

При распространении волноводной моды по такому волокну от широкого входного торца к узкому выходному торцу происходит постоянное уменьшение угла падения моды на границу раздела сред [7]. На определенном расстоянии от входа угол падения моды становится меньше критического угла полного внутреннего отражения. При этом происходит наруше-

ние полного внутреннего отражения (НПВО) и мода становится вытекающей – электромагнитная волна выходит из волновода в окружающее пространство. В многомодовом режиме распространения каждой моде будет соответствовать своя область НПВО.

Критический угол полного внутреннего отражения  $u_c$  зависит от показателей преломления волокна и окружающей среды и определяется выражением

$$u_c = \arcsin \sqrt{1 - \left( \frac{n_a}{n} \right)^2}, \quad (1)$$

где  $n_a$  – показатель преломления окружающей среды (аналита);  $n$  – показатель преломления волокна. Расстояние  $L$  от входа в волокно до области НПВО можно найти из выражения [7]

$$L = \frac{D [\sin u_c - \sin(u - \theta)]}{2 \operatorname{tg} \theta \sin u_c}, \quad (2)$$

где  $u$  – угол падения луча на границу раздела на входе в волокно. Выражение (2) получено в лучевом приближении и справедливо для меридиональных лучей – лучей, распространяющихся в одной плоскости.

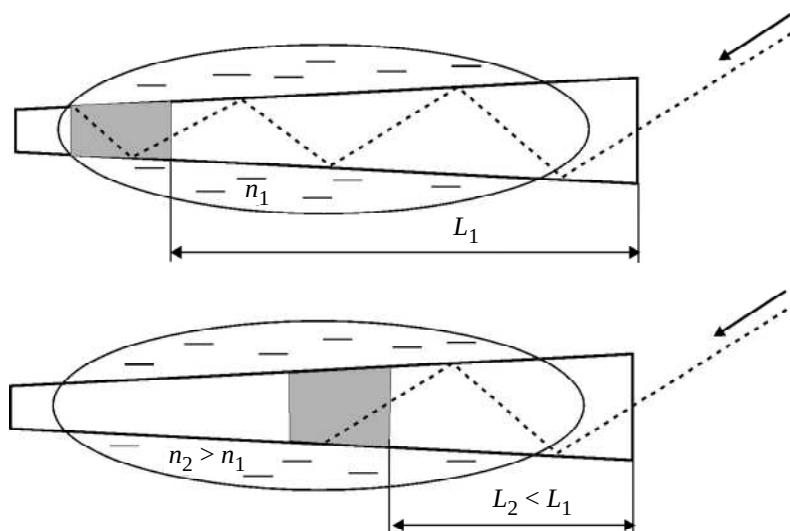


Рис. 2

Из выражений (1) и (2) следует, что при увеличении показателя преломления окружающей среды область НПВО для конкретной моды будет смещаться к входному торцу волокна (рис. 2, где  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления анализируемой среды;  $L_1$  и  $L_2$  – расстояния от входного торца волокна до области нарушения полного внутреннего отражения). Очевидно, что, определяя расстояние  $L$  для конкретной моды, при известных прочих параметрах, можно определять показатель преломления анализируемой среды. В случае многомодового режима НПВО для одной или группы мод будет приводить к уменьшению оптического сигнала на выходе волокна. На основании этого можно предложить два конструктивных решения датчика показателя преломления с коническим волокном. В первом случае поток анализируемой среды протекает внутри прозрачной трубки, в которой находится коническое волокно (рис. 3, а). Вне трубки вдоль волокна расположена линейка фотоприемников, регистрирующих смещение области НПВО.

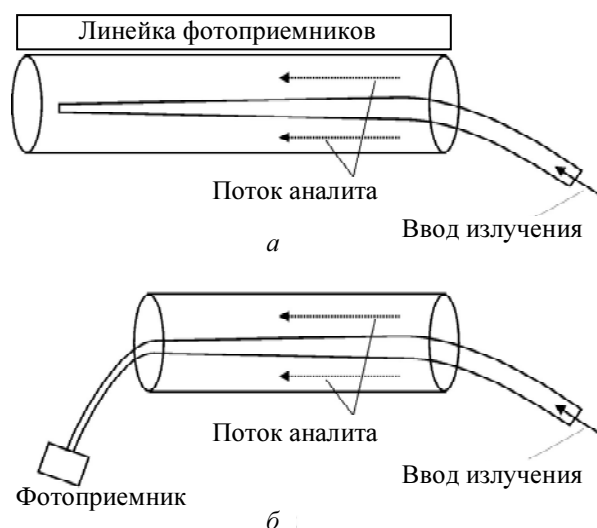


Рис. 3

Расчетные зависимости расстояния между областью НПВО и входом в волокно показаны на рис. 4. Из рисунка видно, что для выбранных параметров волокна наибольшая крутизна характеристики имеет место для  $n_a = 1.3 \dots 1.48$ , т. е. в диапазоне показателей преломления, характерных для большинства жидких сред. Увеличение угла ввода излучения в волокно приводит к уменьшению крутизны, но при этом расширяется диапазон, в котором возможно измерение  $n_a$ .

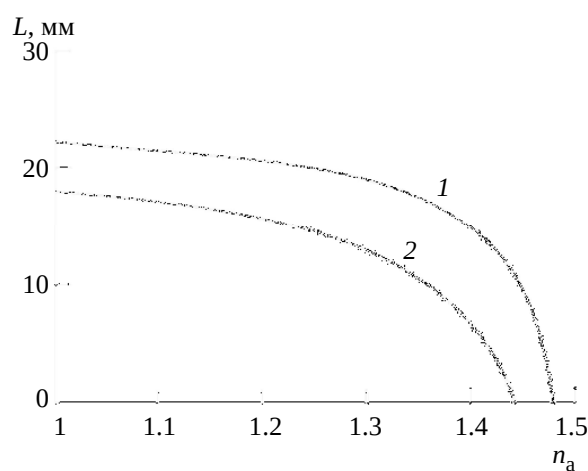


Рис. 4

**Методика экспериментов.** Для проведения экспериментов были изготовлены два образца конических волокон из силикатного стекла К8 ( $n = 1.52$ ). Образцы имели следующие характеристики:

№ 1:  $L_0 = 70$  мм,  $D = 2.655$  мм,  $d = 0.715$  мм,  $\theta = 1^\circ 6.68'$ ;

№ 2:  $L_0 = 50$  мм,  $D = 0.565$  мм,  $d = 0.305$  мм,  $\theta = 12.6'$ .

В качестве аналитов использовались вода ( $n_a = 1.331$ ), растворы глицерина в воде с  $n_a = 1.338$  и  $n_a = 1.446$  и глицерин ( $n_a = 1.473$ ). Показатели преломления аналитов измерялись с помощью рефрактометра Аббе ИРФ-454. Источником излучения являлся полупроводниковый лазер KLM-650-5 ( $\lambda = 652$  нм,  $P = 20$  мВт). Излучение вводилось в волокно под углом  $20^\circ$  к оси

Во втором случае конструкция чувствительного элемента аналогична, регистрация сигнала производится с помощью одного фотоприемника, расположенного на узком торце волокна (рис. 3, б).

**Результаты численного моделирования.** Для оптимизации геометрических параметров чувствительного элемента датчика и оценки его возможной чувствительности было проведено численное моделирование с использованием выражений (1) и (2). Моделирование проводилось в среде MathCad для  $D = 1$  мм,  $\theta = 0.1^\circ$ ,  $u = 1^\circ$  и  $16^\circ$  и  $n = 1.52$ . Показатель преломления аналита варьировался в диапазоне  $n_a = 1 \dots 1.5$ .

По кривой 1 можно оценить достижимую чувствительность датчика в интервале максимальной крутизны зависимости – при  $n_a = 1.4 \dots 1.48$ . Полагая, что точность измерения пространственного положения области НПВО составляет 0.5 мм, чувствительность датчика в области максимальной крутизны его характеристики может составлять  $\Delta n = 2.2 \cdot 10^{-4}$ . Варьируя угол входа излучения в волокно, угол конуса и показатель преломления волокна, можно смещать область максимальной чувствительности на интересующий диапазон показателей преломления аналита.



волокна. Необходимо отметить, что оба образца были многомодовыми волокнами, в которых формируются как меридиональные, так и косые лучи. При измерении смещения области НПВО при изменении показателя преломления анализатора измерялось расстояние от края области НПВО конкретной моды до входного торца волокна. При измерении изменения оптического сигнала в результате изменения показателя преломления фотоприемник помещался вплотную к выходному торцу волокна. В качестве фотоприемного устройства использовался кремниевый pin-фотодиод BPW20RF, включенный в фотодиодном режиме без усилителя.

**Экспериментальные результаты.** На рис. 5 показаны экспериментальные зависимости расстояния между областью НПВО и входом в волокно от показателя преломления анализатора. Из рисунка видно, что для образца № 1 для моды высшего порядка область максимальной чувствительности лежит в интервале  $n_a = 1.338 \dots 1.44$  (кривая 1). Для моды низшего порядка, менее чувствительной к показателю преломления окружающей среды, область максимальной чувствительности лежит в интервале  $n_a = 1.4 \dots 1.5$  (кривая 2). Для образца № 2 для моды высшего порядка область максимальной чувствительности лежит в интервале  $n_a = 1.33 \dots 1.38$  (кривая 3). Оценки максимальной чувствительности по данным эксперимента дают следующие значения:

№ 1, моды высшего порядка:  $\Delta n = 2.2 \cdot 10^{-3}$ ;

№ 1, моды низшего порядка:  $\Delta n = 3 \cdot 10^{-3}$ ;

№ 2, моды высшего порядка:  $\Delta n = 1 \cdot 10^{-3}$ .

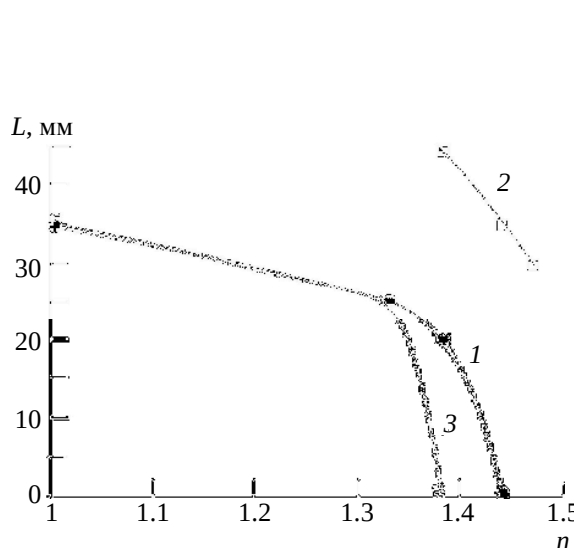


Рис. 5

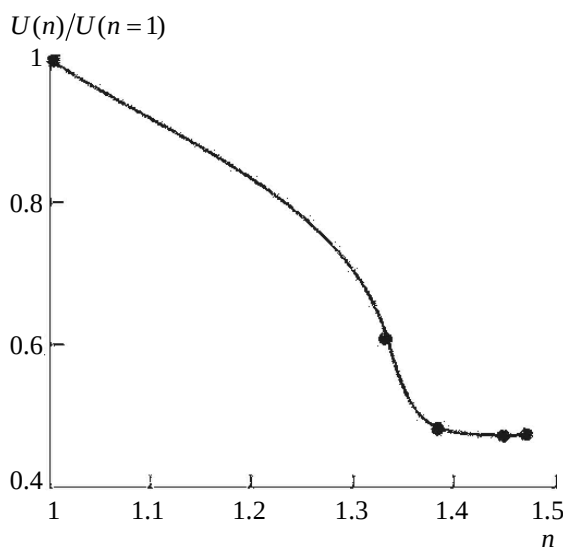


Рис. 6

На рис. 6 показана экспериментальная зависимость относительного сигнала фотоприемника от показателя преломления анализатора для образца № 1. Из рисунка видно, что в диапазоне изменения  $n_a = 1.33 \dots 1.38$  происходит резкое изменение сигнала фотоприемника. Это указывает на то, что в результате НПВО из волокна через боковую поверхность уходит мода или группа мод. Можно ожидать, что при увеличении длины волокна или угла конуса или показателя преломления анализатора на зависимости будут наблюдаться другие скачки, соответствующие выходу из волокна мод низшего порядка. Оценка максимальной чувствительности в диапазоне  $n_a = 1.33 \dots 1.38$  по данным эксперимента дает значение  $\Delta n = 2.2 \cdot 10^{-3}$ . Датчик данного типа можно рассматривать как пороговый. Он может найти применение в аварийных системах контроля случайных выбросов нежелательных примесей.

Представленные результаты показывают, что на основе конического волокна может быть реализован датчик показателя преломления окружающей среды с чувствительностью  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  в диапазоне  $n_a = 1.3 \dots 1.5$ . Принцип действия датчика основан на смещении по волокну области НПВО волноводных мод при изменении показателя преломления окружающей среды. Оптимизация геометрических характеристик волокна и его показателя преломления позволяет выбирать диапазон показателей преломления аналита, в котором обеспечивается максимальная чувствительность. Достоинствами датчика являются простота его конструкции и методик измерения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rao Y.-J. // Measur. Sci. Techn. 1997. Vol. 8. P. 355.
2. A. Cusano, A. Iadicco, P. Pilla et al. // J. of Lightwave Technol. 2006. Vol. 24. P. 1776.
3. Zijstra P., van der Molen K. L., Mosk A. P. // Appl. Phys. Lett. 2007. Vol. 90. P. 161101.
4. Chao C.-Y., Guo L. J. // J. of Lightwave Technol. 2006. Vol. 24. P. 1395.
5. XU F., Brambilla G. // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 92. P. 101126.
6. Murphy R. P., James S. W., Tatam R. P. // J. of Lightwave Technol. 2007. Vol. 25. P. 825.
7. Вейнберг В. Б., Сатаров Д. К. Оптика световодов. Л.: Машиностроение, 1977.

D. S. Agafonova, I. A. Remizov, A. I. Sidorov

#### FIBER-OPTICAL SENSOR OF REFRACTION INDEX ON BASE OF CONICAL FIBER

*The results of investigation of waveguide modes spread in the conical fiber in the conditions of refraction index change are presented. It is shown, that the strong dependence of spatial position of the region of the radiation output during the frustration of total internal reflection can be used for the development of refraction index sensors.*

**Fiber-optical sensor, conical fiber, refraction index**

УДК 621.315.592

**К. Г. Гареев, И. Е. Грачева,  
В. И. Альмяшев, В. А. Мошников**

## ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОРОШКОВ-КСЕРОГЕЛЕЙ С НАНОФАЗОЙ ГЕМАТИТА

*Наноструктурированные материалы на основе оксида железа (III) и диоксида кремния были получены золь-гель-методом. Исследования свойств порошков ксерогеля проведены методами рентгеновского фазового анализа и тепловой десорбции. Проведена оценка влияния технологических режимов золь-гель-синтеза на структуру наноматериалов.*

**Оксид железа (III), диоксид кремния, золь-гель-технология, нанокomпозиты, рентгеновский фазовый анализ, тепловая десорбция**

Материаловедение нанокomпозитов развивается бурными темпами. Наночастицы магнитных металлооксидов уже применяют в фармакологии при комплексной терапии трудноизлечимых заболеваний, а также в системах записи и хранения информации и при создании высокоэффективных катализаторов. При этом существует проблема стабилизации нанодисперсной фазы из-за неустойчивости столь малых частиц и их склонности к агломерации. Одним из путей решения является создание композитных материалов на основе аморфной матрицы, например из кремнезема.

Внедренные в такую матрицу наночастицы оксидов переходных металлов, в том числе железа, могут обладать повышенным магнитным моментом и коэрцитивной силой. Сдвиг петли гистерезиса, а также другие интересные магнитооптические свойства делают нанокompозиты перспективными для использования в качестве материалов оптических переключателей, затворов, волноводов и устройств магнитной записи высокой плотности [1]. В работах [2], [3] показана возможность применения композитных наноматериалов, содержащих оксид железа, в качестве чувствительных слоев газовых металлооксидных сенсоров.

Свойства нанокompозитов существенно зависят от технологических условий получения и режимов термообработки. В работе [4] показана зависимость оптических свойств от условий получения, в частности от значения температуры отжига, а в [5] описаны структурные изменения при варьировании режима термообработки композитов системы  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ .

В работе исследовались наноструктурированные материалы на основе системы оксид железа (III) – диоксид кремния, полученные золь-гель-методом [6], [7], находящим все большее применение в качестве одного из основных методов синтеза наноразмерных систем. Среди новых материалов широкое распространение получают золь-гель-нанокompозиты [8], [9], обладающие способностью к эксплуатации в условиях высоких температур и агрессивных сред без значительной деградации механических свойств во времени и большими потенциальными возможностями для создания материаловедческой базы новых научно-технических направлений: водородной энергетики, фотоники и нанофотоники, микро- и наносистемной техники, наноэлектроники, включая электронику на гетероструктурных нанонитях, металлическую наноэлектронику, углеродную наноэлектронику, нанопьезотронику.

Растворы-золи получали на основе неорганических полимеров – полимеров с неорганической главной цепью макромолекулы, боковые (обрамляющие) группы которой также неорганические. Исходные компоненты, использованные для приготовления растворов-золей, представляли собой легкогидролизующиеся соединения, которые в результате взаимодействия с водой образуют полимолекулы или полисольватированные группы. Для получения порошков-ксерогелей на основе диоксида кремния был выбран представитель алкоксисоединений – этиловый эфир ортокремневой кислоты ( $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ) или сокращенно тетраэтоксисилан (ТЭОС). Возможно проведение реакций гидролиза и поликонденсации ТЭОС в присутствии источников металлооксидов в виде солей, что существенно расширяет возможности метода получения многокомпонентных оксидных материалов на основе диоксида кремния. В работе в качестве источника оксида железа была выбрана неорганическая соль железа (железо треххлористое 6-водное). В среде этилового спирта получали гомогенные, без расслоений, золи (спирт играл роль растворителя). Исследования свойств нанокompозитов на основе оксида железа (III) и диоксида кремния проведены на порошках ксерогелей, полученных из исходных растворов. Перевод раствора-золя в гелеобразное состояние осуществлялся водным раствором аммиака. Полученный влажный гель подвергали предварительной сушке при комнатной температуре в течение нескольких суток, при 100 °C в течение одного часа, а затем выдерживали в изотермическом режиме в температурном диапазоне 200...700 °C через каждые 100 °C. Длительность термообработки составляла от 5 до 120 мин. Исследования порошков ксерогеля проводились методом рентгеновского фазового анализа (РФА). В качестве аналитического оборудования применялся рентгеновский настольный

дифрактометр «ДРН Фард». Источником рентгеновского излучения выступала трубка с хромовым анодом (Cr-K $\alpha$ ), справочные значения интенсивностей и положения рефлексов были выбраны из базы данных порошковых дифрактограмм ICDD.

Результаты исследований порошков ксерогеля с помощью рентгеновского фазового анализа свидетельствуют, что после их температурной обработки выше 400 °С происходит формирование нанофазы гематита ( $\alpha$ -Fe $_2$ O $_3$ ) при отсутствии каких-либо рефлексов, относящихся к SiO $_2$ , который находился в рентгеноаморфном состоянии. На рис. 1 приведена типичная экспериментальная дифрактограмма для ксерогеля с составом 30 SiO $_2$ –70 Fe $_2$ O $_3$  (состав систем выражен в мол. %) после термической обработки при 500 °С, на которую наложены рефлексы от порошка поликристаллического гематита.

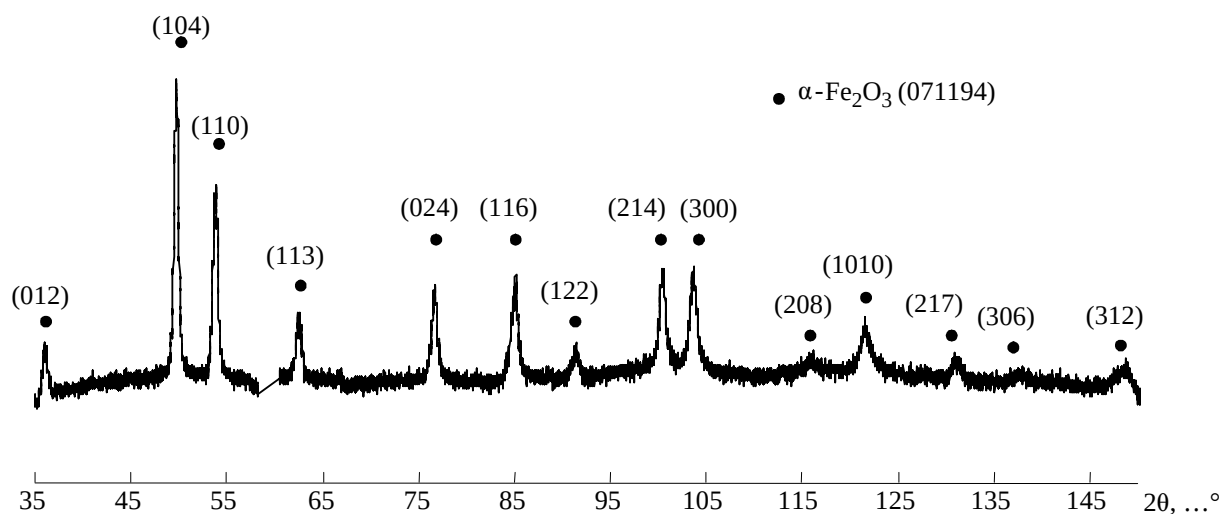


Рис. 1

Выявлено, что с увеличением мольной доли оксида железа в нанокompозите (рассматривались составы нанокompозитов 10 SiO $_2$ –90 Fe $_2$ O $_3$ , 30 SiO $_2$ –70 Fe $_2$ O $_3$ , 50 SiO $_2$ –50 Fe $_2$ O $_3$ , 70 SiO $_2$ –30 Fe $_2$ O $_3$  [мол. %] относительно рефлексов гематита происходит увеличение интенсивности широкого размытого гало на дифрактограммах, отвечающего наличию рентгеноаморфной фазы диоксида кремния (рис. 2). Необходимо отметить, что для всех составов нанокompозитов было зафиксировано присутствие рефлексов фазы кристаллического гематита.

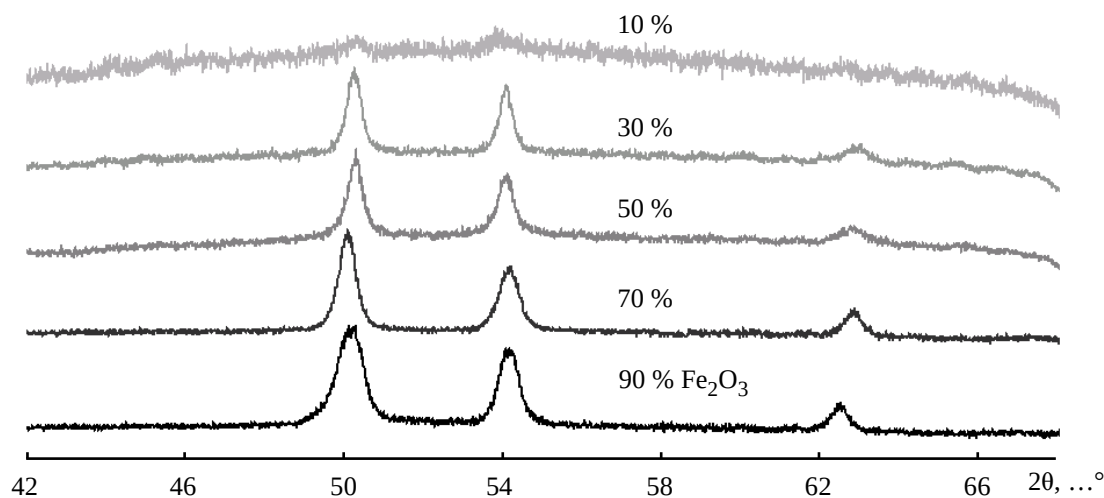


Рис. 2

С ростом температуры отжига ксерогеля происходит увеличение интенсивности рефлексов фазы гематита и их сужение, даже в области малых углов, что свидетельствует об увеличении размеров кристаллитов оксида железа (III) от 30 до 100 нм при варьировании условий отжига от 300 до 600 °С (рис. 3).

Размер кристаллитов оценивался по размеру областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения, оценка которых производилась по формуле Шеррера:

$$D = \frac{0.97\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где  $D$  – размер зерна, Å;  $\lambda$  – длина волны ( $\lambda_{\text{Cr-K}\alpha} = 2.291$  Å);  $\beta$  – ширина, обусловленная дисперсностью;  $\theta$  – брэгговский угол. Оценка ширины, обусловленной дисперсностью, проводилась с учетом инструментального уширения, определенного из эталонной рентгенограммы гематита, по следующей формуле:  $\beta = 0.5(B - b + \sqrt{B(B - b)})$ , учитывающей особенности формы дифракционных пиков. Здесь  $B$  – полная ширина пика;  $b$  – ширина линии эталона.

Площадь развитой поверхности нанокompозитов анализировалась на аналитическом приборе серии «СОРБИ» (модификация «СОРБИ N.4.1», ЗАО «МЕТА», Новосибирск), предназначенном для измерения удельной поверхности дисперсных и пористых материалов методом тепловой десорбции. В качестве детектора использовался датчик по теплопроводности, выходным сигналом которого являлся десорбционный пик, площадь которого прямо пропорциональна объему десорбированного газа (рис. 4).

Значения удельной поверхности пористых нанокompозитов на основе диоксида кремния и оксида железа рассчитывались с помощью уравнения Брунауэра – Эммета –

Теллера [10]:  $\frac{p/p_0}{V(1 - p/p_0)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C - 1)p/p_0}{V_m C}$ , где  $V$  – объем адсорбированного газа на

грамм образца;  $V_m$  – удельная емкость монослоя – количество газа-адсорбата [см<sup>3</sup>] (приведенных к нормальной температуре  $\theta^0 = 0$  °С и барометрическому давлению  $p = 760$  мм рт. ст.) на грамм образца, которое поглотилось бы образцом при монослойном покрытии всей поверхности молекулами газа-адсорбата;  $C$  – безразмерная энергетическая константа, зависящая от теплоты адсорбции и температуры (для адсорбции азота при 77 К на многих адсорбатах  $C$  близка к 100). Для определения удельной емкости монослоя, которая использовалась для расчета удельной поверхности, измерялось количество адсорбированного газа при нескольких значениях относительного парциального давления  $p/p_0$  в диапазоне от 0.05 до 0.3. На основании полученных данных строились графики зависимостей параметра  $\frac{p/p_0}{V(1 - p/p_0)}$  от относительного парциального давления  $p/p_0$  (рис. 5). Графики для ис-

следуемых образцов на основе оксида железа (III) и диоксида кремния представляли собой прямые линии, которые не выходили из начала координат. Из величины тангенса угла наклона прямой  $M$  [г/см<sup>3</sup>] и отрезка  $B$  [г/см<sup>3</sup>], отсекаемого ею на оси ординат (рис. 5),

рассчитывалось значение  $V_m$  по уравнению  $V_m = \frac{1}{B + M}$ . Величины удельных поверхно-

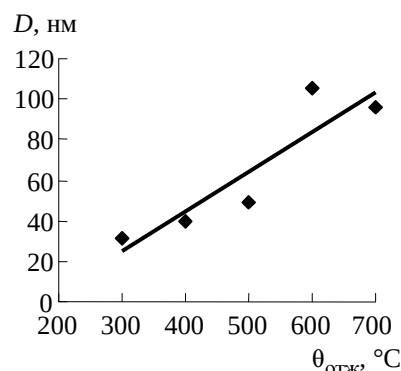


Рис. 3

стей исследуемых образцов  $S_{уд} [м^2/г]$  определяли по формуле  $S_{уд} = S_0 V_m$ , где  $S_0 = 4.35 м^2/см^3$  – площадь, которую занимает 1  $см^3$  азота (газа-адсорбата), адсорбированный мономолекулярным слоем.

На рис. 4 приведены типичные кривые десорбции для порошка ксерогеля с нанофазой гематита при четырех относительных парциальных давлениях газа-адсорбата азота 0.06, 0.09, 0.15 и 0.20 (типичные временные зависимости сигнала датчика по теплопроводности (ДТП) при температуре десорбции азота), а на рис. 5 – типичные графики зависимостей  $\frac{p/p_0}{V(1-p/p_0)} = f(p/p_0)$ , кривые десорбции для которых представлены на рис. 4.

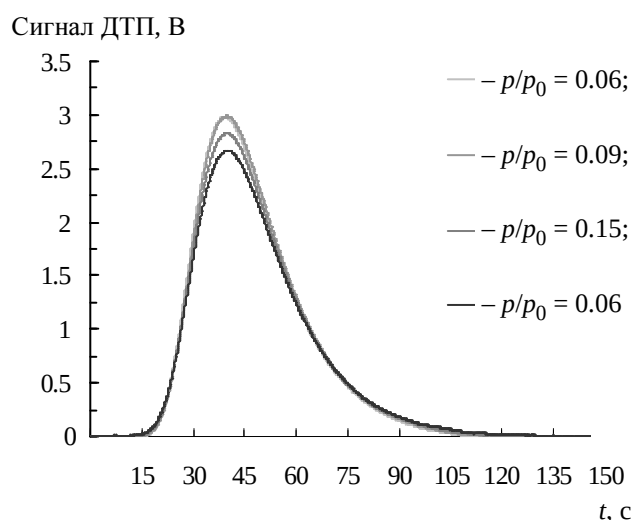


Рис. 4

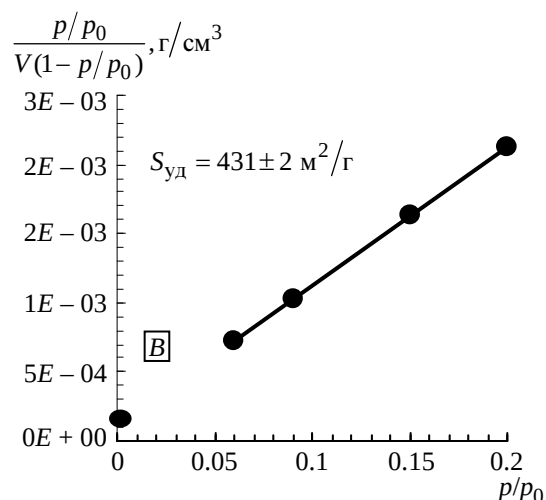


Рис. 5

Следует отметить, что градуировку прибора «СОРБИ» производили с использованием стандартных образцов ( $Al_2O_3$ ), предоставленных фирмой «МЕТА», с известной удельной поверхностью  $67 м^2/г$ . По результатам исследований обнаружено, что существует оптимальный температурный диапазон отжига нанокмполитов  $\alpha-Fe_2O_3 - SiO_2$  от 400 до 500  $^{\circ}C$  (рис. 6), ниже и выше которого наблюдается уменьшение удельной площади поверхности образцов. Установлено, что увеличение длительности температурного отжига наноструктур выше 40 мин приводит к уменьшению удельной площади поверхности (рис. 7).

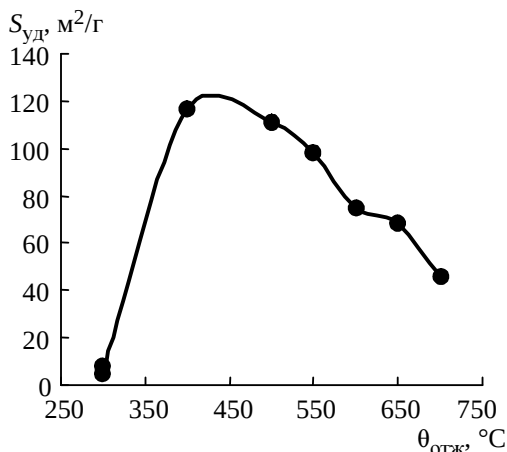


Рис. 6

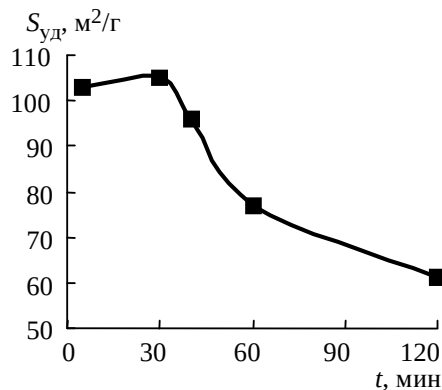


Рис. 7

Результаты исследований удельной площади нанокompозитов с различным содержанием гематита свидетельствуют о наиболее развитой поверхности в области составов с 20 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 8). По мере увеличения доли гематита в нанокompозите происходит рост  $S_{\text{уд}}$ , который можно объяснить формированием существенно большего числа отдельных кристаллитов гематита, которые выделяются из матрицы кремнезема. При дальнейшем повышении содержания оксида железа (III) размеры кристаллитов растут, что ведет к уменьшению удельной площади поверхности, однако при составах вблизи 50 мол. % на зависимости наблюдается провал на фоне общего тренда уменьшения  $S_{\text{уд}}$ . Поскольку данный состав отвечает соединению  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  (фаялит), вероятной причиной этого явления может быть появление предзародышей фаялита, что приводит к уплотнению структуры композита.

Нужно отметить, что при развитии золь-гель-процессов с использованием изопропанола вместо этанола в качестве растворителя неорганической соли железа, удельная площадь поверхности нанокompозитов на основе гематита уменьшалась (рис. 8).

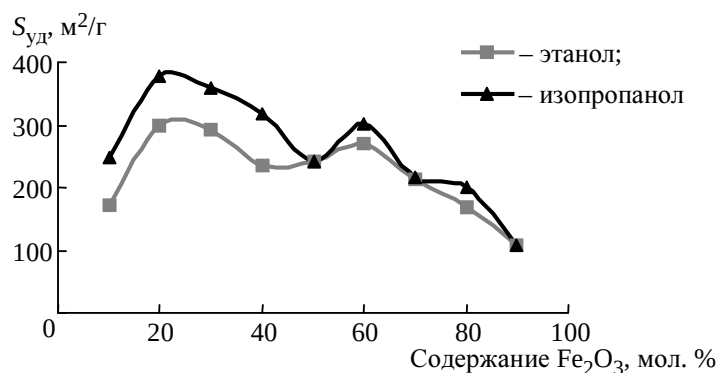


Рис. 8

Таким образом, исследование порошков ксерогеля нанокompозитов на основе оксида железа и диоксида кремния методом рентгеновского фазового анализа и 4-точечным методом Брунауэра – Эммета – Теллера по тепловой десорбции азота позволило установить оптимальные условия золь-гель-синтеза для получения наиболее развитой поверхности порошков ксерогеля с включением нанofазы гематита. Установлено, что при температурной обработке порошков ксерогеля выше  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит формирование нанofазы гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Выявлено, что максимальная удельная площадь поверхности достигается при составе нанокompозитов 20  $\text{SiO}_2$ –80  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [мол. %], прошедших обработку в диапазоне температур от  $400$  до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Работа проводилась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы при выполнении государственных контрактов П1249 от 07.06.2010, П399 от 30.07.2009.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нанокompозиты «диоксид кремния – оксид железа», формируемые золь-гель методом / А. А. Бойко, Е. Н. Подденежный, О. А. Стоцкая и др. // Сб. докл. ФТТ-2005 ИФТТиП НАН Беларуси. Минск: Изд. центр БГУ, 2005. С. 361–363.
2. Обвинцева Л. А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. 2008. Т. LII, № 2. С. 113–121.
3.  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  films grown by the spin-on sol-gel deposition method / A. Avila-Garcia, G. Carbajal-Franco, A. Tiburcio-Silver et al. // Revista Mexicana de Fisica. 2003. Vol. 49 (3). P. 219–223.

4. Оптические свойства наночастиц  $\gamma$ -оксида железа в матрице мезопористого оксида кремния / М. В. Харламова, Н. А. Саполетова, А. А. Елисеев, А. В. Лукашин // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. С. 36–43.
5. Determination of phases of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SiO<sub>2</sub> compound by Rietveld refinement / S. A. Palomares Sanchez, S. Ponce-Castaneda, J. R. Martinez, Facundo Ruiz // Revista Mexicana de Fisica. 2002. Vol. 48 (5). P. 438–442.
6. Brinker C. J., Scherer G. W. Sol-Gel Science. The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. San Diego: Academic Press, 1990.
7. Основы золь-гель-технологии нанокompозитов / А. И. Максимов, В. А. Мошников, Ю. М. Таиров, О. А. Шилова. 2-е изд. СПб.: ООО «Техномедиа». Элмор, 2008.
8. Грачева И. Е., Максимов А. И., Мошников В. А. Анализ особенностей строения фрактальных нанокompозитов на основе диоксида олова методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновского фазового анализа // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. Вып. 10. С. 16–23.
9. Hierarchical nanostructured semiconductor porous materials for gas sensors / V. A. Moshnikov, I. E. Gracheva, V. V. Kuznezov et al. // J. of Non-Crystalline Solids. 2010. Vol. 356. P. 2020–2025.
10. Карнаухова А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999.

K. G. Gareev, I. E. Gracheva, V. I. Almjashhev, V. A. Moshnikov

#### SYNTHESIS AND ANALYSIS OF XEROGEL POWDERS CONTAINING HEMATITE NANOPHASE

*Nanostructured composites based on iron(III) oxide and silica were prepared by the sol-gel method. Investigations of xerogel powders properties were conducted by X-ray diffraction and thermal desorption methods. Influence of technological conditions of sol-gel synthesis on the structure of nanomaterials was estimated.*

**Iron(III) oxide, silica, sol-gel technology, nanocompounds, XRD phase analysis, thermal desorption**





УДК 519.713; 530.145; 681.3

И. В. Матвеева, В. А. Калмычков

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ЦЕПЕЙ НА ВИРТУАЛЬНОМ КЛЕТОЧНОМ АВТОМАТЕ

*Рассмотрен пример построения набора квантовых булевых цепей, синтезированных на основе поляризованных полиномов Риды–Маллера (FPRM). Для проведения виртуального эксперимента предложен обратимый клеточный автомат с настраиваемой окрестностью.*

Кубит, квантовая цепь, полиномы Риды–Маллера, клеточный автомат

При проектировании [1] обратимых и квантовых цепей активно используется класс квантовых цепей (квантовые булевы цепи) с логикой на базе AND/EXOR, которая при использовании полиномиальных нормальных форм позволяет получить представление булевых функций меньшей сложности и упростить верификацию синтезированных цепей. Примерный маршрут проектирования квантовых булевых цепей представлен на рис. 1.



Рис. 1

FPRM-представление [2] булевых функций ( $n$  входов и 1 выход) – это «сложение по модулю 2» EXOR от AND минитермов, в которых каждая булева переменная либо в прямой, либо в инверсной форме, но не в обеих. Например, набор всех булевых функций трех переменных ( $x_k$  и  $b_i \in \{0, 1\}$ ,  $0 \leq k < n$ ,  $0 \leq i \leq 2^n - 1$ ,  $n = 3$  и коэффициенты  $b_i$  определяют, представлен ли минитерм в выражении или нет) может быть представлен так:  $f(x_0, x_1, x_2) = b_0 \oplus b_1 x_0 \oplus b_2 x_1 \oplus b_3 x_1 x_0 \oplus b_4 x_2 \oplus b_5 x_2 x_0 \oplus b_6 x_2 x_1 \oplus b_7 x_2 x_1 x_0$ .

В статье рассматривается этап синтеза, на котором по заданной таблице истинности для  $n$  булевых переменных строится поляризованный полином Риды–Маллера (нулевой поляриности) и формируется набор поляризованных полиномов FPRM фиксированной поляриности (от 1 до  $2^n - 1$ ). На основе полученных полиномов в нотации Риды–Маллера генерируются наборы квантовых булевых схем в нотации квантовых преобразователей. Программная реализация графического представления библиотеки базовых квантовых преобразователей приведена на рис. 2: NOT (рис. 2, а), CNOT (рис. 2, б) и C<sup>2</sup>NOT – Тоффולי (рис. 2, в). Символ  $\oplus$  в нотации обозначает операцию EXOR, а символ  $\bullet$  – управляющий кубит.



Рассмотрим пример построения набора квантовых цепей для булевой квантовой функции по заданной таблице истинности (табл. 1).

| № | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $f(x_0, x_1, x_2)$ | Полиномы FPRM всех полярностей                                                                        | Квантовая цепь |
|---|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 0                  | $f(x_0, x_1, x_2) = x_0 x_1 \oplus x_0 x_2 \oplus x_0 \oplus x_1$                                     | Рис. 3, а      |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 0                  | $f(x_0, x_1, x_2) = x_0 x_1 \oplus x_0 \bar{x}_2 \oplus x_1$                                          | Рис. 3, б      |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 1                  | $f(x_0, x_1, x_2) = x_0 \bar{x}_1 \oplus x_0 x_2 \oplus \bar{x}_1 \oplus 1$                           | Рис. 3, в      |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 1                  | $f(x_0, x_1, x_2) = x_0 \bar{x}_1 \oplus x_0 \bar{x}_2 \oplus x_0 \oplus \bar{x}_1 \oplus 1$          | Рис. 3, г      |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 1                  | $f(x_0, x_1, x_2) = \bar{x}_0 x_1 \oplus \bar{x}_0 x_2 \oplus x_2 \oplus \bar{x}_0 \oplus 1$          | Рис. 3, д      |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0                  | $f(x_0, x_1, x_2) = \bar{x}_0 x_1 \oplus \bar{x}_0 \bar{x}_2 \oplus \bar{x}_2$                        | Рис. 3, е      |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 1                  | $f(x_0, x_1, x_2) = \bar{x}_0 \bar{x}_1 \oplus \bar{x}_0 x_2 \oplus x_2 \oplus 1$                     | Рис. 3, ж      |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 0                  | $f(x_0, x_1, x_2) = \bar{x}_0 \bar{x}_1 \oplus \bar{x}_0 \bar{x}_2 \oplus \bar{x}_2 \oplus \bar{x}_0$ | Рис. 3, з      |

34

томатически генерируется набор эквивалентных квантовых цепей, которые имеют разный состав (качественный и количественный) преобразователей. Задача синтеза и оптимизации квантовой цепи может быть сведена к традиционным логическим решениям на основе полиномов FPRM различной полярности.

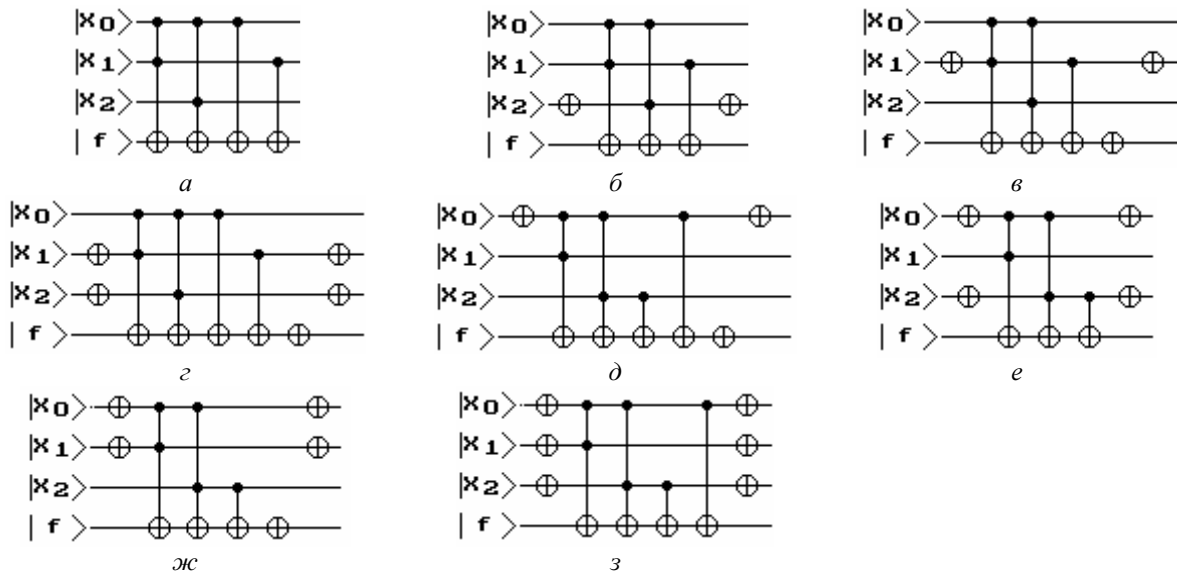


Рис. 3

Для лексической верификации рассмотрим обобщенное представление выполненных квантовых преобразований согласно представлению логической функции полиномом Рида–Маллера полярности 0 ( $f(x_0, x_1, x_2) = x_0x_1 \oplus x_0x_2 \oplus x_0 \oplus x_1$ ) на основе символической нотации для коэффициентов используемых кубитов:

Представлена перестановка лексических слов [3], образованных коэффициентами соответствующих кубитов, после выполнения квантовых преобразований. Для проверки правильности соответствия перестановок сверимся с таблицей истинности. Так для строки № 6 (при начальном состоянии кубита значения функции  $f$ ):

1) на входе образуется состояние  $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$  с соотнесением слову  $|f\rangle \otimes |x_2\rangle \otimes |x_1\rangle \otimes |x_0\rangle$

$Vadg$  (порядковый номер 3) значения 1 и значения 0 всем остальным словам;

2) в результате квантовых преобразований слово  $Vadg$  оказывается для состояния

$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$  с порядковым номером  $|f\rangle \otimes |x_2\rangle \otimes |x_1\rangle \otimes |x_0\rangle$

11 – обращенное 1101 в 6-й строке!

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} V \\ Z \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} e \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Vace \\ Vacg \\ Vade \\ Vadg \\ Vbce \\ Vbcg \\ Vbde \\ Vbdg \\ Zace \\ Zacg \\ Zade \\ Zadg \\ Zbce \\ Zbcg \\ Zbde \\ Zbdg \end{bmatrix} \xRightarrow{f} \begin{bmatrix} Vace \\ Zacg \\ Zade \\ Zadg \\ Vbce \\ Vbcg \\ Zbde \\ Vbdg \\ Zace \\ Vacg \\ Vade \\ Vadg \\ Zbce \\ Zbcg \\ Vbde \\ Zbdg \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Для физической реализации возможна дальнейшая оптимизация набора схем [4], например с точки зрения близкого соседства, в зависимости от технологии реализации. Синтез квантовых логических цепей основан на библиотеке, состоящей из NOT-, CNOT-,  $C^2$ NOT- и SWAP-преобразователей. Использование SWAP-преобразователей обусловлено требованием смежности входов квантовых преобразователей в схемах близкого соседства.

Результаты первичного анализа цепей автоматически передаются в Excel (табл. 2).

Таблица 2

| Polarity | NOT-<br>x | 3 Control<br>qubit | 2 Control<br>qubit | 1 Control<br>qubit | NOT-<br>f | Gates | SWAPs | Gates<br>+ SWAPs | Qcost |
|----------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|-------|-------|------------------|-------|
| 0        | 0         | 0                  | 2                  | 2                  | 0         | 4     | 12    | 16               | 120   |
| 1        | 2         | 0                  | 2                  | 1                  | 0         | 5     | 8     | 13               | 97    |
| 2        | 2         | 0                  | 2                  | 1                  | 1         | 6     | 8     | 14               | 98    |
| 3        | 4         | 0                  | 2                  | 2                  | 1         | 9     | 12    | 21               | 125   |
| 4        | 2         | 0                  | 2                  | 2                  | 1         | 7     | 10    | 17               | 113   |
| 5        | 4         | 0                  | 2                  | 1                  | 0         | 7     | 6     | 13               | 89    |
| 6        | 4         | 0                  | 2                  | 1                  | 1         | 8     | 6     | 14               | 90    |
| 7        | 6         | 0                  | 2                  | 2                  | 0         | 10    | 10    | 20               | 116   |
| Minimum: | –         | –                  | –                  | –                  | –         | 4     | 6     | 13               | 89    |

В табл. 2 сформированы (без оптимизации) столбцы: «Polarity» – номер полярности; «NOT-x» – количество преобразователей NOT для обрабатываемых кубитов  $|x_0\rangle \dots |x_{n-1}\rangle$ , где  $n$  – число управляющих кубитов; столбцы  $k$ -control\_qubit (число  $k \in \{1, n\}$ ) – количество  $C^k$ NOT; «NOT-f» – количество NOT, воздействующих на функциональный кубит  $|f\rangle$ ; «Gates» – количество преобразователей в цепи; «SWAPs» – количество преобразователей SWAP, необходимых для приведения преобразования цепи с точки зрения близкого соседства без учета возможной оптимизации; «Gates + SWAPs» – количество преобразователей в цепи с учетом SWAP, «Qcost» – квантовая стоимость цепи. За единицу квантовой стоимости принят однокубитовый преобразователь, в примере – NOT. Стоимость двухкубитового преобразователя зависит от технологии его реализации и определяется на основе стандартного разложения на однокубитовые преобразователи со значением 5. Аналогично для преобразователей большей мерности.

Простая предварительная оптимизация с точки зрения близкого соседства рассмотрена на примере цепи нулевой полярности (рис. 4). В этом случае применено 12 преобразователей SWAP, обозначенных перекрещивающимися линиями кубитов. Видно, что оптимизация цепи может быть улучшена, например, исключением расположенных подряд преобразователей SWAP, что уменьшает общее количество преобразователей цепи на 2 и, как следствие, общую квантовую стоимость цепи.

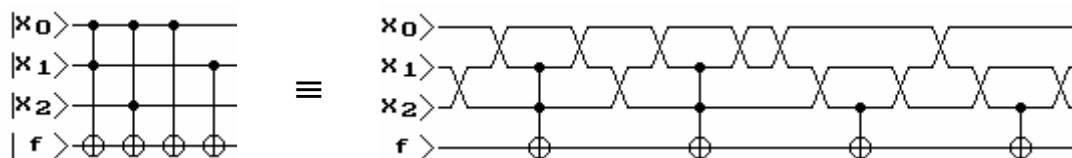


Рис. 4

В примере оптимальными с точки зрения разных критериев оказались цепи с различными полярностями. По числу преобразователей оптимальна цепь Polarity 0. По числу преобразователей с учетом близкого соседства – цепь Polarity 1. По квантовой стоимости – цепь Polarity 6. Дальнейший выбор цепи будет зависеть от того, в какой технологии предполагается ее реализация, а также от типа используемой оптимизации.

Виртуальный эксперимент для построения полученных наборов был проведен на разработанном авторами обратимом клеточном автомате на основе кластерного подхода (ОККА). Базируясь на классической схеме фон Неймана (рис. 5, а) по заданию соседства взаимодействующих клеток [5], введен набор из 16 виртуальных клеток, рассматриваемых в виде кластера, размещаемого в структуре ОККА. Виртуальные клетки (рис. 5, б) обеспечивают задание комбинаций потенциального взаимодействия с соседними клетками – пассивное восприятие окружения (степень взаимодействия 0), реакции на активность со стороны одного, двух или трех соседей (степени 1, 2 и 3 соответственно), полный учет активности всех соседей (степень 4). Необходимость учета активности соседней клетки обозначена трапецией. Отсутствие активности клетки обозначается символом «\*».

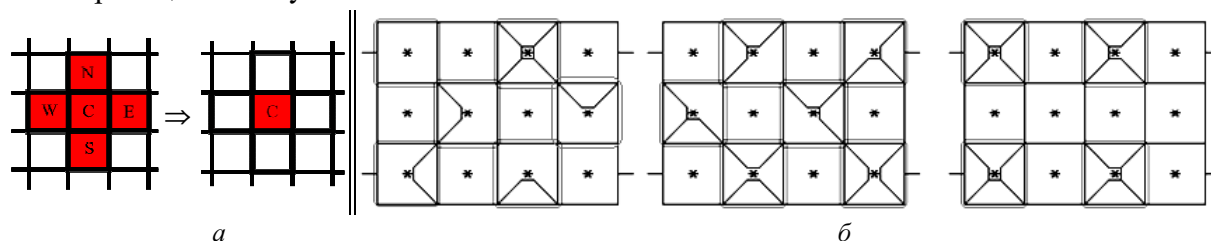


Рис. 5

Для моделирования поведения клеток кластеров введена обобщенная модель клетки с виртуальными функциями, каждая из которых при едином алгоритме параметрически настраивается на вариант клетки для ее обслуживания приданными ей методами:

```
class Kletka
{char Zn,Act,OldZn,OldAct;
public: Kletka() {Zn='*'; Act=0;}
virtual ~Kletka() {}
void SetZn(char s) {Zn=s;}
char GetZn() {return Zn;}
void SetAct(char s) {Act=s;}
char GetAct() {return Act;}
virtual void risKletka(unsigned x,unsigned y);
virtual char Zaproso() {return 0;}
void saveOld() {OldZn=Zn; OldAct=Act;}
char GetOld() {return OldZn;}};
```

```
class Kletka9: public Kletka
{public:
Kletka9(char s): Kletka() {}
~Kletka9() {}
virtual
void risKletka(unsigned x,unsigned y)
{Kletka::risKletka(x,y); risZona(9,x,y);
if(GetAct()) risFaza(9,x,y); }
virtual char Zaproso() {return 9;}};
```

Основные правила поведения клеточной кластерной среды: 1) клетка активна при наличии хотя бы одной активной соседней клетки; 2) активная клетка получает логическое значение соседней клетки при степени взаимодействия 1, иначе устанавливается логическое значение 0; 3) после передачи активности клетка становится неактивной; 4) смена состояний клеток происходит одновременно с образованием волнового фронта; 5) направленность входов и выходов (указываются стрелками) для ОККА может быть изменена, при этом возможна замена отдельных виртуальных клеток на их дополнение (обмен входов-выходов), что характерно для обратимых ОККА.

На рис. 6 представлены примеры архитектурных решений по формированию ОККА для основных логических преобразователей, в частности CNOT (в модификациях для прямого (а) и обратного (б) траекторного прохождения при верхнем управлении и прямого для нижнего (в) управления) и And (з), а также варианты ОККА для задержки (д).

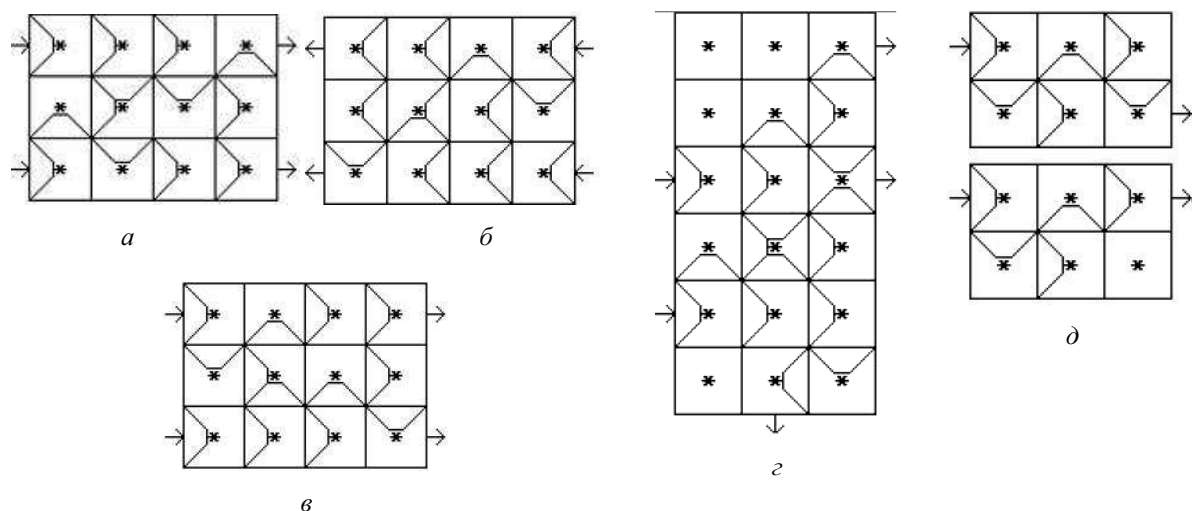


Рис. 6

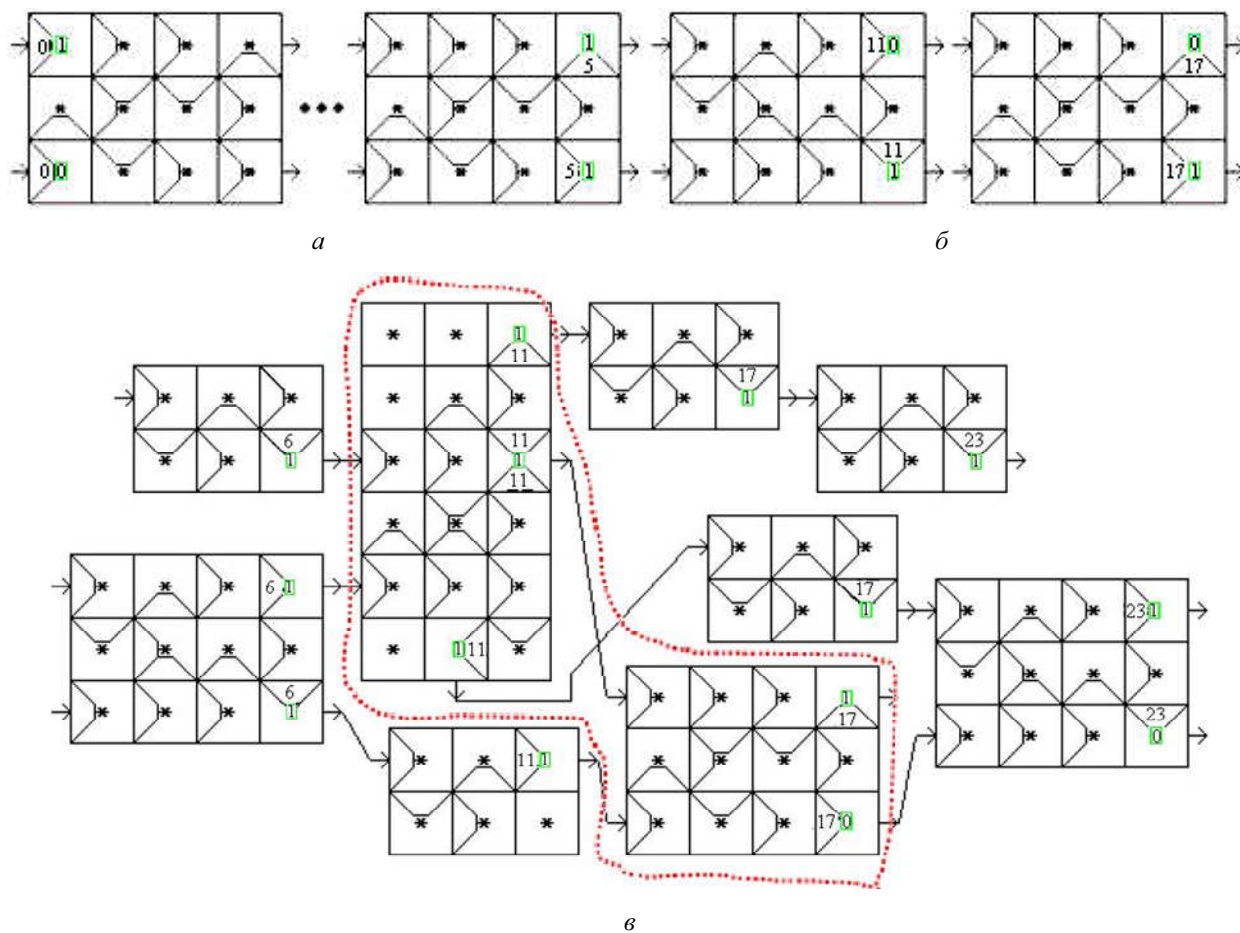


Рис. 7

На рис. 7 приведены примеры архитектурного построения композиционных ОККА для преобразователей SWAP [6] из трех кластеров CNOT (начальное состояние – рис. 7, а, заключительное состояние – рис. 7, б) и Фредкина [6] с начальным входным словом 101 (рис. 7, в), построенных на основе преобразователя Тоффоли (пунктир), с зафиксированными промежуточными состояниями кластеров для каждого.

Фрагмент программного описания для кластера CNOT и обратного для него:

```

class CNot
{protected: Kletka* FieldCNot[3][4]; unsigned x,y;
public: CNot() {}
CNot(unsigned x1,unsigned y1)
{x=x1; y=y1; FieldCNot[0][0]=new Kletka1(1);
FieldCNot[1][0]=new Kletka8(8); ...
FieldCNot[1][1]=new Kletka3(3);
FieldCNot[2][1]=new Kletka2(2); ... }
virtual ~CNot();
void Init(char c1,char c2,char Z,char A)
{FieldCNot[c1][c2]->SetZn(Z);
FieldCNot[c1][c2]->SetAct(A); }
void risCNot(); void saveOld(); char Step();
char GetZn(char str,char slb)
{return FieldCNot[str][slb]->GetZn();} };

```

```

class RevCNot: public CNot
{public:
RevCNot(unsigned x1,unsigned y1)
{x=x1; y=y1;
FieldCNot[0][0]=new Kletka1(1);
FieldCNot[1][0]=new Kletka2(2); ...
FieldCNot[1][1]=new Kletka1(1);
FieldCNot[2][1]=new Kletka1(1); ... }
~RevCNot();
};

```

В результате виртуального эксперимента получены конкретные схемы функционирования кластерного клеточного автомата для различных квантовых цепей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева И. В., Калмычков В. А., Матвеева Л. И. Оптимизация проектирования квантовых цепей // Всерос. науч.-техн. конф. «Общество–наука–инновации»: Сб. материалов: в 4 т. Т. 2. Киров: Изд-во ГОУ ВПО «ВятГУ», 2010. С. 48–52.
2. Закревский А. Д., Торопов Н. Р. Полиномиальная реализация частичных булевых функций и систем. 2-е. изд. М.: Едиториал УРСС, 2003.
3. Матвеева И. В., Калмычков В. А. Рекурсивно-лексическая методика расстановки квантовых преобразователей для задач автоматизированного проектирования // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 6. С. 52–57.
4. Закревский А. Д., Торопов Н. Р. Быстрые алгоритмы оптимизации FPRM-представления систем булевых функций // Логическое проектирование / Ин-т технической кибернетики. Минск, 1998. С. 4–18.
5. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.
6. Матвеева И. В. Квантовые логические элементы // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2005. Вып. 1. С. 7–12.

I. V. Matveeva, V. A. Kalmyckov

#### QUANTUM CIRCUITS SIMULATION ON VIRTUAL CELLULAR AUTOMATA

*Example of quantum Boolean circuits generation by means of synthesis by fixed polarity Reed–Muller (FPRM) expressions describes in the article. Reversible cellular automata with configured neighborhood proposed for virtual experiment.*

**Qubit, quantum circuit, fixed polarity Reed–Muller (FPRM) expressions, cellular automata**

УДК 621.392.13

*Д. В. Каменьков, В. И. Анисимов*

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

*Рассматриваются свойства и структура электронного документа с целью организации электронного документооборота в системах управления данными об изделии.*

**Электронный документ, документооборот, маршрутизация документов, документооборот, электронный архив**

Одним из важных видов информации является документируемая информация, которая используется для управления как на уровне предприятий, так и в рамках государств и их объединений. Таким образом, документируемая информация выделяется тем, что име-

ет конкретное назначение и подразумевает определенные правила оформления и формирования. Работа с документированной информацией имеет свои особенности и требует значительных материальных и временных ресурсов, но правильная организация работы с документами повышает эффективность управления. Именно развитию процессов документирования принадлежит приоритет в управленческой деятельности.

Современные компьютерные технологии все больше проникают в сферу управленческой деятельности, и если раньше с документом всегда ассоциировался некий бумажный носитель информации, то в скором времени его заменит электронный документ с электронной подписью. Изменение носителя документной информации требует пересмотра и переосмысления старых правил работы.

Для решения этой задачи рассмотрим представленную на рисунке структурную схему электронного документа. Схема состоит из трех частей: «Реквизиты», «Маршрут», «Параметры маршрута». Структурные единицы электронного документа делятся на информативные и коммуникативные. Документ создается для сохранения и/или получения определенных данных, и эти данные хранятся в информативной части документа. Коммуникативная часть документа необходима для правильной регистрации этих данных и отображения истории работы с ними.

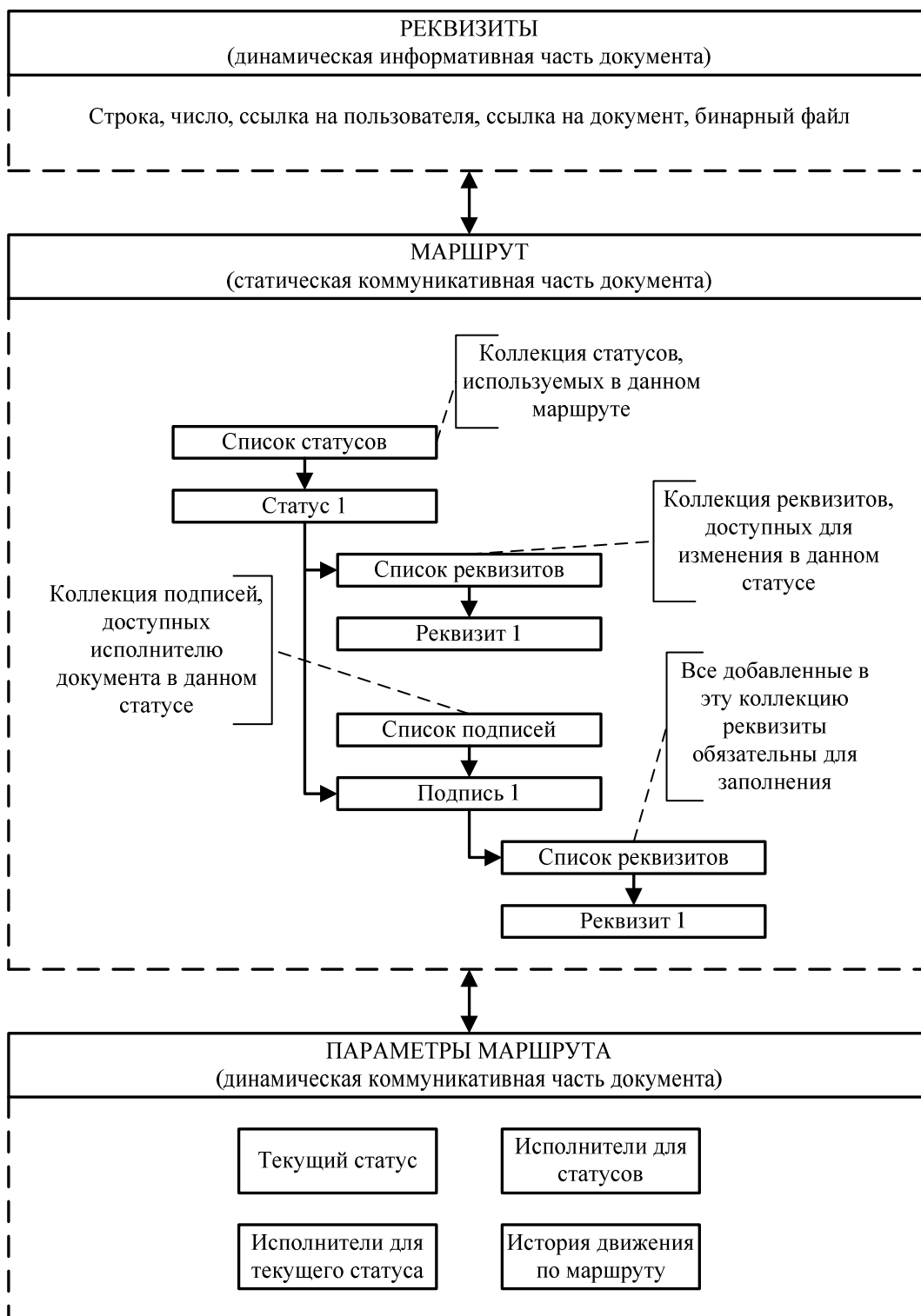
*Реквизиты* являются динамической информативной частью документа и могут быть различных типов: строка, число, ссылка на документ, ссылка на пользователя, ссылка на бинарный файл. Динамичность реквизитов обусловлена возможностью их изменения или исправления в процессе работы с документом.

*Маршрут* – это статическая коммуникативная часть электронного документа, формализующая перемещение документа между исполнителями. Исполнитель – пользователь ПК, которому документ передается для заполнения информативной части либо для ее проверки. Статичность маршрута обусловлена его относительной неизменностью в процессе работы с документом. Маршрут включает в себя статусы и подписи документа и может быть связан с одним или более типами документов.

Список статусов – это коллекция статусов, используемых в рамках данного маршрута, в которые может быть переведен документ. Каждый статус является состоянием документа, в котором к документу имеют доступ строго определенные исполнители. Статус связан только с одним маршрутом и может быть трех видов: начальный, конечный и независимый. В одном маршруте может быть только один начальный статус, который устанавливается в момент создания документа, и исполнителем в этом статусе назначается текущий пользователь. Обычно документ имеет один конечный статус, но их может быть и несколько, если того требует поставленная задача. Статус определяет доступность для редактирования текущим исполнителем определенных реквизитов документа. Статус содержит связанный с ним набор инструкций и условий, регулирующих корректное заполнение параметров маршрута.

Список реквизитов статуса – это коллекция, хранящая все реквизиты, которые может изменять исполнитель данного статуса. Реквизит является информативной частью документа, которая может быть строкой, числом, таблицей, ссылкой на другой документ или прикрепленным файлом.





Список подписей – это коллекция однонаправленных векторов движения по маршруту, где началом каждому вектору служит вышестоящий статус, а окончанием – любой другой. Каждая подпись является командой, изменяющей статус документа и проверяющей корректное заполнение атрибутов документа, а также выполняющей дополнительные служебные действия с реквизитами и списком исполнителей. Подписью определяется обязательность заполнения реквизитов документа, при этом установка подписи исполнителем строго фиксируется в документе, с указанием даты и времени. Подпись содержит связанный с ней набор инструкций и условий, регулирующих корректное заполнение параметров маршрута.

Список реквизитов подписи – это коллекция, хранящая все реквизиты, которые обязан заполнить исполнитель, устанавливающий подпись. Подпись будет установлена только в случае заполнения всех реквизитов, принадлежащих коллекции.

*Параметры маршрута* – динамическая коммуникативная часть документа, выполняющая вспомогательную и фиксирующую функцию. Динамичность параметров маршрута обусловлена их постоянным изменением на протяжении всего жизненного цикла документа. Текущий статус – это параметр, являющийся элементом коллекции статусов маршрута. Исполнители для статусов – это параметр, фиксирующий соответствие исполнителей статусам электронного документа. Каждый исполнитель – сотрудник, имеющий доступ к изменению реквизитов документа в определенном статусе и определяющий дальнейшее продвижение документа по маршруту. История движения по маршруту хранит установленную пользователем электронную подпись документа и фиксирует действия пользователя.

Стоит отметить, что существуют некоторые различия между бумажным и электронным документами. К этим отличиям следуют отнести следующие свойства электронного документа:

- Динамичность – возможность изменения или исправления заполненных реквизитов.
- Интерактивность – способность документа автоматически верифицировать заполненные реквизиты, давать пользователю указания по их заполнению, а также контроль процесса коммуникации.
- Мультисессийность – возможность одновременной интерактивной совместной работы над документом нескольких исполнителей.
- Виртуальность – возможность работы с виртуальным представлением документа, физически находящегося на материальном носителе.
- Мультиоригинальность – возможность хранения оригинала документа на нескольких физических носителях одновременно.

В настоящее время существует необходимость в научных исследованиях в области конструкторского документооборота, потому что круг специалистов, занимающихся им, очень мал. В связи с резким повышением производительности компьютерной техники и созданием мощных систем автоматизации проектирования значительно выросло количество конструкторской документации и резко сократились сроки ее разработки. Наряду с этим появились серьезные проблемы передачи в производство конструкторских решений из-за слабой автоматизации процедур согласования и утверждения конструкторской документации. Созданием систем документооборота сейчас занимаются коммерческие фирмы, которые не всегда готовы проводить серьезные научные исследования и разрабатывают программное обеспечение, руководствуясь исключительно экономическими соображениями. В связи с этим именно сейчас для выхода на качественно новый уровень работы с электронными документами важна исследовательская деятельность в этом направлении.

*D. V. Kamenkov, V. I. Anisimov*

*THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ELECTRONIC DOCUMENTS.*

*Properties and structure of the electronic document are treated for organization of the electronic document management in product data management systems.*

**The electronic document, document management, document routing, document flow, electronic archive**

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ АВТОНОМНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*Рассматривается задача оценивания состояния сложной автономной вычислительной системы и возможность организации встроенной подсистемы автоматического ее диагностирования для своевременного обнаружения неисправности и исправления возникающих сбоев и ошибок. Предложена математическая база для подсистемы диагностирования, основанная на теории информации и методе распознавания образов.*

**Вычислительная система, автоматическое диагностирование, теория информации, распознавание образа**

При диагностировании сложных вычислительных систем (ВС) актуально оценивание их состояния в реальном времени без приостановки выполнения основных вычислительных функций. Диагностирование имеет особое значение для систем, которые должны выполнять вычислительные задачи автономно без возможности обслуживания и координирования работы оператором, например для бортовых ВС беспилотных космических летательных аппаратов. Задача диагностирования усложняется еще и тем, что в сложных ВС практически невозможно собрать и оценить полную информацию, характеризующую состояние системы. Ясно, что в идеале подсистема диагностирования (ПД) должна быть интегрирована в ВС и функционировать параллельно с ней, не влияя на ее работу в штатном режиме, а при появлении симптомов, грозящих возникновением ошибок, своевременно вырабатывать корректирующие воздействия. Таким образом, задача диагностирования включает в себя следующие подзадачи:

- анализ работоспособности;
- распознавание «образа неисправности» при недостаточной информированности;
- принятие решений о корректирующих воздействиях;
- самообучение.

Анализ показывает, что часто система теряет работоспособность не из-за физического отказа ее элементов, а в результате воздействия случайных помех, искажений в каналах обмена данными, особенно в случае систем специального назначения, работающих в сложных условиях. При этом в лучшем случае происходит перезагрузка системы с потерей всей оперативной информации. Такие ситуации очень сложны для исследования, часто невозможно определить, в какой момент и из-за каких воздействий произошел сбой в работе. Некоторые ошибки полностью не выявляются даже при длительном стендовом испытании системы.

Автоматическое диагностирование эксплуатируемых ВС в связи с его недостаточным развитием сводится к перезагрузке системы и прогону заранее составленных тестовых последовательностей. При этом часть модулей ВС бывает вообще невозможно протестировать. Также практически не возможен анализ поведения системы при всех возможных входных воздействиях и осложнено его моделирование при возникновении отдельных сбоев различных элементов. Таким образом, необходим поиск эффективного решения для диагностирования состояний ВС.

Для решения этой задачи представим совокупность параметров диагностируемой системы как образ состояния ВС, а совокупность параметров, среди которых один или несколько параметров превысили значение порога, – как образ неисправности системы, который необходимо проанализировать и принять решение о корректировке работы ВС. Если взять образ неисправности в качестве объекта распознавания, в качестве классов распознавания – целевые состояния объекта управления, а в качестве признаков – факторы, влияющие на него, то в модели распознавания образов может быть сформирована мера связи факторов и состояний. Это позволяет по заданному состоянию объекта управления получить информацию о факторах, которые способствуют или препятствуют его переходу в данное состояние, и на этой основе выработать решение об управляющем воздействии. Задача распознавания представляет собой информационный процесс, реализуемый некоторым преобразователем информации (интеллектуальным информационным каналом, системой распознавания), имеющим вход и выход. На вход ПД подается информация о том, какими признаками обладают предъявляемые объекты. Распознавание образов есть принятие решения о принадлежности объекта или его состояния к определенному классу. Если до распознавания существовала неопределенность в вопросе о том, к какому классу относится распознаваемый объект, то в результате распознавания эта неопределенность уменьшается, возможно даже до нуля (когда объект идентифицируется однозначно). Задача принятия решения о выборе многопараметрического, управляющего воздействия, корректирующего работу диагностируемой системы (ДС), есть обратная задача распознавания. Каждый выбор порождает определенное количество информации, а значит, может быть описан в терминах теории информации, которую можно рассматривать как единую основу методов распознавания образов и принятия решений.

С позиций теории информации сложная ВС может рассматриваться как шумящий (определенным образом) информационный канал, на вход которого подаются входные параметры  $\vec{X}$ , представляющие собой управляющие воздействия, а также факторы предистории и среды, а на выходе фиксируются выходные параметры  $\vec{Y}$ , связанные как с входными параметрами, так и с целевыми состояниями объекта управления [1].

Количество информации  $I_i^j$ , согласно Харкевичу [2], может быть выражено в форме

$$I_i^j = \log_2 \left( P_i^j / P_i \right), \quad (1)$$

где  $P_i^j$  и  $P_i$  – вероятность обнаружения  $i$ -го фактора при переходе ВС в  $j$ -е состояние и вероятность обнаружения этого же фактора при переходе ВС в любое конечное состояние. Выражение (1) непосредственно определяет количество информации  $I_i^j$ , которое ПД получает о наступлении события: «переход ВС в  $j$ -е состояние» из сообщения: «на ВС воздействует  $i$ -й фактор». Когда количество информации  $I_i^j > 0$ ,  $i$ -й фактор способствует переходу ВС в  $j$ -е состояние, когда  $I_i^j < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_i^j = 0$ , – не влияет на нее.

Можно считать, что обнаружив некоторый  $i$ -й признак у объекта, предъявленного на распознавание, тем самым получаем сигнал, содержащий некоторое количество информации  $D_i^j = \log P_i^j$  о том, что этот объект принадлежит к  $j$ -му классу. По-видимому, это так и есть,

однако чтобы оценить, насколько много или мало этой информации получено, ее необходимо с чем-то сравнить, т. е. нужна точка отсчета или база для сравнения. В качестве такой базы естественно принять среднее по всем классам распознавания количество информации, получаемое при обнаружении  $i$ -го признака:  $\bar{I}_i = \log P_i$ . Другими словами, если при предъявлении какого-либо объекта на распознавание у него обнаружен  $i$ -й признак, то для того, чтобы сделать из этого факта обоснованный вывод о принадлежности этого объекта к одному или другому классу, необходимо знать и учесть, насколько часто в среднем обнаруживается этот признак при предъявлении объектов различных классов. Кроме полезной информации еще присутствует «информационный шум», который имеется в данном признаке и не несет никакой полезной информации о принадлежности объектов к тем или иным классам:

$$I_i^j = \log P_i^j - \log P_i = D_i^j - \bar{I}_i. \quad (2)$$

Выражение (2) интерпретируется как вычитание шума из полезного сигнала [3]. Если полезный сигнал выше уровня шума, то его обнаружение несет информацию о принадлежности объекта к данному классу, если нет – наоборот.

Возвращаясь к выражению (1), необходимо отметить, что в работах А. А. Харкевича рассматривается  $P_i^j$  как вероятность достижения цели, при условии, что система получила информацию  $I_i^j$ , а  $P^j$  – как вероятность ее достижения при условии, что система этой информации не получала. Очевидно, что фактически  $P^j$  соответствует вероятности случайного угадывания системой правильного пути к цели. Необходимо отметить также, что каждый признак объекта управления как канала связи может быть охарактеризован динамическим диапазоном, равным разности максимально возможного (допустимого) уровня сигнала в канале и уровня помех в логарифмическом масштабе:

$$I_{i\max}^j = \log P_{i\max}^j - \log P_i = \log (P_{i\max}^j / P_i).$$

Максимальное количество информации, которое может содержаться в признаке, полностью определяется количеством классов распознавания  $W$  и равно количеству информации по Хартли [4]:  $I = \log 2W$ . Динамический диапазон признака является количественной мерой его полезности (ценности) для распознавания, но все же предпочтительней для этой цели использовать среднее количество полезной для классификации информации в признаке, т. е. выборочное среднеквадратичное отклонение информативностей:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_i^j - \bar{I}_i)^2}.$$

Факторы могут сравниваться друг с другом по тому влиянию, которое они оказывают на поведение ВС. Сами состояния могут сравниваться друг с другом по тем факторам, которые способствуют или препятствуют переходу ВС в эти состояния. Это сравнение может содержать лишь результат, т. е. различные степени сходства/различия, или содержать также причины этого сходства/различия.

Признаки, которые есть по крайней мере в одном из классов, будем называть связями, так как благодаря тому, что они либо тождественны друг другу, либо между ними имеется сходство или различие по смыслу, они вносят определенный вклад в отношения сходства/различия между классами.

Система распознавания и принятия решений в подсистеме идентификации и выработки управляющих воздействий ВС основана на информационной мере, которую можно записать в форме  $I^j = \sum_{i=1}^A (I_i^j - \bar{I}^j) (L_i - \bar{L})$ . Это выражение представляет собой слагаемое меры сходства выходного состояния объекта управления, обладающего  $i$ -м параметром, с обобщенным образом  $j$ -го выходного состояния и отражает информационное отношение, основанное на статистических закономерностях.

Необходимо учитывать вклад в сходство/различие двух классов, который вносят признаки класса. Логично предположить, что данный вклад (при прочих равных условиях) будет тем меньше, чем меньше корреляция между этими признаками. Следовательно, необходимо умножить произведение информативностей признаков на коэффициент корреляции между ними, отражающий степень сходства или различия признаков по смыслу. Таким образом, любые 2 признака ( $i, k$ ) вносят определенный вклад в сходство/различие двух классов ( $j, l$ ). Этот вклад определяется сходством/различием признаков и количеством информации о принадлежности к этим классам, которое содержится в данных признаках:  $R^{jl} = K_{ik} (I_i^j - \bar{I}^j) (I_k^l - \bar{I}^l)$ . Здесь  $K_{ik}$  – классический коэффициент корреляции Пирсона, количественно определяющий степень сходства по смыслу двух признаков  $i$  и  $k$  на основе учета вклада каждой связи, образованной содержащейся в них информацией о принадлежности к  $j$ -му классу:

$$K_{ik} = \frac{1}{WS_i S_k} \sum_{j=1}^W (I_i^j - \bar{I}_i) (I_k^j - \bar{I}_k), \quad (3)$$

где  $\bar{I}_i = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_i^j$  – средняя информативность профиля  $i$ -го признака;  $\bar{I}_k = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_k^j$  – сред-

няя информативность профиля  $k$ -го признака;  $S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^W (I_i^j - \bar{I}_i)^2}{W-1}}$  и  $S_k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^W (I_k^j - \bar{I}_k)^2}{W-1}}$  – среднеквадратичные отклонения информативностей профилей  $i$ -го и  $k$ -го признаков соответственно;  $W$  – количество классов распознавания.

Коэффициент корреляции между признаками (3) рассчитывается на основе всей обучающей выборки, а не только объектов двух сравниваемых классов. Так как коэффициент корреляции между признаками (3) практически всегда отличается от нуля, то каждый признак  $i$  образует связи со всеми признаками  $k$ , где  $k = \{1, \dots, W\}$ , а каждый признак  $k$  в свою очередь связан со всеми остальными признаками. Для обобщенного коэффициента корреляции Пирсона между двумя классами  $j$  и  $l$ , учитывающего вклад в их сходство или различие связей, образуемых коррелирующими признаками:

$$L_{ik} = \frac{1}{WS_i S_k} \sum_{j=1}^W \sum_{l=1}^W K^{jl} (I_i^j - \bar{I}_i) (I_k^l - \bar{I}_k).$$

Таким образом, получается, что любые 2 класса ( $j, l$ ) вносят определенный вклад в сходство/различие двух признаков ( $i, k$ ), определяемый сходством/различием этих классов и количеством информации о принадлежности к ним, которое содержится в данных признаках. Все связи между признаками сортируются в порядке убывания, в соответствии с определенными ограничениями, связанными с тем, что нет необходимости учитывать

очень слабые связи. Для каждого класса известно, какое количество информации о принадлежности к нему содержит данный признак, определяет его информативность. Информативность признака – это не только количество информации в нем о принадлежности к данному классу, но и количество информации в классе о том, что при нем наблюдается данный признак, т. е. это взаимная информация класса и признака. Выходные параметры  $\vec{Y}$  – это свойства ВС, зависящие от входных параметров и связанные с ее целевым состоянием сложным и неоднозначным способом:  $\vec{T} = T(\vec{Y})$ . Задача идентификации состояния ВС по ее выходным параметрам решается подсистемой диагностирования, работающей на принципах системы распознавания образов. При этом классами распознавания являются состояния ВС, а признаками – параметры состояний. Подсистема выработки управляющих воздействий, также основанная на алгоритмах распознавания образов, обеспечивает выбор управления  $\vec{X}$ , переводящего ВС в целевое состояние  $\vec{T}$ . При этом по заданному целевому состоянию  $\vec{T}$  определяются наиболее характерные для данного состояния выходные параметры ВС:  $\vec{Y} = T^T(\vec{T})$  и по найденному на предыдущем шаге набору выходных параметров  $\vec{Y}$  определяются входные параметры  $\vec{X}$ , с наибольшей эффективностью переводящие ВС в данное целевое состояние с этими выходными параметрами:  $\vec{X} = Y^T(\vec{Y})$ .

Как уже отмечалось, объект определяется как сложный, если для построения его аналитической модели недостаточно априорной информации. Очевидно, классификация объекта как сложного относительная, т. е. зависит не только от его объективной сложности, но и от наличия у разработчиков АСУ достаточной информации о нем. Следовательно, для построения аналитической модели сложного объекта управления необходимо изучить его.

Таким образом, предложенная методология, основанная на теории информации, обеспечивает эффективное моделирование задач принятия решений в системах диагностирования сложных вычислительных систем. Рассмотренная математическая модель обеспечивает эффективное решение задач анализа информации, поступающей из ВС в подсистему диагностирования для определения возможных сбоев и нарушений в работе. Применение обучающейся с учителем адаптивной модели в реально работающей ПД позволяет выделить существенные признаки (факторы), нарушающие работу ВС, а также зависимости между ними и целевыми состояниями ВС. Построение на этой основе подсистемы диагностирования уже не является большой проблемой. Такая ПД позволяет рассчитывать влияние факторов на переход ВС в различные возможные состояния, прогнозировать поведение ВС при конкретном управляющем воздействии и вырабатывать многофакторное управляющее воздействие, а также выявлять факторы, вносящие основной вклад в детерминацию состояния ВС, контролируемо удалять второстепенные факторы, присутствующие, но не влияющие на ход работы ВС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симанков В. С., Луценко Е. В. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. Краснодар, 1999.
2. Харкевич А. А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. Вып. 4. М.: Физматгиз, 1960.
3. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1973.
4. Хартли Р. В. Л. Передача информации // Теория информации и ее приложения / Под ред. А. А. Харкевича. М.: Физматгиз, 1959.

*In the article the problem of estimating status of the complicated autonomous calculating system is shown as well as the opportunity of organizing embedded subsystem for its automatic diagnostics in order to detect the malfunction in real time and rectify incipient errors. The mathematical base for the diagnosing subsystem based on the information theory and the method of recognition of images is given.*

**The computing system, automatic diagnosing, the information theory, recognition of an image**

УДК 681.5

*А. Л. Ляшенко, И. М. Новожилов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСШИРЕННЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

*Рассмотрена возможность использования аппарата расширенных частотных характеристик (РЧХ) для систем с распределенными параметрами. Сформулирована и решена задача по разработке методики частотного анализа систем с распределенными параметрами с помощью РЧХ. Сформулировано понятие расширенного пространственного годографа распределенного объекта управления.*

**Системы с распределенными параметрами, расширенные частотные характеристики, расширенный пространственный годограф, передаточные функции распределенных объектов**

Для определения границы областей пространства параметров настройки системы широко используют аппарат расширенных частотных характеристик (РЧХ). Метод анализа систем с сосредоточенными параметрами с помощью РЧХ [1] рассмотрен в трудах Е. Г. Дудникова. Метод РЧХ базируется на двух основных требованиях к системам автоматического регулирования:

- система должна иметь необходимый запас устойчивости;
- система должна обеспечивать необходимые качественные показатели процесса регулирования.

Запас устойчивости в данном методе определяется показателем колебательности системы  $m$ , а одним из основных показателей качества считается степень затухания  $\psi$ , т. е. колебательность переходного процесса.

Адаптируем данный метод с целью его применения для анализа и синтеза систем с распределенными параметрами.

Рассмотрим процедуру построения расширенных частотных характеристик для системы управления температурным полем объекта, имеющего форму куба.

Математическая модель объекта управления имеет вид

$$\frac{\partial Q(x, y, z, t)}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 Q(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 Q(x, y, z, t)}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$
$$0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z.$$

Граничные и начальные условия задаются следующими соотношениями:

$$Q(x, 0, z, \tau) = Q(x, L_y, z, \tau) = 0, \quad (2)$$



$$\frac{\partial Q(0, y, z, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial Q(L_x, y, z, \tau)}{\partial x} = 0, \quad \lambda \frac{\partial Q(x, y, z, \tau)}{\partial z} = U(x, y, \tau), \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$Q(x, y, z, 0) = 0. \quad (5)$$

Согласно [2], [3] передаточная функция объекта, описываемого выражением (1), будет иметь вид

$$W(x, y, z, \rho, v, \nu, p) = \frac{8}{l_x l_y l_z} \sum_{k, m, n=1}^{\infty} \frac{B_{k, m, n}(\cdot)}{p + a\pi^2 \left( \frac{k^2}{l_x^2} + \frac{m^2}{l_y^2} + \frac{n^2}{l_z^2} \right)},$$

$$\text{где } B_{k, m, n}(\cdot) = \sin\left(\frac{k\pi x}{l_x}\right) \sin\left(\frac{m\pi y}{l_y}\right) \sin\left(\frac{n\pi z}{l_z}\right) \sin\left(\frac{k\pi \rho}{l_x}\right) \sin\left(\frac{m\pi v}{l_y}\right) \sin\left(\frac{n\pi \nu}{l_z}\right).$$

При фиксированных значениях  $x, y, z$  (точки наблюдения),  $\rho, v, \nu$  (точки действия источника) и  $k, m, n = 1$  произведем преобразование и получим:

$$W(x, y, z, \rho, v, \nu, p) = \frac{K_{k, m, n}(x, y, z, \rho, v, \nu)}{T_{k, m, n} p + 1},$$

$$\text{где } K_{k, m, n}(\cdot) = \frac{8l_1 l_2 l_3 \sin\left(\frac{k\pi x}{l_x}\right) \sin\left(\frac{m\pi y}{l_y}\right) \sin\left(\frac{n\pi z}{l_z}\right) \sin\left(\frac{k\pi \rho}{l_x}\right) \sin\left(\frac{m\pi v}{l_y}\right) \sin\left(\frac{n\pi \nu}{l_z}\right)}{a\pi^2 (l_y^2 l_z^2 k^2 + l_x^2 l_z^2 m^2 + l_x^2 l_y^2 n^2)}; \quad T_{k, m, n} = \frac{l_1^2 l_2^2 l_3^2}{a\pi^2 (l_y^2 l_z^2 k^2 + l_x^2 l_z^2 m^2 + l_x^2 l_y^2 n^2)}.$$

Построим расширенные частотные характеристики по  $k=1-4$  модам входного воздействия (рис. 1:  $a$  – амплитудно-фазовая частотная характеристика;  $b$  – логарифмическая амплитудно-частотная характеристика;  $c$  – фазочастотная характеристика).

Рассмотрим случай, когда входное воздействие ( $\alpha_{\text{зад}}$ ) для рассмотренного ранее объекта задано в виде следующего ряда:

$$\alpha_{\text{зад}}(x, y) = \sum_{\eta, \gamma=1}^3 C_{\eta, \gamma} \sin(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\phi}_{\gamma} y).$$

В соответствии с граничными условиями представим входное воздействие на объект управления  $U(x, y, \tau)$  в виде ряда Фурье [2]:

$$U(x, y, \tau) = \sum_{\eta, \gamma=1}^{\infty} D_{\eta, \gamma}(\tau) \sin(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\phi}_{\gamma} y), \quad (6)$$

$$\text{где } \psi_{\eta} = \frac{\pi \eta}{L_x}, \quad \eta = \overline{1, \infty}; \quad \tilde{\phi}_{\gamma} = \frac{\pi \gamma}{L_y}, \quad \gamma = \overline{1, \infty}.$$

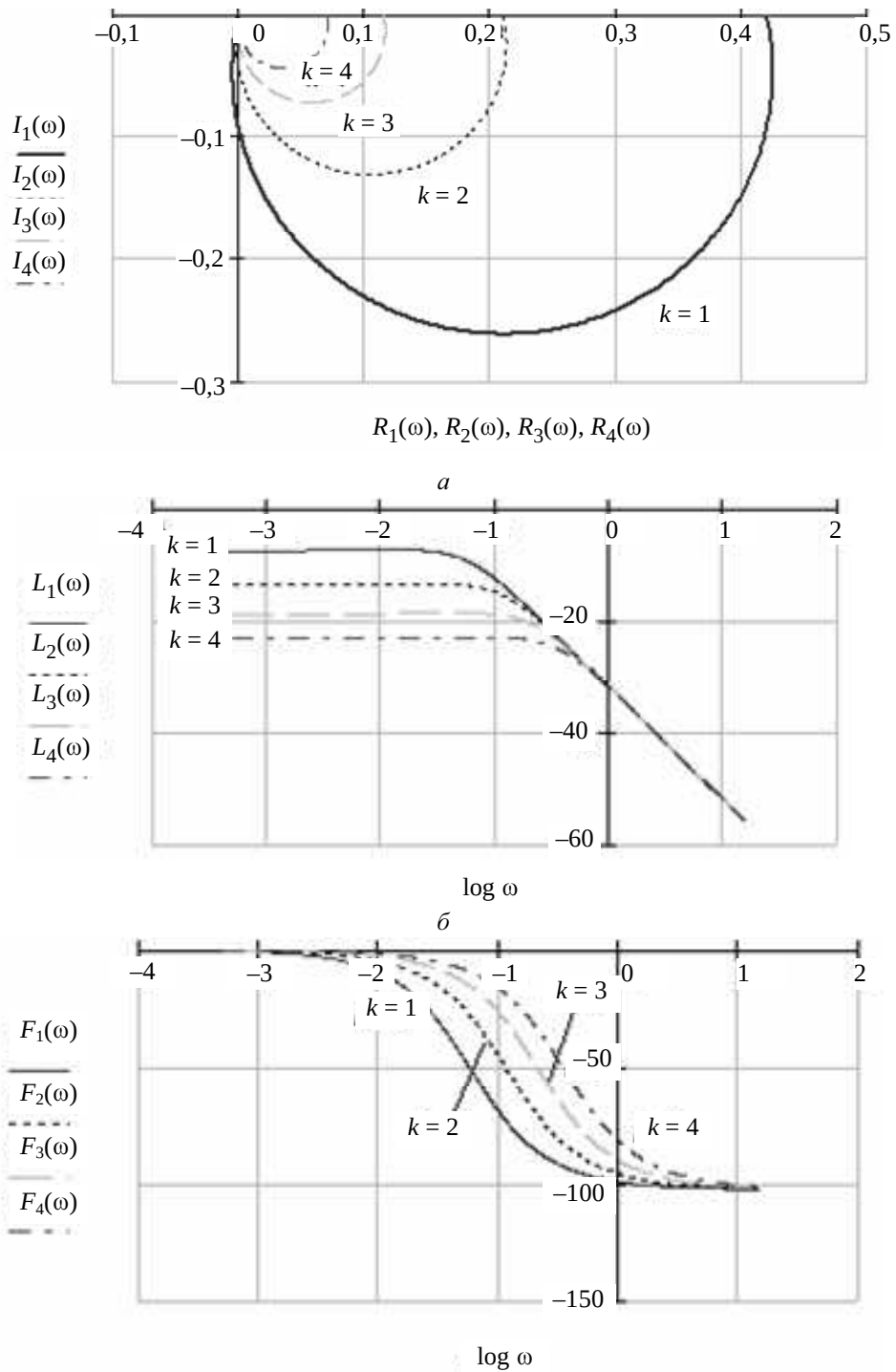


Рис. 1

Согласно [3] распределенный объект с математической моделью (1)–(5) и входным воздействием вида (6) может быть описан передаточной функцией, которая по  $\eta, \gamma$  ( $\eta, \gamma = \overline{1, \infty}$ ) моде входного воздействия при  $z = z^*$  ( $z^* < L_z$ ) имеет вид

$$W_{0,\eta,\gamma}(p) = \frac{\exp(\beta_{\eta,\gamma} z^*) + \exp(-\beta_{\eta,\gamma} z^*)}{\exp(\beta_{\eta,\gamma} L_z) + \exp(-\beta_{\eta,\gamma} L_z)} (\eta, \gamma = \overline{1, \infty}), \quad (7)$$

где  $\beta_{\eta,\gamma} = \left( \frac{p}{a} + \psi_{\eta}^2 + \tilde{\varphi}_{\gamma}^2 \right)^{1/2} (\eta, \gamma = \overline{1, \infty})$ ;  $\psi_{\eta} = \pi \frac{\eta}{L_x}$ ;  $\tilde{\varphi}_{\gamma} = \pi \frac{\gamma}{L_y}$ ;  $a, z^*, L_z$  – заданные числа.

Используя полученные выражения и программный комплекс MathCAD, построим расширенные частотные характеристики по  $\eta = 1, 2, 3, 4, 70, 80, 90, 100$  модам входного воздействия (рис. 2).

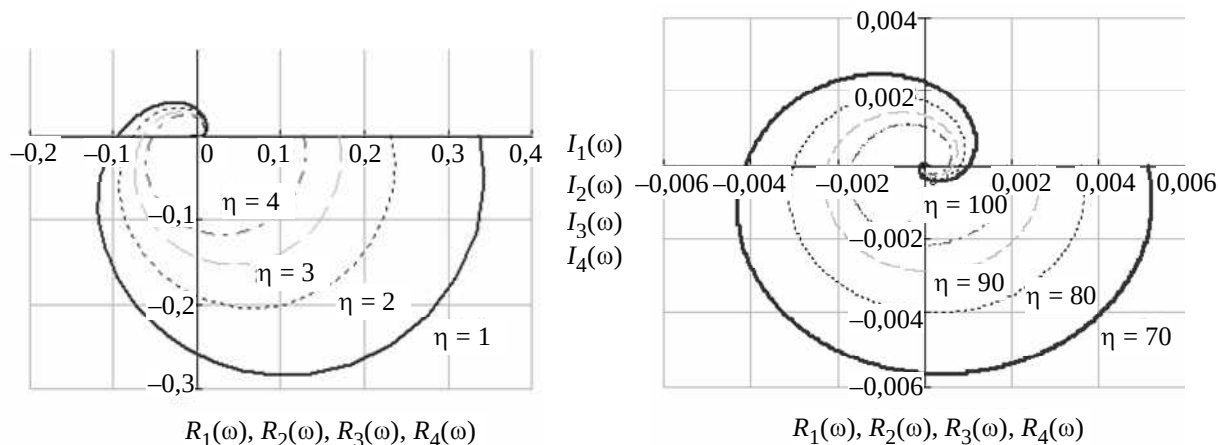


Рис. 2

Используя обобщенную координату  $G$  запишем передаточную функцию (7) в виде [3]

$$W_0(G, p) = \frac{\exp(\beta(G)z^*) + \exp(-\beta(G)z^*)}{\exp(\beta(G)L_z) + \exp(-\beta(G)L_z)}, \quad G_H \leq G \leq \infty, \quad (8)$$

где  $\beta(G) = \left( G + \frac{p}{a} \right)^{1/2}$ ,  $G_H = \tilde{G}_H = \psi_{\eta}^2 + \tilde{\varphi}_{\eta}^2$ .

Для частотного анализа объекта положим в (8)  $p = \omega(j - m)$ . При изменении значения  $\omega$  от 0 до  $\infty$ , а значения  $G$  от  $G_H$  до  $\infty$  вектор  $\vec{W}(G, j\omega, m)$  в пространстве  $\text{Re } W, \text{Im } W, G$  опишет поверхность, которую назовем расширенным пространственным годографом (РПГ) (рис. 3).

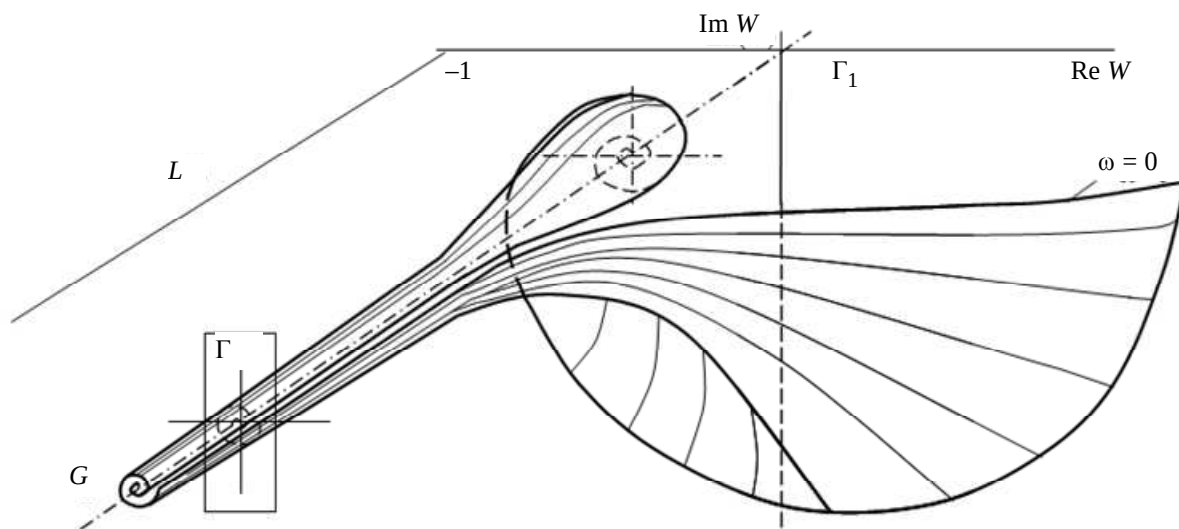


Рис. 3

Для определения частотной характеристики объекта по заданной  $(\eta^*, \gamma^*, \xi^*)$  пространственной гармонической составляющей входного воздействия необходимо рассесть пространственный годограф плоскостью  $\Gamma$ , параллельной плоскости  $\Gamma_1$  и проходящей через точку с координатами:

$$\operatorname{Re} W = 0, \operatorname{Im} W = 0, G = \tilde{G}(\eta^*, \gamma^*, \xi^*).$$

След пересечения плоскости  $\Gamma$  и пространственного годографа будет искомой частотной характеристикой.

Расширенный пространственный годограф для исследуемого и рассмотренного ранее объекта представлен на рис. 4.

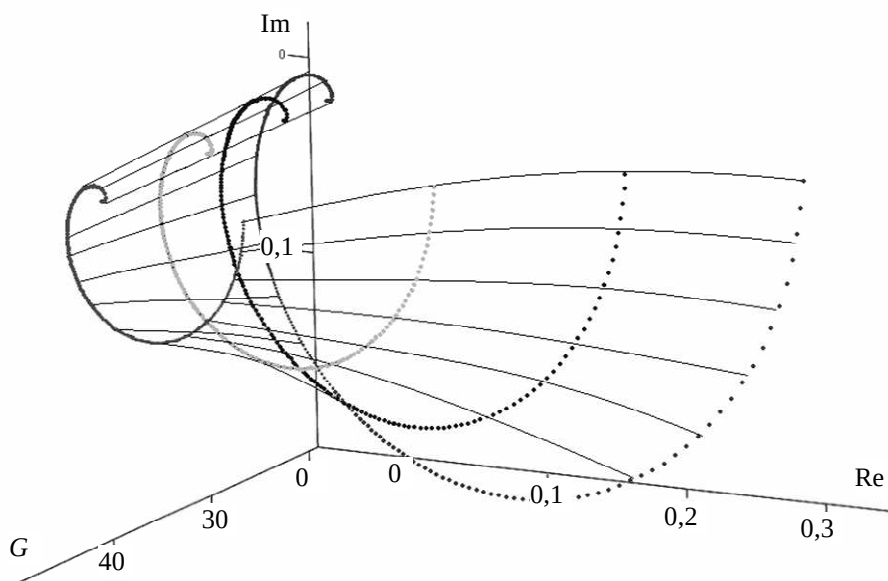


Рис. 4

Разработанная методика позволяет рассчитывать расширенные частотные характеристики объектов управления с распределенными параметрами, математические модели которых представлены различными передаточными функциями. Полученные расширенные частотные характеристики могут использоваться для анализа объектов на запас устойчивости. В частности, полученный расширенный пространственный годограф делает возможным применение критерия Найквиста.

Полученные с помощью представленной методики РЧХ позволят рассчитывать настройки регуляторов, реализующих различные законы управления, таким образом, чтобы обеспечивалось расположение всех корней характеристического полинома замкнутой системы внутри сектора, определяемого требуемой степенью колебательности  $m$ , а следовательно, и требуемой степенью затухания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудников Е. Г. Основы автоматического регулирования тепловых процессов: Учеб. пособие для вузов. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956.
2. Бутковский А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами. М.: Наука, 1979.
3. Першин И. М. Анализ и синтез систем с распределенными параметрами / РИА на КМВ. Пятигорск, 2007.

APPLICATION OF THE EXTENDED FREQUENCY CHARACTERISTICS  
METHOD FOR ANALYSIS OF OBJECTS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

*Possibility of application of the extended frequency characteristics (EFC) mechanism for systems with distributed parameters is considered. EFC-based frequency analysis technique for systems with distributed parameters is proposed. Extended spatial hodograph concept for distributed control object is formulated.*

**Systems with distributed parameters, extended frequency characteristics, extended spatial hodograph, distributed objects transfer functions**

УДК 004.942

*И. А. Ходырев, Ю. С. Татаринов*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖУРНАЛОВ СОБЫТИЙ**

*Представлен метод прогнозирования индикаторов компании с использованием журналов событий, формируемых в результате деятельности компаний.*

**Анализ процессов, прогнозирование, управление бизнес-процессами, симуляция, журналы событий**

Одним из существенных факторов, определяющих успех современных компаний, является способность прогнозирования своих состояний. Задачу прогнозирования можно свести к задаче предсказания значений конечного набора индикаторов, на основании которых делаются аналитические выводы и принимаются стратегические решения.

На сегодняшний день существует множество методов прогнозирования показателей организаций. Так, одно из направлений прогнозирования основывается на применении методик Data Mining. В рамках этого направления прогнозирование показателей принято сводить к построению модели поведения показателя в зависимости от большого числа факторов. Данный подход продуктивен, когда бизнес-процессы компании с точки зрения потока работ (workflow) являются простыми, однако, когда структура потока работ сложна и зависит от ситуации, применения Data Mining оказывается недостаточно.

Другое направление прогнозирования – Process Mining – стремится использовать информацию о реальной деятельности организации для построения моделей процессов в ней. Прогноз получается в результате симуляции полученных моделей для требуемого периода. В рамках Process Mining на данный момент разрабатываются 2 основных подхода к построению симуляционных моделей: в рамках первого элементы моделей являются независимыми и их характеристики получаются как «среднее», рассчитанное на основании всей истории деятельности организации; второй подход использует предположение о том, что развитие процесса зависит от его истории и в соответствии с ним элементы моделей строятся как функции от истории исполнения процесса [1].

Оба подхода, разрабатываемые в рамках Process Mining, являются действенными, однако их недостаток – отсутствие учета возможных зависимостей развития процесса от внешних факторов среды и от состояния ресурсов компании. Цель данной статьи – представить метод, совмещающий идеи Data и Process Mining для получения прогнозов деятельности компании.

На сегодняшний день широкое использование концепции бизнес-процессов в деятельности организаций привело к разработке и внедрению инструментальных средств поддержки бизнес-процессов. Эти средства в мировой практике объединены понятием Process Aware Information Systems (PAIS), которое включает в себя как ERP (Enterprise Resource planning), так и WFM (Workflow management) системы [2]. Отличительной особенностью большинства PAIS является возможность накопления истории протекания процессов в системе в структурированной формализованной форме, часто называемой журналами событий, или логами (logs). Содержащаяся в логах информация позволяет восстанавливать модели порождающих их процессов. К таким моделям в первую очередь относят workflow-модель, получение которой является целью многих современных исследований [3]. Извлечение (process mining) моделей процессов позволяет аналитику в различных проекциях рассматривать деятельность организации, сверять ее с ожидаемой деятельностью, а также заниматься планированием и изменением бизнес-процессов компании. Помимо этого модели процессов могут быть использованы для симуляции деятельности компании, в результате чего появляется возможность прогнозирования показателей ее деятельности в будущем. Для того чтобы симуляционная модель была адекватна реальности и возможным изменениям в ней, помимо workflow-модели из логов необходимо также извлечь закономерности, определяющие ход исполнения процесса.

Описываемый в данной статье метод разбивается на 7 основных этапов:

#### 1. Построение моделей процессов по журналам событий.

Журналы событий компании преобразуются к формализованному формату представления журналов событий – MXML [4]. Модели процессов восстанавливаются в форме сетей Петри. Построение производится с использованием одного из известных алгоритмов Process Mining:  $\alpha$ -алгоритма, генетического алгоритма и др. [5], в результате применения которых к логам компании получается множество сетей Петри ее процессов.

#### 2. Формирование сценариев работы организации.

Построенное в п. 1 множество сетей Петри анализируется и строится множество сценариев работы организации. Под сценарием понимается направленный граф, узлами которого являются процессы, а дуги задают отношение следования между ними. На основании полученных сценариев определяется множество иницилируемых средой процессов, т. е. таких, которым не предшествуют другие процессы организации.

#### 3. Формирование множества влияющих факторов.

Множество влияющих факторов содержит в себе переменные, которые могут коррелировать с ходом исполнения процессов компании. Все возможные влияющие факторы разбиты на 3 категории, в соответствии с которыми производится их поиск: ресурсы, история, контекст. Под *ресурсами* понимаются отраженные в логах переменные, на которые конкретный экземпляр процесса может непосредственно влиять. Например, количество персонала определенной специализации является ресурсом. Во множество влияющих факторов для каждого ресурса включаются две величины: абсолютное количество ресурса и отношение текущего количества свободных ресурсов к обнаруженному максимуму этих ресурсов. *История* – это последовательность событий, характеризующая выполнение конкретного процесса, сохраненная в логах. Частью истории становятся события, которые уже произошли к некоторому моменту. Для выделения факторов над историей могут применяться различные виды абстрагирования. В описываемом случае в экспериментах ис-

пользовался только один вид абстрагирования: количество раз наступления события (при отсутствии циклов в процессе данный фактор оценивает сам факт наступления того или иного события). Это число включается во множество влияющих факторов. *Контекст* – это не зависящие от выполнения конкретного процесса величины, существующие в момент его протекания или начала, некоторые из которых могут быть зафиксированы в журналах событий. Согласно определению в контекст могут попадать любые возможные величины, о которых известно, что они происходили в то же время, что и исполняемый процесс, поэтому финальный отбор контекстных переменных должен быть произведен пользователем. Тем не менее, существует возможность автоматизированного определения контекстных переменных в том случае, если они были включены в логи. Например, бизнес-процессы сельскохозяйственных компаний обычно зависят от погоды в местах выращивания сельскохозяйственных культур. Информация о погоде может быть автоматически извлечена, если системы управления бизнес-процессами были настроены с учетом необходимости ее регистрации. В противном случае, имея сведения о территориальной и временной привязках того или иного участка бизнес-процесса, можно узнать параметры погоды и соответственно включить фактор погоды во множество влияющих факторов.

#### 4. Насыщение сценариев работы организации корреляциями.

На основании сценариев работы организации строятся 2 множества: множество событий и множество ситуаций выбора. Под событием понимается единичное событие из лога, а под ситуацией выбора – множество событий, из которых на определенном шаге производится выбор. На рис. 1 каждый прямоугольник является событием, а одна из ситуаций выбора – это, например, пара событий («Базовые рекомендации», «Подробная документация»). Для каждого события из множества событий рассчитывается оценочное время срабатывания как функция от факторов из множества влияющих факторов. Искомая зависимость от факторов ищется одним из методов восстановления регрессии [6], [7]. Для каждой ситуации выбора на основании множества влияющих факторов с использованием методов восстановления регрессии рассчитывается функция, характеризующая оценку вероятности срабатывания того или иного события, входящего в ситуацию выбора.

#### 5. Задание модели запуска инициирующих процессов.

Для каждого процесса из множества инициирующих процессов строится модель его запуска. Модель запуска включает в себя временные характеристики частоты запусков процесса за определенный период в зависимости от контекстных факторов. Модель запуска ищется в виде функции от множества контекстных влияющих факторов (подмножества всего множества влияющих факторов) с помощью методов восстановления регрессии.

#### 6. Определение начального состояния модели симуляции.

На основании логов устанавливаются исходные параметры для симуляции с определенного момента (формируется множество уже запущенных процессов, их история, состояние ресурсов, контекстные параметры).

#### 7. Получение значений предсказываемых индикаторов.

Выполним симуляцию полученной модели организации для заданного периода. Для повышения точности симуляция выполняется несколько раз. По результатам симуляции рассчитываются значения требуемых показателей и результат представляется в виде математического ожидания значения и 95 %-го доверительного интервала.

Для тестирования метода и сравнения его результатов с другими была выбрана синтетическая модель, описываемая далее. Рассмотрим некоторую компанию, которая разрабатывает и поддерживает программные продукты. Активность компании формализована в соответствии с набором таких бизнес-процессов, как «Составление технического задания на программный продукт», «Разработка программного продукта», «Внедрение программного продукта» и др. Одним из таких процессов, взятым за основу для анализа, является процесс «Обработка заявок пользователей». Его workflow-схема представлена на рис. 1.

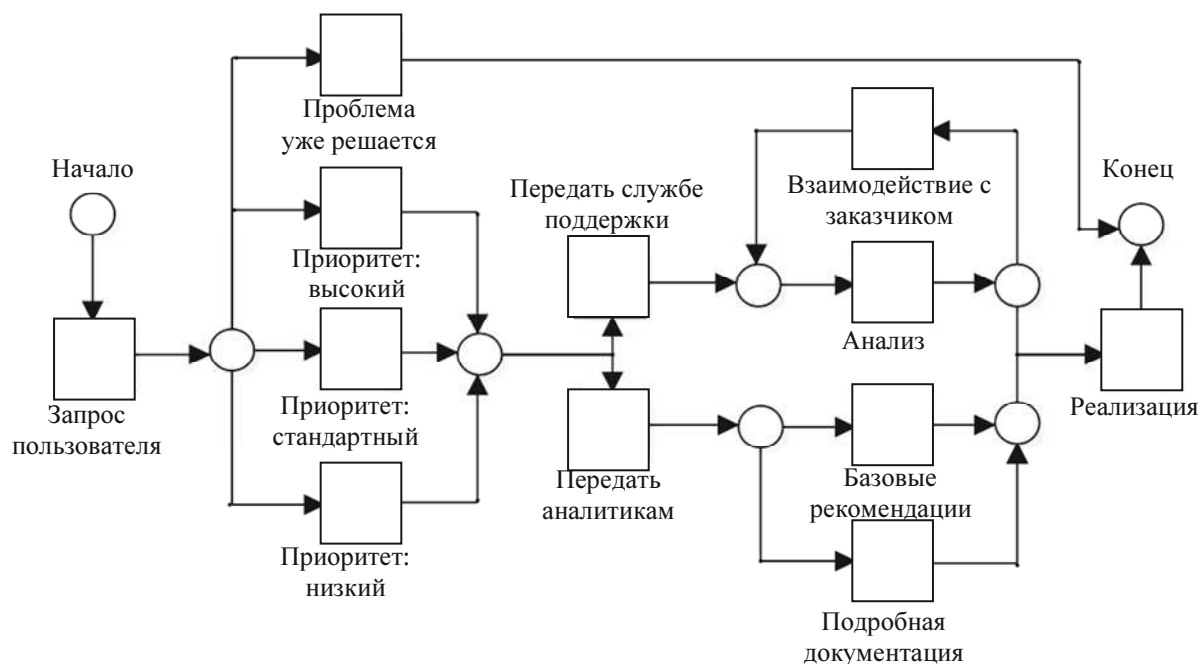


Рис. 1

Менеджеру проекта требуется определить ориентировочную загрузку программистов, занимающихся реализацией (пункт «Реализация» на рис. 1) доработок на следующей неделе, чтобы составить учитывающий это план работы. Под загрузкой понимается среднее число человеко-часов в день для определенной специальности. Для простоты предположим, что менеджеру требуется только загрузка программистов для процесса «Обработка заявок пользователей». В процессе участвуют 3 специальности (группы) пользователей: сотрудники горячей линии, аналитики, программисты. Каждая задача относится к компетенции только одной группы пользователей.

Исходным пунктом эксперимента является симуляция синтетической модели процесса «обработка заявок пользователей» организации, результатом которой является лог-файл. Для эксперимента был сформирован журнал событий, содержащий информацию о деятельности организации за 2 года, который был разделен на две части: рабочую (1 год 11 месяцев и 3 недели) и тестовую (1 неделя). Рабочий журнал был использован для построения модели деятельности организации, тестовый – для сверки рассчитанных значений показателей загрузки программистов. В соответствии с п. 1 описанного ранее алгоритма по логу строится сеть Петри процесса, а согласно п. 2 – множество сценариев работы организации. Поскольку для простоты было решено ограничиться рассмотрением одного процесса организации, то оно состоит из одного сценария, который в свою очередь состоит из одного процесса «Обработка заявок пользователей». Множество влияющих факторов формируется в соответствии с п. 3 и имеет вид, представленный в таблице.



| Тип фактора | Название фактора                                  | Описание                                                                                                                              |
|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Контекст    | Значимость пользователя                           | Контекстный параметр, определяющий важность пользователя для организации                                                              |
|             | Количество дней с момента последнего релиза       | Количество дней, прошедших с момента релиза последней версии                                                                          |
|             | Тип последнего релиза                             | Один из типов: «Существенный релиз», «Небольшой релиз», «Исправление ошибок»                                                          |
| Ресурс      | Степень загрузки аналитиков                       | Исчисляется как отношение текущего свободного числа аналитиков к максимальному числу аналитиков                                       |
|             | Степень загрузки службы поддержки                 | Исчисляется как отношение текущего свободного числа работников службы поддержки к максимальному числу работников службы поддержки     |
|             | Количество свободных аналитиков                   | Текущее количество свободных аналитиков                                                                                               |
|             | Количество свободных сотрудников службы поддержки | Текущее количество свободных сотрудников службы поддержки                                                                             |
| История     | Приоритет задачи                                  | Выставляется в результате назначения приоритета задаче в рамках бизнес-процесса. Выбирается из списка: «Высокий», «Средний», «Низкий» |
|             | Вид документации                                  | Назначается в рамках бизнес-процесса. Выбирается из списка: «Базовые рекомендации», «Подробная документация»                          |
|             | Количество контактов с заказчиком                 | Определяется как число раз, когда происходит событие «Взаимодействие с заказчиком»                                                    |

Для сравнения результатов с использованием разных классов факторов из множества влияющих факторов формируется 3 множества:  $H$  (содержащее только факторы, связанные с историей),  $RC$  (содержащее только факторы, связанные с ресурсами и контекстом) и  $RCH$  (полностью включающее в себя множество влияющих факторов). Для каждого из множеств  $H$ ,  $RC$  и  $RCH$  строятся модели деятельности организации с соответствующими названиями, использующие факторы из соответствующих множеств. Для этих моделей рассчитываются регрессионные функции для времени протекания всех событий и вероятностей выбора в ситуациях выбора. Кроме того, рассчитывается модель организации AVG, которая не использует факторы для построения регрессии, а берет значения для времени и вероятностей как усреднение исходной информации. В качестве метода регрессионного анализа используется параметрическая линейная регрессия многочленами первой степени [6]. На основании контекстных факторов рассчитывается модель запуска иницирующего процесса «обработка заявок пользователей». По логу устанавливаются исходные параметры симуляции: создается множество уже существующих процессов, для каждого из которых задается его текущее состояние, история и список контекстных параметров. Выполняется симуляция для недельного периода, и рассчитываются значения для загрузки программистов. На рис. 2 представлены реальное и рассчитанное в соответствии с экспериментальными моделями значения показателя требуемого количества человеко-часов в день для программистов.

Экспериментальные результаты на синтетической модели показывают, что по сравнению с методами, не использующими в полной мере информацию о ресурсах, истории и контексте, представленный в данной статье метод демонстрирует лучшие результаты. Несмотря на это у него есть некоторые ограничения. Во-первых, поскольку для восстановления сложных регрессионных зависимостей необходимо много информации, исходные журналы событий должны содержать в себе данные за продолжительный период. Во-вторых,

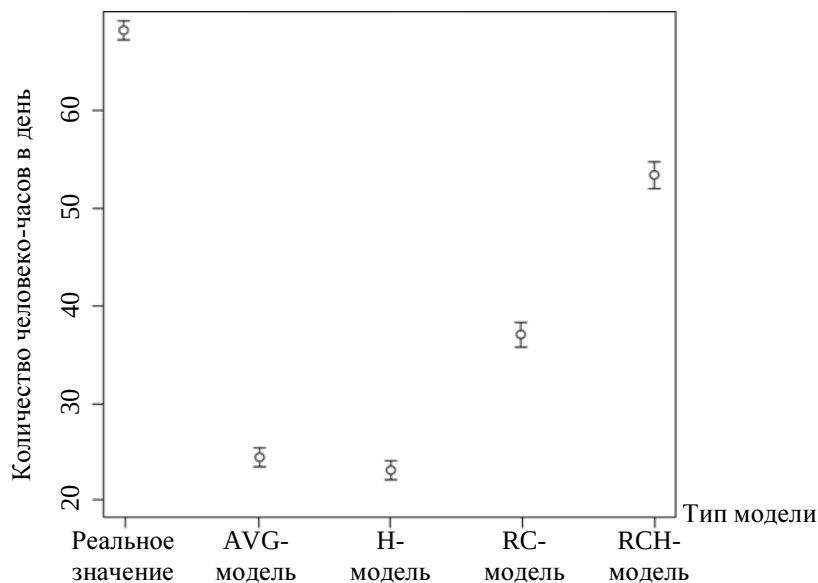


Рис. 2

зависимости элементов моделей от влияющих факторов могут меняться с течением времени, поэтому при прогнозировании на длительный период точность прогноза может существенно снижаться по сравнению с прогнозированием на короткие периоды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Business Trend Analysis by Simulation / M. H. Schonenberg, J. Jian, N. Sidorova, W. M. P. van der Aalst // Advanced Information Systems Engineering, 22nd Intern. conf. CAiSE 2010. Vol. 6051. P. 515–529. Springer, 2010.
2. Reijers H. A., W.M.P. van der Aalst. The Effectiveness of Workflow Management Systems: Predictions and Lessons Learned // Intern. journ. of information management. 2005. 25(5). P. 458–472.
3. Workflow Mining: A Survey of Issues and Approaches / W.M.P. van der Aalst, B.F. van Dongen, J. Herbst et al. // Data and Knowledge Engineering. 2003. 47(2). P. 237–267.
4. B. F. van Dongen. A Meta Model for Process Mining Data // In Proc. of the CAiSE Workshops. 2005. P. 309–320.
5. A. K. A. de Medeiros. Genetic Process Mining // PhD Thesis / Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven. The Netherlands, 2006.
6. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979.
7. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. М.: Мир, 1993.

I. A. Khodyrev, J. S. Tatarinov

#### PREDICTING ORGANISATION'S INDICATORS USING LOG FILES.

*This paper presents method, based on simulation approach, to predict company's indicators. Simulation models are obtained automatically from log files of organization activities, using combination of process and data mining techniques.*

**Process mining, prediction, business process management, simulation, performance analysis**



УДК: 629.5

*В. А. Зуев, А. Е. Пелевин*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КУРСА СУДНА В ЗАДАЧЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

*Рассматриваются вопросы выбора оптимального курса при динамическом позиционировании судна, обеспечивающего наименьшие значения сил исполнительных органов.*

### **Динамическое позиционирование, управление курсом судна**

Материалы, приведенные в статье, получены в рамках выполнения гранта РФФИ 09-08-00884-а.

Современный уровень развития техники и постоянно ужесточающиеся требования по обеспечению безаварийных работ и экологической безопасности при освоении шельфа стимулировали широкое применение на судах систем динамического позиционирования (ДП), которые открыли новые возможности для интенсивного развития морских исследований по освоению шельфа и Мирового океана [1], [2].

Классическая постановка задачи динамического позиционирования – это надежное непрерывное удержание судна относительно опорной позиции: точки с географическими координатами и заданного курсового угла. Для решения этой задачи судно оборудуется специальными органами управления, которые способны сформировать продольную и поперечную силы, а также момент относительно вертикальной оси, т. е. движительно-рулевой комплекс судна должен обеспечить не только удержание судна на точке, но и стабилизацию курсового угла.

Синтез системы управления ДП состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляется синтез обобщенного управления (необходимых сил и момента), компенсирующего отклонения объекта по регулируемым координатам и углу курса, на втором – решается задача распределения полученного обобщенного управления по исполнительным органам [3], [4].

Курсовой угол позиции задается для динамического позиционирования судов, когда разворот корпуса относительно заданного курсового положения ограничен по требованиям использования судна, и задача стабилизации угла курса становится технически необходимой. На тех судах, где допускается круговое вращение корпуса, возникает задача минимизации расходуемой средствами активного управления энергии. В этом случае определяется оптимальное значение курсового угла с точки зрения минимального воздействия на судно внешних сил и судно разворачивается на необходимый угол.

Еще один положительный аспект использования оптимального курса при позиционировании – это уменьшение капитальных затрат на установку мощных активных органов управления при проектировании судна, если оно в соответствии со своим назначением может менять курс в процессе работы, так как только в этом случае можно противостоять достаточно большим внешним возмущениям.

Традиционно силы упоров исполнительных органов для компенсации сил от ветра рассчитываются на основании показаний датчика ветра. Но из-за недостаточно точной компенсации ветровых сил и момента, таких как морское течение и дрейф от волн, а также сил и момента, значения которых не рассчитываются по непосредственным измерениям, судно все равно может перемещаться из заданного местоположения. Система ДП по смещению и развороту судна оценивает эти силы в течение некоторого времени, и только затем определяет с достаточной полнотой значения дополнительных составляющих сил для удерживания судна в точке.

В настоящей работе предлагается критерий для определения оптимального курса при позиционировании судна, прослеживается взаимосвязь сил и момента от ветра, волнения и течения с силами активных органов управления, обеспечивающими компенсацию возмущений, и определяется такое курсовое положение судна, при котором нагрузка на эти органы минимизируется. В дополнение к оптимизационной процедуре предлагается последовательная процедура, позволяющая уточнить значение оптимального курса, если выражения для сил и момента имеют приближенный характер и характеристики течения и волнения известны недостаточно точно. Приводятся результаты моделирования для гидрографического судна при его динамическом позиционировании, показывающие эффективность применения предлагаемого подхода.

**Постановка задачи.** На судно действуют возмущающие силы: аэродинамические – от ветра, гидродинамические – от течения и волнения. Ветер создает низкочастотные возмущающие силы и момент; высокочастотными составляющими пренебрегаем. Волнение создает низкочастотное и высокочастотное возмущающее воздействие. Низкочастотное возмущение представляет собой волновой дрейф. Значения сил и момента волнового дрейфа зависят от высоты волны и направления набега волны. Высокочастотные волновые возмущающие силы обычно не компенсируются управляющими силами судна и далее рассматриваться нами не будут. Течение создает медленно меняющиеся по величине и направлению возмущающие силы и момент гидродинамической природы.

При решении задачи оптимизации курса судна в режиме динамического позиционирования используем модель движения в горизонтальной плоскости, включающую уравнения для продольной и боковой составляющих относительной скорости и угловой скорости рыскания. Так как в этом режиме скорость судна относительно грунта мала, то можно принять угол и скорость кажущегося ветра равным углу и скорости истинного ветра, а относительную скорость движения судна равной скорости течения. Учтем также, что при динамическом позиционировании судно движется с малыми значениями угловой скорости.

Приведем систему уравнений, описывающих установившийся режим позиционирования судна, считая, что течение и возмущения от ветра и волнения мало меняются за рассматриваемый промежуток времени. В связанной системе координат,  $Oxuz$  ось  $Ox$  ориентируется на нос судна, ось  $Oy$  ориентируется перпендикулярно диаметральной плоскости на правый борт судна, ось  $Oz$  лежит в диаметральной плоскости и ориентируется вниз, такие уравнения имеют вид

$$\begin{aligned}-X_H + X_A + X_W &= -X_C; \\ Y_H + Y_A + Y_W &= -Y_C; \\ M_H + M_A + M_W &= -M_C,\end{aligned}$$

где  $X, Y, M$  – силы и моменты, у которых индексы указывают на порождающие причины:  $H$  – от гидродинамики;  $C$  – от средств управления (главные движители, подруливающие устройства, поворотные колонки и др.);  $A$  и  $W$  – силы и моменты ветровых и волновых возмущений. Выражения для сил и момента различной природы, принимаемые при решении настоящей задачи, приведем далее.

*Составляющие гидродинамических сил и момента*, обусловленных течением, с учетом пренебрежения членами, содержащими угловые скорости, представляются в виде

$$\begin{aligned}X_H &= C_{X_H} \frac{\rho v_T^2}{2} \Omega; \\ Y_H &= C_{Y_H} \frac{\rho v_T^2}{2} A_{L\sigma}; \\ M_H &= C_{M_H} \frac{\rho v_T^2}{2} A_{L\sigma} L,\end{aligned}$$

где  $\Omega$  – площадь смоченной поверхности корпуса судна;  $A_{L\sigma}$  – приведенная площадь погруженной части диаметральной плоскости корпуса судна;  $v_T$  – скорость движения судна относительно воды, равная скорости течения;  $\rho$  – плотность воды;  $L$  – длина судна.

Коэффициент сопротивления  $C_X$  при углах дрейфа  $\beta$ , изменяющихся в пределах от 0 до  $\pm 180^\circ$ , определяется выражением [5]

$$C_{X_H} = -0.075 \sin \left\{ \left[ \pi - \arcsin \left( \frac{C_{X_0}}{0.075} \right) \right] (1 - 0.573\beta) \right\},$$

где  $C_{X_0}$  – коэффициент сопротивления при нулевом угле дрейфа;  $\beta$  – угол дрейфа, равный  $\beta = \pi - K_T + K$ ,  $K_T$  – курс течения,  $K$  – курс судна.

Для коэффициента гидродинамической боковой силы  $C_Y$  будем использовать только позиционные составляющие, зависящие от угла дрейфа

$$C_{Y_H} = 0.5 C_Y^\beta \sin 2\beta \cos \beta + c_2 \sin \beta |\sin \beta|,$$

где коэффициенты  $C_Y^\beta$ ,  $c_2$  могут быть рассчитаны по номограммам из [8] в зависимости от параметров формы корпуса (длины, ширины, осадки судна на миделе, коэффициентов общей полноты  $C_B$  и полноты мидель-шпангоута  $\beta_M$ ).

Для коэффициента  $C_{M_H}$  используется формула

$$C_{M_H} = m_1 \sin 2\beta + m_2 \sin \beta,$$

где коэффициенты  $m_i$  также являются функциями параметров формы корпуса.

Для аэродинамических возмущающих сил и моментов, действующих на надводную часть судна при ветре, используем традиционные выражения [12]:

$$X_A = C_{X_A} \frac{\rho_a v_a^2}{2} A_{VB};$$

$$Y_A = C_{Y_A} \frac{\rho_a v_a^2}{2} A_{VL};$$

$$M_A = C_{M_A} \frac{\rho_a v_a^2}{2} A_{VL} L,$$

где  $C_{X_A}, C_{Y_A}, C_{M_A}$  – аэродинамические коэффициенты;  $v_a, \gamma_a$  – скорость и угол набега истинного ветра;  $K$  – курс судна;  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $L$  – длина судна;  $A_{VB}, A_{VL}$  – площади проекции надводной части судна на плоскость мидель-шпангоута и на продольную вертикальную плоскость соответственно.

В расчетах можно использовать аппроксимацию аэродинамических коэффициентов в виде [12]

$$C_{X_A} = 0.7 \cos(\gamma_a - K);$$

$$C_{Y_A} = 1.05 \cos(\gamma_a - K);$$

$$C_{M_A} = C_{Y_A} l_a;$$

$$l_a = 0.25 + x_{ц.п} / L - |\gamma_a - K| / 2\pi,$$

где  $x_{ц.п}$  – абсцисса центра боковой парусности.

*Силы волнового дрейфа на нерегулярном волнении.* Заметное влияние на поведение судна при малых скоростях, характерных для режимов позиционирования, оказывают низкочастотные силы и моменты, возникающие на корпусе судна при воздействии морских волн [12]. В настоящее время общепринятые методики их расчета отсутствуют. Сила может быть оценена по эмпирическим формулам в зависимости от балльности волнения.

Силы и момент волнового дрейфа, действующие на судно в условиях нерегулярного волнения, определяются следующим образом:

$$X_W = 2 \int_0^{\infty} R_x(\omega) S(\omega) d\omega,$$

$$Y_W = 2 \int_0^{\infty} R_y(\omega) S(\omega) d\omega,$$

$$M_W = 2 \int_0^{\infty} R_m(\omega) S(\omega) d\omega,$$

где  $S(\omega)$  – спектр двумерного волнения;  $\omega$  – частота регулярных волн;  $R_x(\omega), R_y(\omega), R_m(\omega)$  – частотные характеристики, определяемые по формулам

$$R_x(\omega) = \frac{\bar{X}_W}{h_{3\%}^2 / 4}, \quad R_y(\omega) = \frac{\bar{Y}_W}{h_{3\%}^2 / 4}, \quad R_m(\omega) = \frac{\bar{M}_W}{h_{3\%}^2 / 4}.$$

где  $\bar{X}_W$ ,  $\bar{Y}_W$ ,  $\bar{M}_W$  – силы и момент волнового дрейфа, действующие на судно в условиях регулярного волнения.

Для вычисления волновых сил на регулярном волнении используем следующие выражения [6]:

$$\bar{X}_W = C_x^W (0.1 - \cos Q_W) \rho g L \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left( 1 + A_1 \frac{v_n}{v_W} \right),$$

$$\bar{Y}_W = C_y^W \sin Q_W \rho g L \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left( 1 + A_1 \frac{v_n}{v_W} \right),$$

$$\bar{M}_W = C_m^W \sin(2Q_W) \rho g L^2 \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left( 1 + A_1 \frac{v_n}{v_W} \right),$$

где  $C_x^W$ ,  $C_y^W$ ,  $C_m^W$  – безразмерные коэффициенты волновых сил и момента;  $L$  – длина судна;  $h_{3\%}$  – высота волны трехпроцентной обеспеченности;  $\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2}$  – длина волны;  $v_n = v \cos(\beta - Q_W)$  – составляющая скорости судна, направленная вдоль направления бега волн ( $v$  – скорость судна, равная скорости течения);  $\beta$  – угол дрейфа;  $Q_W = K_W - K$  – угол встречи с волной ( $K_W$  – направление набега волн);  $v_W = \sqrt{\frac{\lambda g}{2\pi}} = \frac{g}{\omega}$  – скорость бега волн;  $\rho$  – плотность воды;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $A_1$ ,  $A_0$  – коэффициенты.

В качестве спектра морского волнения используем спектр В. Пирсона и Л. Мошковица

$$S(\omega) = A \omega^{-m} e^{-B \omega^{-n}},$$

где  $A = 0.0162 \pi g^2$ ;  $B = -0.112 g^2 / h_{3\%}^2$ ;  $m = 5$ ,  $n = 4$ .

Таким образом, силы и момент волнового дрейфа на нерегулярном волнении могут быть найдены по следующим соотношениям:

$$X_W = 2C_x^W (0.1 - \cos Q_W) \rho g L \cdot 0.0162 \pi g^2 \{I_1 + (A_1 v_n / g) I_2\},$$

$$Y_W = 2C_y^W \sin Q_W \rho g L \cdot 0.0162 \pi g^2 \{I_1 + (A_1 v_n / g) I_2\},$$

$$M_W = 2C_m^W \sin(2Q_W) \rho g L^2 \cdot 0.0162 \pi g^2 \{I_1 + (A_1 v_n / g) I_2\},$$

где  $I_1 = \int_0^\infty \omega^{-5} e^{(-2\pi A_0 g / L) \omega^{-2} - (0.112 g^2 / h_{3\%}^2) \omega^{-4}} d\omega$ ,  $I_2 = \int_0^\infty \omega^{-4} e^{(-2\pi A_0 g / L) \omega^{-2} - (0.112 g^2 / h_{3\%}^2) \omega^{-4}} d\omega$ .

Приближенные значения интегралов  $I_1$ ,  $I_2$  в зависимости от высоты волн представлены в таблице (расчеты проведены для  $A_0 = 3.3$ ,  $L = 37.6$  м).

| $h_{3\%}$ | 0.25   | 0.75   | 1.25   | 2.0    | 3.5    | 6.0    | 8.5    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_1$     | 0.0010 | 0.0051 | 0.0085 | 0.0118 | 0.0147 | 0.0162 | 0.0166 |
| $I_2$     | 0.0048 | 0.0154 | 0.0221 | 0.0277 | 0.0320 | 0.0340 | 0.0346 |

На рис. 1 показана зависимость коэффициентов гидродинамических (а), аэродинамических (б) и волновых (в) сил и момента при различных курсовых углах судна относительно постоянных значений курса течения, равного  $180^\circ$ , угла набега волны и направления надува ветра, равных  $0^\circ$  для гидрографического судна ГС-439. При этом коэффициенты от волновых сил и момента представлялись в виде

$$C_{X_W} = \frac{X_W}{\rho g L h_{3\%}^2}; C_{Y_W} = \frac{Y_W}{\rho g L h_{3\%}^2}; C_{M_W} = \frac{M_W}{\rho g L^2 h_{3\%}^2}.$$

На рис. 1 пунктирная кривая соответствует коэффициенту  $C_{X_i}$  ( $i = H, A, W$ ), штрихпунктирная – коэффициенту  $C_{Y_i}$ , штриховая – коэффициенту  $C_{M_i}$ .

Характер зависимости коэффициентов при силах и моменте от угла курса, указанной на рис. 1, подтверждается данными, приведенными в [7] для судна-прокладчика трубопровода, полученными по результатам специальных экспериментов.

На основании приведенных выражений для сил и момента от возмущений можно при сделанных оценках и измерениях вектора течения, скорости и направления ветра и волнения определить суммарные силы и момент от возмущений. Понятно, что в режиме динамического позиционирования эти силы и момент должны компенсироваться силами, создаваемыми исполнительными органами.

Если критерием для оптимизации курса выбирать взвешенную сумму момента, боковой и продольной сил, то можно получить боковую силу и момент, близкие к нулю, но для реализации такого момента требуются значительные усилия от исполнительных органов. Для оптимизации курса предлагается использовать непосредственно усилия, развиваемые исполнительными органами. Такая оптимизация имеет общий характер, но применение ее возможно для конкретной конфигурации исполнительных органов.

Рассмотрим данный подход применительно к гидрографическому судну ГС-439 (длина – 38 м, ширина – 8 м, осадка – 2.5 м, объемное водоизмещение –  $400 \text{ м}^3$ ), имеющему два движителя в корме (обозначим их упоры вдоль продольной оси  $Ox$ :  $T_1$  – для правого и  $T_2$  – для левого борта, а соответствующие плечи относительно центра масс судна –  $l_T$  и  $-l_T$ ) и подруливающее устройство (ПУ) в носу (его поперечную силу обозначим через  $Y_{ПУ}$ , а плечо относительно центра масс судна  $l_{ПУ}$ ), которые обеспечивают режим динамического позиционирования.

Распределение сил  $X_C$ ,  $Y_C$  и момента  $M_C$  по исполнительным органам выражается в этом случае однозначно из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} X_C &= T_1 + T_2; \\ Y_C &= F_{ПУ}; \\ M_C &= -T_1 l_T + T_2 l_T + Y_{ПУ} l_{ПУ}, \end{aligned} \tag{1}$$

и имеет вид  $T_1 = \frac{1}{2} \left( X_C - \frac{M_C}{l_T} + \frac{Y_C l_{ПУ}}{l_T} \right)$ ;  $T_2 = \frac{1}{2} \left( X_C + \frac{M_C}{l_T} - \frac{Y_C l_{ПУ}}{l_T} \right)$ ;  $Y_{ПУ} = Y_C$ .



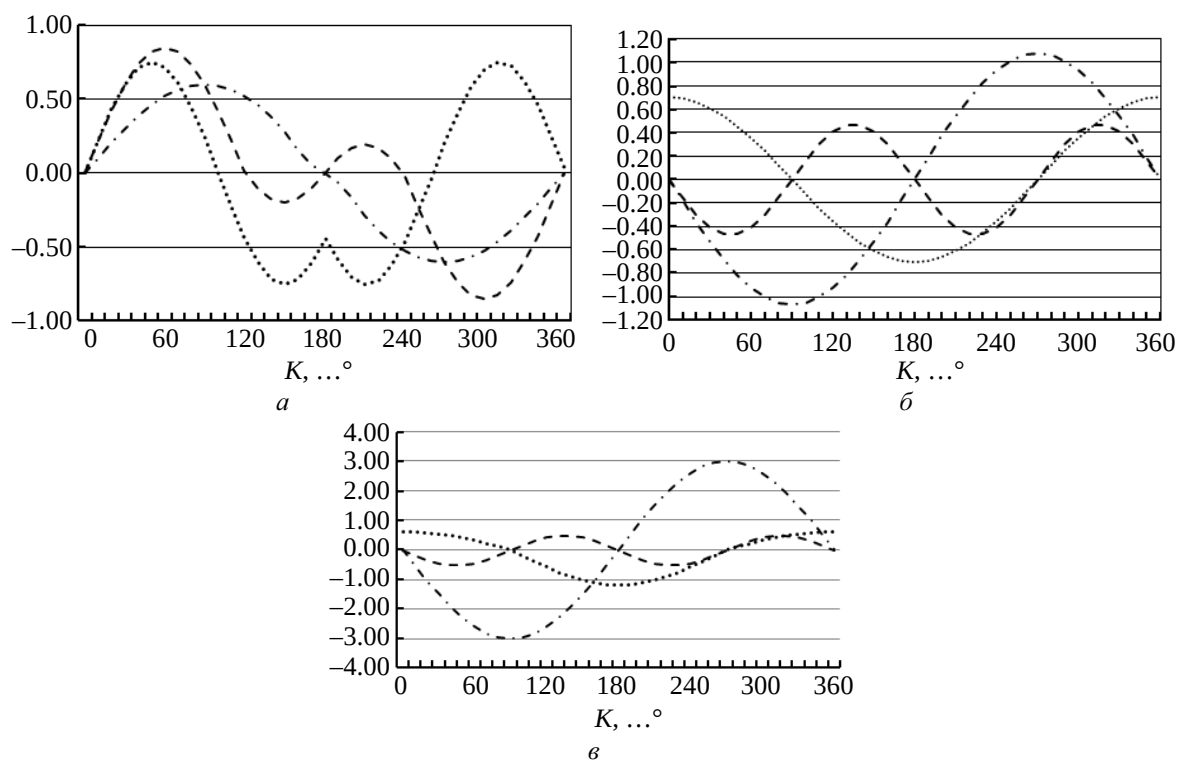


Рис. 1

Примем для определения оптимального курсового угла  $K_{\text{opt}}$ , обеспечивающего минимальный расход топлива при позиционировании, тот  $K$ , который минимизирует следующий критерий:

$$\min_K \left\{ T_1^2 + T_2^2 + \alpha Y_{\text{ПУ}}^2 + \alpha_1 V_a (\gamma_a - K)^2 \right\}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $\alpha_1$  – положительные весовые коэффициенты. Выбор значений весовых коэффициентов определяется разностью стоимости затрат при применении главных движителей и подруливающего устройства в режиме динамического позиционирования, симметричность корпуса судна и установок на нем исполнительных органов, а также выбором курса судна, противостоящего носом действующим возмущениям.

Критерий (2) можно модифицировать, вводя в него не сами значения сил и скоростей, а их значения, приведенные к максимальным возможным:

$$\min_K \left\{ \frac{T_1^2}{T_{\text{шв}}^2} + \frac{T_2^2}{T_{\text{шв}}^2} + \alpha \frac{Y_{\text{ПУ}}^2}{Y_{\text{ПУшв}}^2} + \alpha_1 \frac{v_a}{v_{a.m}} (\gamma_a - K)^2 \right\}, \quad (3)$$

где индекс «шв» у сил соответствует значению тяги на швартовном режиме, а индекс «м» – максимальному допустимому значению соответствующей скорости.

Критерий оптимизации будет иметь аналогичный вид, если вместо главных движителей, имеющих постоянное направление оси вращения винта, будут использованы винторулевые колонки. При этом силы будут зависеть от углов направления вектора тяги колонки, по которым тоже необходимо приводить минимизацию критерия.

В случае, когда имеется избыток средств управления и нет однозначного решения системы (1), можно предложить совместное использование предлагаемого подхода и подхода, изложенного, например, в [3].

**Результаты моделирования.** Моделирование проводилось для гидрографического судна ГС-439, характеристики которого описаны ранее. На рис. 2 приведены силы и момент (сплошная жирная линия на рис. 2, *а*, *б* и *в*), обусловленные возмущениями: ветер 6 м/с с истинным направлением 90°, волнение 3 балла с направлением набега волн 90°, скорость течения 0.5 м/с с курсом 180°. Дополнительно на рис. 2, *а*, *б* и *в* показаны гидродинамические силы и момент от течения и волнения (штрихпунктирная и штриховая линии соответственно) и аэродинамические силы и момент от ветра – пунктир.

На рис. 2, *г* показаны силы главных движителей  $T_1$  (сплошная линия),  $T_2$  (штриховая линия) и подруливающего устройства  $Y_{ПУ}$ , которые должны создаваться на судне для парирования возмущающих сил и момента. И, наконец, приводим на рис. 3 кривую значений критерия, которая показывает, что оптимальное значение курса равно 28°.

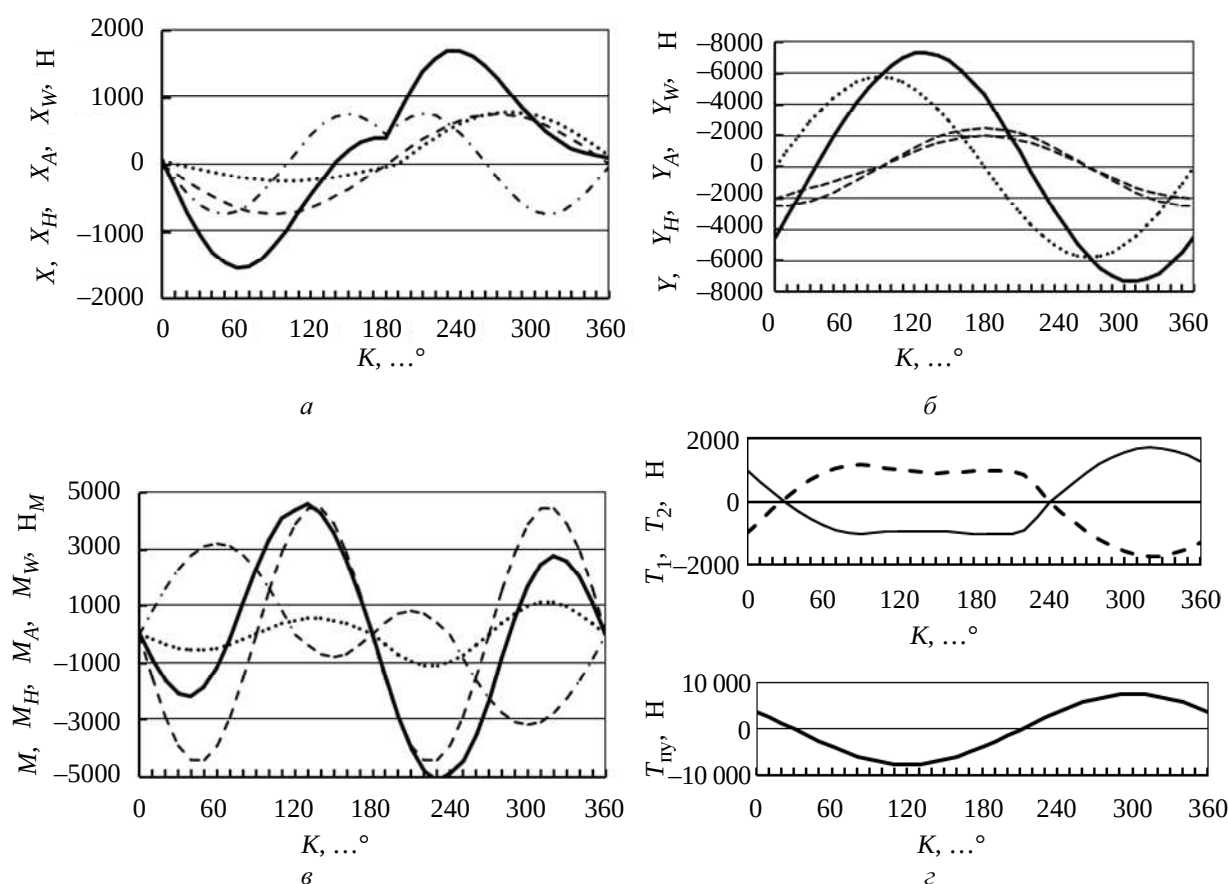


Рис. 2

Если судно имеет небольшое рассогласование по курсу, то можно использовать традиционно применяемый ПИД-регулятор. Переходной процесс с использованием ПИД-регулятора в контуре управления при рассогласовании курса на 10° от оптимального значения курсового угла заканчивается за 40...60 с, при этом изменение координат не превосходит 1...1.5 м.

При моделировании к постоянным значениям сил и момента от ветра добавлялись случайные составляющие, формируемые в виде трех стационарных марковских процессов, а к волновым – высокочастотные составляющие. Модель течения в северном и восточном направлениях принималась в виде двух медленно меняющихся марковских процессов первого порядка.

При использовании предлагаемого подхода необходимо знать позиционные составляющие гидродинамических сил и моментов. Традиционно математическую модель получают на основе теоретических исследований и модельных экспериментов, в которых измеряются гидродинамические реакции на ротативных установках или механизмах планарного движения. Адекватность ее проверяется при натурных экспериментах.

Если же математическая модель не адекватна реальному движению судна, то можно рассчитать по известной модели оптимальное значение курса, потом уточнять его с использованием алгоритма последовательного приближения, а именно: задавать последовательно курсы и проводить расчет значений критерия, используя ПИД-регулятор для отработки вновь задаваемого курса. Таким образом, фиксируя приращения тяги движителей и подруливающего устройства относительно определенных «оптимальных» значений, полученных по приближенной модели воздействия возмущений на судно, и рассчитывая значение критерия, можно определить направление движения к оптимальному значению курса, определяемому уменьшением значения критерия, и остановку этой процедуры при его увеличении. Процесс определения занимает небольшой интервал времени, поскольку отработка рассогласований курса 2–5 длится не более 20...40 с при сохранении точности позиционирования в пределах 1 м.

При использовании подхода необходимо знание параметров возмущений: ветра, волнения и течения, а также позиционных гидродинамических и аэродинамических характеристик судна. В системах ДП, используемых в настоящее время, только скорость и направление ветра непосредственно измеряются высокоточными датчиками, остальные параметры внешних воздействий вычисляются по эмпирическим формулам с использованием математической модели движения судна, которая представляет собой главную основу информационно-командного комплекса системы, или оцениваются с использованием различных фильтров. Направление и величину сил волнового дрейфа можно рассчитать по замерам направления набега волн и высоты волн 3 %-ной обеспеченности [5].

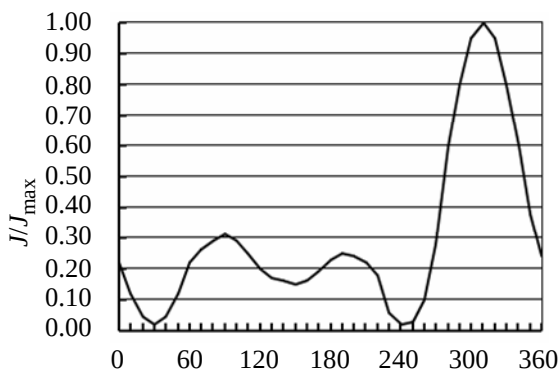


Рис. 3

В заключение можно сказать следующее. В работе рассмотрен подход, позволяющий определить оптимальное значение курса судна при динамическом позиционировании, отличающийся тем, что на основании минимизации предложенного критерия определяется такое курсовое положение судна, при котором для компенсации возмущений необходимо создать наименьшие значения сил исполнительных органов. В случае плохого знания модели и оценок возмущений предложена последовательная процедура поиска оптимального значения курса на основе анализа динамики изменения критерия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fossen T. I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1994.
2. Лукомский Ю. А., Пешехонов В. Г., Скороходов Д. А. Навигация и управление движением судов: Учебник. СПб.: Элмор, 2002.

3. Распределение ресурсов управления при пространственной стабилизации подвижных объектов / С. К. Воловодов, М. Г. Черняев, А. Ю. Каверинский, С. С. Воловодов // Гироскопия и навигация. 2003. № 1 (40).
4. Liang C. C., Cheng W. H. The optimum control of thruster system for dynamically positioned vessels // Ocean Engineering, 2004. № 31.
5. Справочник по теории корабля. Т. 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / Под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985.
6. Юрканский А. В. Исследование управляемости судов в условиях ветра и волнения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006.
7. Tannuri E. A., Pesce C. P. Comparing two different control algorithms applied to dynamic positioning of a pipeline launching barge // Proc. of the 10th Mediterranean Conf. on Control and Automation – MED2002 Lisbon, Portugal, July 9–12, 2002.
8. Лубковский К. В. Определение ветро-волновых потерь скорости судов смешанного плавания с измерением параметров волнения ортогонально-линеечным волномером: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2009.

V. A. Zuev, A. E. Pelevin

#### *OPTIMIZATION OF THE SHIP HEADING AS A PROBLEM OF DYNAMIC POSITIONING*

*Questions of the optimal course estimate for dynamically positioned vessels are examined.*

#### **Dynamic positioning vessels, design of optimum thruster system control**



УДК 681.621

*В. В. Федоров*

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ОБЪЕМНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ – ИСТОЧНИКИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

*Посвящается дальнейшему развитию единой теории поля, основанной на уравнениях Максвелла. Рассматриваются особенности гравитационных волн инертных масс электромагнитного поля. Источниками гравитационных волн служат электромагнитные объемные резонаторы. Гравитационное поле внутри объемных резонаторов определяется из подобных уравнений Максвелла для гравитационного взаимодействия.*

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

Электромагнитное поле, являясь одним из видов материи, характеризуется энергией  $W$  и инертной массой  $m$ , которые связаны с величиной скорости света соотношением  $m = W/c^2$  (формулой А. Эйнштейна).

Существование инертной массы экспериментально доказал в 1899 г. выдающийся русский физик П. Н. Лебедев, который измерил давление света.

В гравитации масса – это гравитационный заряд, инертная масса электромагнитного поля тоже является гравитационным зарядом, образующим гравитационное поле.

Теория гравитационного поля зарядов, эквивалентных инертным массам электромагнитного поля [1], основана на законах инерции, всемирного тяготения, сохранения импульсов, моментов, массы и их уравнениях механики сплошной среды [2].

Законы и уравнения механики подобны законам и уравнениям электродинамики.

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

Кроме напряженности электрического поля движущиеся или изменяющиеся во времени электрические заряды создают вокруг себя магнитное поле. Так, при движении или изменении во времени масс вокруг них образуется импульсное гравитационное поле  $H_{гр}$ .

Величина вектора напряженности импульсного гравитационного поля определяет значение импульса, действующего на единицу поверхности  $1 м^2$ .

Импульсное поле  $\mathbf{H}_{\text{гр}}$  совместно с полем ускорений  $\mathbf{E}_{\text{гр}}$  образуют единое гравитационное поле. Связь между импульсным полем и полем ускорений, исходя из аналогии гравитационных и электромагнитных полей, единства природы и ее закономерностей, определяется из уравнений, аналогичных уравнениям Максвелла

$$\text{I. } \text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} = \gamma_{\text{гр}} \mathbf{E}_{\text{гр}} + \frac{d\mathbf{D}_{\text{гр}}}{dt} - \rho_{\text{гр}} \mathbf{v}; \quad \text{II. } \text{rot } \mathbf{E}_{\text{гр}} = -\frac{d\mathbf{B}_{\text{гр}}}{dt};$$

$$\text{III. } \text{div } \mathbf{D}_{\text{гр}} = -\rho_{\text{гр}}; \quad \text{IV. } \text{div } \mathbf{B}_{\text{гр}} = 0,$$

и уравнений связи или вещественных уравнений:  $\mathbf{D}_{\text{гр}} = \varepsilon_{\text{гр}} \mathbf{E}_{\text{гр}}$ ,  $\mathbf{B}_{\text{гр}} = \mu_{\text{гр}} \mathbf{H}_{\text{гр}}$ ,  $\mathbf{J}_{\text{гр}} = \gamma_{\text{гр}} \mathbf{E}_{\text{гр}}$ , где  $\mathbf{D}_{\text{гр}}$ ,  $\mathbf{B}_{\text{гр}}$  – векторы индукции;  $\varepsilon_{\text{гр}}$ ,  $\mu_{\text{гр}}$  – проницаемости поля ускорений и импульсного поля;  $\gamma_{\text{гр}}$  – удельная гравитационная проводимость. Для эфира, исходя из равенства скоростей электромагнитных и гравитационных волн в нем и величины постоянной тяготения Кавендиша, гравитационные проницаемости равны:

$$\varepsilon_{\text{гр}} = 1.19 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^3, \quad \mu_{\text{гр}} = 9.35 \cdot 10^{-27} \text{ м/кг}.$$

Вместо понятия гравитации как поля тяготения с введением гравитационных токов проводимости, смещения и конвекции, а также импульсного гравитационного поля фактически появилось новое понятие гравитации, включающее в себя как статическое поле (поле тяготения), так и динамические гравитационные поля.

Из закона сохранения массы гравитационный ток по аналогии с электрическим током определяется как количество инертной массы, выходящей за некоторый промежуток времени через замкнутую поверхность  $S$ , ограничивающую объем  $V$ , равное величине уменьшения находящейся в объеме массы тела за тот же промежуток времени:

$$I_{\text{гр}} = -\frac{\partial m}{\partial t} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial W}{\partial t} = \int_S \mathbf{J}_{\text{гр}} d\mathbf{S},$$

где  $\mathbf{J}_{\text{гр}}$  – плотность гравитационного тока.

Производная энергии по времени представляет мгновенную мощность электромагнитного поля  $\frac{\partial W}{\partial t} = P = \int_S \mathbf{\Pi}_{\text{эл}} d\mathbf{S}$ , равную потоку удельной мощности через поверхность.

С учетом этого удельная плотность гравитационного тока определяется отношением удельной мощности электромагнитного поля к квадрату скорости света  $\mathbf{j}_{\text{гр}}(t) = \mathbf{\Pi}_{\text{эл}} / c^2$ .

Гравитационные токи инертных масс создают гравитационные поля.

Гравитационные волны являются поперечными, как и инертная масса электромагнитного поля, и распространяются в эфире со скоростью света. По сравнению с электромагнитными волнами гравитационные волны оказывают слабое воздействие на массы свободных электронов провода, обладают малым коэффициентом затухания.

Поперечные гравитационные волны возникают в окружающей среде и оказывают на нее продолжительное воздействие. Так, например, при движении масс в воздухе под действием внешнего постоянного импульсного поля Земли возникают поперечные гравита-

ционные волны, подобные известным [1] в электродинамике магнитогидродинамическим волнам, распространяющимся с малым коэффициентом затухания в жидкой проводящей среде, находящейся в однородном постоянном магнитном поле.

При движении мельчайших частиц со скоростью  $\mathbf{v}$  в импульсном гравитационном поле Земли с индукцией  $\mathbf{B}_{\text{гр}0}$  в ней возникают по аналогичному для гравитации закону Ампера объемные удельные силы  $\mathbf{f}_a = \rho_{\text{гр}}[\mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0}]$ . Они образуют вихревое поле ускорений  $\mathbf{E}_{\text{гр}} = \mathbf{f}_a \rho_{\text{гр}}^{-1} = [\mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0}]$  и токи с плотностью  $\mathbf{j}_{\text{гр}}$ . При взаимодействии токов  $\mathbf{j}_{\text{гр}}$  с постоянным полем  $\mathbf{B}_{\text{гр}0}$ , согласно законам Ньютона и Ампера, возникают силы  $\mathbf{f}_a = \rho_{\text{гр}} d\mathbf{v}/dt = [\mathbf{j}_{\text{гр}} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0}]$ .

Вокруг гравитационных токов  $\mathbf{j}_{\text{гр}}$  на основании I уравнения Максвелла возникают вихри импульсного гравитационного поля  $\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} = \mathbf{j}_{\text{гр}}$ .

На основании II уравнения Максвелла переменное во времени импульсное гравитационное поле образует вихри поля ускорений  $\text{rot } \mathbf{E}_{\text{гр}} = \text{rot } [\mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0}] = -d\mathbf{B}_{\text{гр}}/dt$ .

После дифференцирования этого равенства по времени  $\text{rot } \left[ \frac{d}{dt} \mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0} \right] = -\frac{d^2 \mathbf{B}_{\text{гр}}}{dt^2}$  и подстановки вместо производной по времени от скорости ее значения, определенного через удельные силы Ампера, находим

$$\text{rot } \left[ \frac{1}{\rho_{\text{гр}}} [\mathbf{j}_{\text{гр}} \times \mathbf{B}_{\text{гр}0}] \times \mathbf{B}_{\text{гр}0} \right] = -\frac{d^2 \mathbf{B}_{\text{гр}}}{dt^2}. \quad (1)$$

Плотность гравитационного тока выразим через создаваемый им вихрь импульсного поля

$$\text{rot } \left[ [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] \times \mathbf{e}_0 \right] = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 \mathbf{H}_{\text{гр}}}{dt^2},$$

где  $\mathbf{e}_0$  – единичный вектор, направленный по вектору  $\mathbf{H}_{\text{гр}0}$ .

Раскроем левую часть последнего равенства:

$$\begin{aligned} \text{rot } \left[ [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] \times \mathbf{e}_0 \right] &= (\mathbf{e}_0 \nabla) [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] - ([\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] \nabla) \mathbf{e}_0 + \\ &+ [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] \text{div } \mathbf{e}_0 - \mathbf{e}_0 \text{div } [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0]. \end{aligned}$$

Второе и третье слагаемые в правой части тождества можно отбросить, так как производные от вектора  $\mathbf{e}_0$  равны нулю, а последнее слагаемое упростить:

$$\text{div } [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] = \mathbf{e}_0 \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} - \text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \cdot \text{rot } \mathbf{e}_0 = \mathbf{e}_0 \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}},$$

принимая во внимание, что ротор от вектора  $\mathbf{e}_0$  равен нулю.

В результате равенство (1) принимает вид векторного волнового уравнения:

$$(\mathbf{e}_0 \nabla) [\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_0] - (\mathbf{e}_0 \cdot \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}}) \mathbf{e}_0 = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 \mathbf{H}_{\text{гр}}}{dt^2}.$$

Так, в декартовой системе координат при направлении вектора внешнего постоянного импульсного гравитационного поля вдоль оси  $x$  получаем векторное волновое уравнение вида

$$(\mathbf{e}_x \nabla)[\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_x] - (\mathbf{e}_x \cdot \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}}) \mathbf{e}_x = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 \mathbf{H}_{\text{гр}}}{dt^2}.$$

Раскрывая векторное произведение  $[\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} \times \mathbf{e}_x]$ , находим

$$(\mathbf{e}_x \nabla)[- \text{rot}_y \mathbf{H}_{\text{гр}} \mathbf{e}_z + \text{rot}_z \mathbf{H}_{\text{гр}} \mathbf{e}_y] - (\mathbf{e}_x \cdot \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}}) \mathbf{e}_x = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 \mathbf{H}_{\text{гр}}}{dt^2}.$$

Векторное волновое уравнение в декартовой системе координат разлагаем на три скалярные волновые уравнения. В результате получаем, что проекции вектора  $\mathbf{H}_{\text{гр}}$  импульсного поля удовлетворяют следующим волновым уравнениям:

$$\begin{aligned} (\mathbf{e}_x \cdot \text{rot rot } \mathbf{H}_{\text{гр}}) \mathbf{e}_x &= -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{x \text{ гр}}}{dt^2}, \quad (\mathbf{e}_x \cdot \nabla^2 \mathbf{H}_{\text{гр}}) = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{x \text{ гр}}}{dt^2}, \\ \frac{d}{dx} \text{rot}_z \mathbf{H}_{\text{гр}} &= -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{y \text{ гр}}}{dt^2}, \quad \frac{d^2}{dx^2} H_{y \text{ гр}} - \frac{d^2}{dx dy} H_{x \text{ гр}} = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{y \text{ гр}}}{dt^2}, \\ \frac{d}{dx} \text{rot}_y \mathbf{H}_{\text{гр}} &= \frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{z \text{ гр}}}{dt^2}, \quad \frac{d^2}{dx^2} H_{z \text{ гр}} - \frac{d^2}{dx dz} H_{x \text{ гр}} = -\frac{\mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}}{B_{\text{гр}0}^2} \frac{d^2 H_{z \text{ гр}}}{dt^2}. \end{aligned}$$

Итак, переменное движение мельчайших частиц со скоростью  $\mathbf{v}$  или, что эквивалентно гравитационной волне, в импульсном поле Земли описывается уравнением Гельмгольца с волновым числом  $k = i\omega \frac{\sqrt{\rho_{\text{гр}} \mu_{\text{гр}}}}{B_{\text{гр}0}}$ , определяющим усиление поля волны за счет энергии Земли в процессе ее распространения вдоль векторных линий импульсного поля. Импульсное поле Земли изменяет параметры воздуха.

Под действием импульсного поля гравитационной волны возможно возникновение неоднородности воздуха за счет поляризации молекул, входящих в его состав. Каждая молекула обладает магнитным  $\mathbf{M}$  и импульсным  $\mathbf{N}$  моментами. Они связаны между собой магнитомеханическим отношением  $\mathbf{M} = \gamma \mathbf{N}$ . Импульсное поле гравитационной волны, воздействуя на гравитационные диполи молекул, поворачивает их до совпадения вектора напряженности импульсного поля с вектором импульсного момента эквивалентного диполя. Молекулы выстраиваются по направлению вектора напряженности импульсного поля гравитационной волны. Магнитный и импульсный моменты на молекулярном и спиновом уровнях возникают одновременно и совпадают по направлению. Происходит импульсная поляризация воздуха.

Под действием гравитационной волны кроме импульсной поляризации воздуха возможна его ионизация за счет ускорения электронов полем ускорений, взаимодействия внешнего импульсного поля и фиктивных гравитационных индуцированных зарядов элементарных частиц и силы, возникающей при изменении во времени напряженности импульсного гравитационного поля.



Ионизация воздуха происходит за счет ускорения электронов полем ускорений  $E_{гр}$ . Поле ускорений возникает в результате изменения во времени потока индукции импульсного поля, проходящего через поверхность круговой электронной орбиты атома. Так, напряженность поля ускорений на основании II уравнения Максвелла равна  $E_{ф гр} = -\mu_{гр} r_0 \frac{1}{2} \frac{dH_{з гр}}{dt}$  в цилиндрической системе координат. Дополнительное ускорение приводит к увеличению линейной скорости вращения электрона, а следовательно, и его кинетической энергии. Так при воздействии нескольких гравитационных импульсов, ускоряющих электрон в одном направлении, его дополнительная энергия может превзойти электрический потенциал ионизации молекулы.

В другом случае ионизация воздуха происходит за счет взаимодействия внешнего импульсного поля и фиктивных гравитационных индуцированных зарядов его элементарных частиц. Электронные нейтрино, электроны, протоны (нейтроны) и молекулы обладают индуцированными гравитационными зарядами. Во внешнем импульсном поле на индуцированный гравитационный заряд действует сила, равная произведению заряда на напряженность поля. Вращение электрона внутри нуклонов и атомов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях эквивалентно трем взаимно перпендикулярным диполям с положительными и отрицательными индуцированными зарядами. В результате действия внешнего импульсного поля эквивалентные диполи приобретают моменты сил, разворачивающие их по направлению вектора напряженности внешнего поля, что приводит к изменению траектории вращения электрона. При оболочечном строении нуклонов и молекул изменение траектории вращения электронов (позитронов) нарушает равновесие центробежных и центростремительных сил внутри этих частиц. В результате происходит изменение сферического строения атома. Сфера превращается в сплюснутый сфероид. Молекулы распадаются на атомы. В пространстве появляются свободные электроны и ионы. Воздух «поляризуется», так как сфероиды разворачиваются вдоль векторных линии импульсного гравитационного поля. Плоскости орбит электронов и нуклонов становятся параллельными. Электроны и протоны образуют параллельные витки.

В третьем случае ионизация воздуха происходит за счет силы, возникающей при изменении во времени напряженности импульсного гравитационного поля. Эта сила равна  $F = S \frac{dH_{гр}}{dt}$ . Под ее действием орбита электрона смещается по направлению силы. Так, в течение одной половины периода импульса гравитационного поля электрон может приобрести дополнительную кинетическую энергию  $W_{кин} = \frac{m_э V_э^2}{2} = \frac{2S^2 H_{м гр}^2}{m_э}$ . Если дополнительная энергия будет больше энергии ионизации молекулы  $W_{кин} \geq U_{ион}$ , электрон покинет атом. Следовательно, ионизация воздуха возможна при условии

$$H_{м гр} \geq \frac{1}{2S} \sqrt{2U_{ион} m_э} = 3.4 \cdot 10^{-5} \sqrt{U_{ион}},$$

где  $U_{ион}$  выражается в единицах электрон-вольт.

Во всех рассмотренных случаях ионизация воздуха – процесс, требующий относительно длительного однонаправленного воздействия гравитационного поля на молекулы. При гармоническом изменении поля электрон в первую половину периода ускоряется, а во вторую половину периода замедляется. В результате электрон остается в молекуле.

При распространении в воздухе поперечных гравитационных волн в нем изменяются объемные удельные силы. В сферической системе координат при ориентации элементарного гравитационного осциллятора вдоль оси  $z$  вектор напряженности поля ускорений, по аналогии с электрическим осциллятором, может быть определен [3] как

$$\dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} = i\omega \sin \vartheta \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} \mathbf{e}_\vartheta + \frac{1+ikr}{i\omega \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} \mu_{\text{гр}} r^2} (2\cos \vartheta \mathbf{e}_r + \sin \vartheta \mathbf{e}_\vartheta) \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}},$$

где векторный гравитационный потенциал  $\dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} = \dot{\mathbf{P}}_{\text{гр}} \frac{1}{4\pi r} \exp(-ikr)$ .

Плотность гравитационного тока смещения в воздухе определим в виде производной

$$\mathbf{j}_{\text{гр}} = \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} \frac{\partial \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}}}{\partial t} = -\omega^2 \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} \sin \vartheta \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} \mathbf{e}_\vartheta + \frac{1+ikr}{\mu_{\text{гр}} r^2} (2\cos \vartheta \mathbf{e}_r + \sin \vartheta \mathbf{e}_\vartheta) \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} = \frac{\dot{\mathbf{P}}_{\text{эл}}}{c^2}$$

и из полученного равенства для эквивалентного удельного потока мощности электромагнитного поля находим:

$$\dot{\mathbf{P}}_{\text{эл}} = c^2 \left[ -\omega^2 \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} \sin \vartheta \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} \mathbf{e}_\vartheta + \frac{1+ikr}{\mu_{\text{гр}} r^2} (2\cos \vartheta \mathbf{e}_r + \sin \vartheta \mathbf{e}_\vartheta) \dot{\mathbf{A}}_{\text{гр}} \right].$$

$$\text{Среднее значение вектора } \Pi_{\text{эл ср}} = 0.637 \left[ \left( \text{Re}^2 \dot{\mathbf{P}}_\vartheta + \text{Im}^2 \dot{\mathbf{P}}_\vartheta \right)^{1/2} + \left( \text{Re}^2 \dot{\mathbf{P}}_r + \text{Im}^2 \dot{\mathbf{P}}_r \right)^{1/2} \right]$$

равно сумме средних значений составляющих вектора по отдельным координатам.

Средняя удельная поверхностная плотность потока электромагнитной мощности [1] равна произведению удельной объемной энергии электромагнитного поля на фазовую скорость волны. Поэтому, получаем для удельной объемной энергии

$$w = \Pi_{\text{эл ср}} \frac{1}{v} = \frac{0.637c^2}{4\pi v \mu_{\text{гр}} r^3} \left\{ \sin \vartheta \left[ (1-k^2 r^2)^2 + k^2 r^2 \right]^{1/2} + 2\cos \vartheta (1+k^2 r^2)^{1/2} \right\} P_{\text{гр}},$$

а для составляющих удельной объемной силы –

$$f_r = \frac{\partial w}{\partial r} = -\frac{0.637c^2}{4\pi v \mu_{\text{гр}} r^4} \left\{ \sin \vartheta \frac{3-2k^2 r^2 + k^4 r^4}{\sqrt{1-k^2 r^2 + k^4 r^4}} + 2\cos \vartheta \frac{3+2k^2 r^2}{\sqrt{1+k^2 r^2}} \right\} P_{\text{гр}};$$

$$f_\vartheta = \frac{\partial w}{r \partial \vartheta} = \frac{0.637c^2}{4\pi v \mu_{\text{гр}} r^4} \left\{ \cos \vartheta \left[ (1-k^2 r^2)^2 + k^2 r^2 \right]^{1/2} - 2\sin \vartheta (1+k^2 r^2)^{1/2} \right\} P_{\text{гр}}.$$

Возникающие при распространении гравитационных волн в атмосфере объемные силы  $f_r, f_\vartheta$  влияют на давление воздуха.

Внешнее гравитационное поле в окружающем пространстве может быть создано разными источниками. В [4] показано, что гравитационное поле однопроводной линии подобно электромагнитному полю электрического провода. Оно образуется в выходном трансформаторе источника питания. Воздействие в виде гармонического электрического тока  $i_{\text{эл}}(t) = I_{\text{эл м}} \cos(\omega t)$  в первичной обмотке трансформатора создает магнитный поток, образующий вихревое электрическое поле  $E_{\varphi \text{ эл}} = 0.5 \mu_{\text{эл}} \omega r H_{z \text{ эл м}} \sin(\omega t)$  внутри трансформатора.

Магнитный поток и вихревое электрическое поле образуют радиальный, пульсирующий с удвоенной частотой, поток реактивной мощности с удельной поверхностной плотностью  $\Pi_{гэл} = 0,25\mu_{эл} \omega r H_{zэлm}^2 \sin(2\omega t)$ , эквивалентный плотности гравитационного тока  $j_{гр}(t) = \Pi_{элm} \sin(2\omega t)/c^2$ .

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

$$H_{zэл}(t) = j_{грm} \frac{1}{2\omega\sqrt{\epsilon_{гр}\mu_{гр}}} \sin(2\omega t + \pi/2).$$

Поток импульсного поля, на основании II уравнения Максвелла, образует вихревое поле ускорений напряженностью

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

Вихревое поле ускорений создает во вторичной обмотке трансформатора гравитационное напряжение  $U_{гр}(t) = j_{грm} \frac{\mu_{гр} W_{12}}{\sqrt{\epsilon_{гр}\mu_{гр}}} \frac{\pi r_0^2}{3} \sin 2\omega t$ .

Под действием напряжения  $U_{гр}(t)$  в соединяющем с истоком проводе с входной проводимостью  $Y_{гр}(\omega)$  возникает однополярный гравитационный ток

$$i_{гр} = \frac{1}{\pi} U_{грm} \left\{ Y_{грm}(0) + \sum_{k=1}^{\infty} Y_{гр}(2k\omega) \frac{2\cos(0.5\pi k)}{1-k^2} \cos[2k\omega t - 0.5\pi k + \arg Y_{гр}(2k\omega)] \right\}.$$

По однопроводной линии распространяется спектр поперечных гравитационных волн удвоенной частоты.

В трансформаторе плотность гравитационного тока возникает в результате радиальной пульсации с удвоенной частотой потока удельной реактивной мощности. Подобный процесс происходит и в прямоугольном объемном резонаторе [1].

Рассмотрим электромагнитное поле в прямоугольном объемном резонаторе [1]. При возбуждении сторонними токами в нем возникает режим стоячих волн. Простейшими типами колебаний при этом (рис. 1) являются колебания типов  $H_{101}$ ,  $H_{011}$ ,  $E_{110}$ .

Так, для колебаний типа  $H_{101}$  электромагнитное поле равно

$$\begin{aligned} H_{zэл} &= -A \sin\left(\frac{\pi}{d} z\right) \cos\left(\frac{\pi}{a} y\right) \sin(\omega t); \\ H_{yэл} &= A \frac{k_z}{k^2 - k_z^2} \frac{\pi}{a} \cos\left(\frac{\pi}{d} z\right) \sin\left(\frac{\pi}{a} y\right) \sin(\omega t); \\ E_{xэл} &= -A \frac{\omega\mu_{эл}}{k^2 - k_z^2} \frac{\pi}{a} \sin\left(\frac{\pi}{d} z\right) \sin\left(\frac{\pi}{a} y\right) \cos(\omega t). \end{aligned}$$

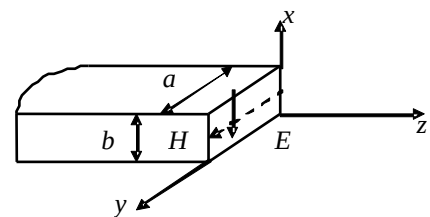


Рис. 1

Вектор Пойнтинга в  $H_{101}$ , представляющий поток удельной мощности электромагнитного поля, лежит в плоскости  $yz$  и имеет две составляющие  $\Pi_y(t)$  и  $\Pi_z(t)$ :

$$\mathbf{\Pi}_{\text{эл}}(t) = [\mathbf{E}_{\text{эл}} \times \mathbf{H}_{\text{эл}}] = \Pi_y(t)\mathbf{e}_y + \Pi_z(t)\mathbf{e}_z,$$

где

$$\begin{aligned}\Pi_z(t) &= -A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{\pi^2}{4a^2} \sin\left(\frac{2\pi}{d}z\right) \sin^2\left(\frac{\pi}{a}y\right) \sin(2\omega t), \\ \Pi_y(t) &= A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}}{k^2 - k_z^2} \frac{\pi}{4a} \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right) \sin^2\left(\frac{\pi}{d}z\right) \sin(2\omega t).\end{aligned}$$

Составляющие  $\Pi_y(t)$  и  $\Pi_z(t)$  мгновенного значения потока удельной электромагнитной мощности внутри объемного резонатора изменяются по гармоническому закону с удвоенной частотой. В течение периода вектор Пойнтинга в объемном резонаторе четыре раза меняет направление движения потока на противоположное, что отличает его от однонаправленного движения потока удельной мощности в согласованных с нагрузкой направляющих системах.

С учетом  $J_{y\text{ гр}} = \Pi_y/c^2$ ,  $J_{z\text{ гр}} = \Pi_z/c^2$  из I уравнения Максвелла гравитационного поля находим:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial H_{x\text{ гр}}}{\partial z} - \frac{\partial H_{z\text{ гр}}}{\partial x}\right)\bar{e}_y &= (\Pi_y/c^2)\bar{e}_y = A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}}{k^2 - k_z^2} \frac{\pi}{4ac^2} \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right) \sin^2\left(\frac{\pi}{d}z\right) \sin(2\omega t\bar{e}_y); \\ \left(\frac{\partial H_{y\text{ гр}}}{\partial x} - \frac{\partial H_{x\text{ гр}}}{\partial y}\right)\bar{e}_z &= (\Pi_z/c^2)\bar{e}_z = -A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{\pi^2}{4a^2c^2} \sin\left(\frac{2\pi}{d}z\right) \sin^2\left(\frac{\pi}{a}y\right) \sin(2\omega t\bar{e}_z); \\ \left(\frac{\partial H_{z\text{ гр}}}{\partial y} - \frac{\partial H_{y\text{ гр}}}{\partial z}\right)\bar{e}_x &= 0;\end{aligned}$$

Принимая все  $\frac{\partial}{\partial x} = 0$ , для составляющих вектора напряженности импульсного поля после интегрирования по  $z$  и по  $y$  получаем:  
от  $J_y\bar{e}_y$

$$H_{x\text{ гр}} = A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}}{k^2 - k_z^2} \frac{\pi}{4ac^2} \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right) \left(\frac{z}{2} - \frac{d}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{d}z\right)\right) \sin(2\omega t);$$

от  $J_z\bar{e}_z$

$$H_{y\text{ гр}} = A^2 \frac{\omega\mu_{\text{эл}}k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{\pi^2}{4a^2c^2} \sin\left(\frac{2\pi}{d}z\right) \left(\frac{y}{2} - \frac{a}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right)\right) \sin(2\omega t).$$

Из II уравнения Максвелла гравитационного поля для составляющих вектора напряженности вихревого поля ускорений находим:

от  $J_y\bar{e}_y$  –

$$\left(\frac{\partial E_{z\text{ гр}}}{\partial y} - \frac{\partial E_{y\text{ гр}}}{\partial z}\right) = -A^2 \frac{\omega^2\mu_{\text{эл}}\mu_{\text{гр}}}{k^2 - k_z^2} \frac{2\pi}{4ac^2} \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right) \left(\frac{z}{2} - \frac{d}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{d}z\right)\right) \cos(2\omega t);$$

$$E_{y\text{rp}} = -A^2 \frac{\omega^2 \mu_{\text{эл}} \mu_{\text{rp}}}{k^2 - k_z^2} \frac{2\pi}{4ac^2} \sin\left(\frac{2\pi}{a} y\right) \left(\frac{z^2}{4} + \frac{d^2}{8\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{d} z\right)\right) \cos(2\omega t); E_{z\text{rp}} = 0;$$

от  $J_z \bar{e}_z$  –

$$\left(\frac{\partial E_{z\text{rp}}}{\partial y} - \frac{\partial E_{y\text{rp}}}{\partial z}\right) = -A^2 \frac{\omega^2 \mu_{\text{эл}} \mu_{\text{rp}} k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{2\pi^2}{4a^2 c^2} \sin\left(\frac{2\pi}{d} z\right) \left(\frac{y}{2} - \frac{a}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{a} y\right)\right) \cos(2\omega t);$$

$$E_{z\text{rp}} = -A^2 \frac{\omega^2 \mu_{\text{эл}} \mu_{\text{rp}} k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{2\pi^2}{4a^2 c^2} \sin\left(\frac{2\pi}{d} z\right) \left(\frac{y^2}{4} + \frac{a^2}{8\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{a} y\right)\right) \cos(2\omega t); E_{y\text{rp}} = 0.$$

Гравитационное напряжение внутри резонатора определим из неопределенных интегралов  $U_{y\text{rp}} = \int E_{y\text{rp}} dy$  и  $U_{z\text{rp}} = \int E_{z\text{rp}} dz$ :

от  $J_y \bar{e}_y$  –

$$U_{y\text{rp}} = A^2 \frac{\omega^2 \mu_{\text{эл}} \mu_{\text{rp}}}{k^2 - k_z^2} \frac{1}{4c^2} \cos\left(\frac{2\pi}{a} y\right) \left(\frac{z^2}{4} + \frac{d^2}{8\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{d} z\right)\right) \cos(2\omega t) + C_1;$$

от  $J_z \bar{e}_z$  –

$$U_{z\text{rp}} = A^2 \frac{\omega^2 \mu_{\text{эл}} \mu_{\text{rp}} k_z}{(k^2 - k_z^2)^2} \frac{\pi d}{4a^2 c^2} \cos\left(\frac{2\pi}{d} z\right) \left(\frac{y^2}{4} + \frac{a^2}{8\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{a} y\right)\right) \cos(2\omega t) + C_2.$$

Итак, внутри объемного резонатора существует переменное гравитационное поле удвоенной частоты. Под действием гравитационного напряжения в цепи возбуждающего устройства резонатора возникают гравитационные токи, стекающие в сток, в источник питания и в случае его заземления – в грунт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В. В. Единая теория поля. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
2. Федоров В. В. Уравнения Максвелла для гравитационного поля // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. Вып. 6. С. 21–28.
3. Федоров В. В. Поле однопроводной линии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. Вып. 2. С. 47–50.
4. Башарин С. А., Федоров В. В. Теоретические основы электротехники. Теория электрических цепей и электромагнитного поля. М.: Академия, 2010.

V. V. Fedorov

ELECTROMAGNET VOLUME RESONATOR IS SOURCE GRAVITATION WAVES

*To the development of the Unified Field Theory based on Maxwell equations is dedicated. Specials gravitation waves inert mass electromagnet field to examine. Source gravitation waves is volume resonator. Gravitation field in volume resonator to determine based analogies differential Maxwells equations.*

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Описаны результаты экспериментального и компьютерного исследования высокочастотных параметров многофазных обмоток, совмещенных с полупроводниковыми преобразователями. Представлена методика определения первичных параметров цепных схем замещения.*

**Электрическая машина, высокочастотные параметры, цепные схемы замещения, эксперимент, компьютерное моделирование**

Исследование высокочастотных процессов перенапряжений в обмотках электрических машин (ЭМ) началось в 30-е гг. XX в. В это время появились публикации Е. Хюнтера, Е. Бохне, В. Карасева, Р. Лютера, Г. Щвеца и других ученых, обобщенные в [1].

Экспериментальное исследование перенапряжений было выполнено Г. Петровым и А. Абрамовым [2]. Позднее были опубликованы труды В. Люлько [3], [4], а затем книги и статьи З. Каганова с учениками [5], [6].

В 1999 г. в работах В. Беспалова и К. Зверева [7], а затем в трудах [8]–[10] были опубликованы материалы, подтверждающие актуальность исследования высокочастотных процессов и параметров (ВЧП) электрических машин, совмещенных с полупроводниковой преобразовательной техникой [11].

В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» [12]–[14] и в СПбГТУ [15] исследования высокочастотных параметров выполняются на специально созданных экспериментальных стендах с использованием современных измерительных приборов [16] и программного обеспечения [17].

В данной статье описываются результаты экспериментального исследования входных ВЧП и компьютерного определения первичных ВЧП статорных обмоток применительно к цепным схемам замещения для частот от 1 кГц до 1 МГц.

**Первичные и входные ВЧП.** Рассматривается фаза многофазной обмотки частотно-управляемого (ЧУ) асинхронного двигателя (АД) при переключении транзисторов в преобразователе частоты с широтно-импульсной модуляцией напряжения (ПЧ-ШИМ) с опорной частотой 1...5 кГц. При этом в обмотке действуют высшие временные гармоники (ВВГ) напряжения, имеющие частоту  $f_{ВЧП} = 10^3...10^6$  Гц.

Частотам  $f_{ВЧП}$  соответствуют ВЧП, существенно отличные от обычно используемых при частотах регулирования  $f_{рег} = 10^1...10^2$  Гц активных и индуктивных параметров ЭМ [7], [12] из-за появления при  $f_{ВЧП} \gg f_{рег}$  емкостных связей [3].

При определении ВЧП параллельная ветвь обмотки заменяется [6] цепной распределенной схемой (ЦРП), включающей  $N_k$  катушек (рис. 1). Число катушек  $N_{к.о} = \frac{Z_1}{2m_1a} = \frac{pq}{a}$  для однослойных обмоток,  $N_{к.д} = \frac{2pq}{a}$  – для двухслойных обмоток [12].

Числа пазов  $Z_1$ , фаз  $m_1$ , пар полюсов  $p$  и число пазов  $q$  на полюс и фазу и число  $a$  параллельных ветвей в фазе определяются из расчетного формулера ЭМ [5], [8].

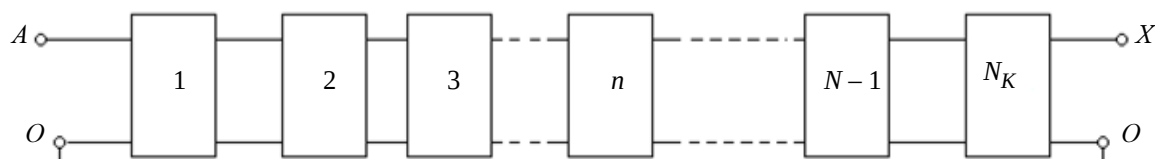


Рис. 1

При исследовании высокочастотных процессов катушки заменяются четырехполюсниками [6] с различными вариантами схем замещения.

В данной статье считается, что каждой катушке соответствует эквивалентная схема в виде, показанном на рис. 2.

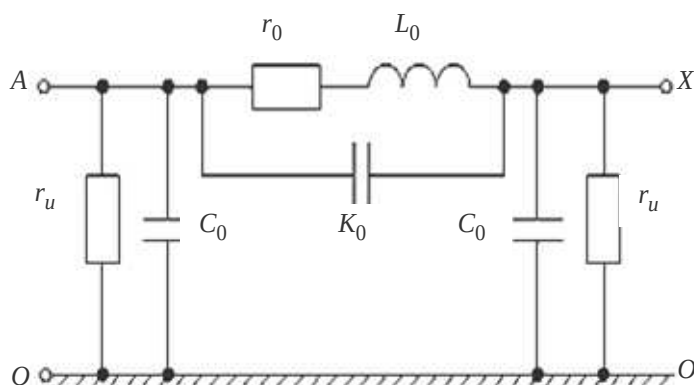


Рис. 2

При этом  $r_0$  – активное сопротивление, учитывающее потери в меди, стали и экранах двигателя, Ом;  $L_0$  – индуктивность, учитывающая взаимноиндуктивные связи, Гн;  $C_0$  – емкость проводников катушки относительно корпуса, Ф;  $K_0$  – продольная емкость, учитывающая емкостные связи между витками и катушками, Ф;  $r_u$  – активное сопротивление, учитывающее потери мощности в изоляции обмотки, Ом.

**Входные параметры** фазы обмотки являются сложными функциями первичных параметров [6], [8] и определяются экспериментально (рис. 3) с помощью [16].

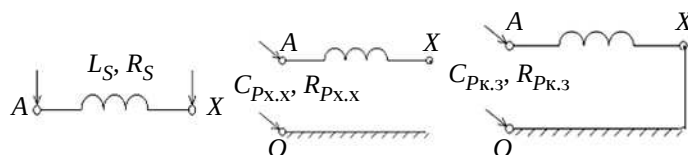


Рис. 3

При измерении входных продольных эквивалентных индуктивностей ( $L_S$ ) и активных сопротивлений ( $R_S$ ) LCR-измеритель [16] подключается к началу и концу фазы обмотки (рис. 3, а).

Эквивалентные поперечные входные емкости ( $C_P$ ) и активные сопротивления ( $R_P$ ) изменяются в режимах холостого хода (рис. 3, б) и короткого замыкания (рис. 3, в). Обозначения продольных и поперечных входных параметров в статье соответствуют [16].

**Экспериментальная установка.** Для исследования зависимости входных ВЧП от частоты использовались плоский линейный асинхронный двигатель (ПЛАД) изготовленный во ВНИИМЭМ [13], [14], и серийные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АТК71А4УХЛ2, 0.55 кВт,  $2p = 4$ ,  $N_K = 6$ ) и с фазным ротором (АК51/4, 2.8 кВт,  $2p = 4$ ,  $N_K = 12$ ).

В ПЛАД все катушки статорной обмотки имеют выводы на измерительную плату (рис. 4), что создает возможности для определения междукатушечных и междуфазных емкостей и индуктивностей.

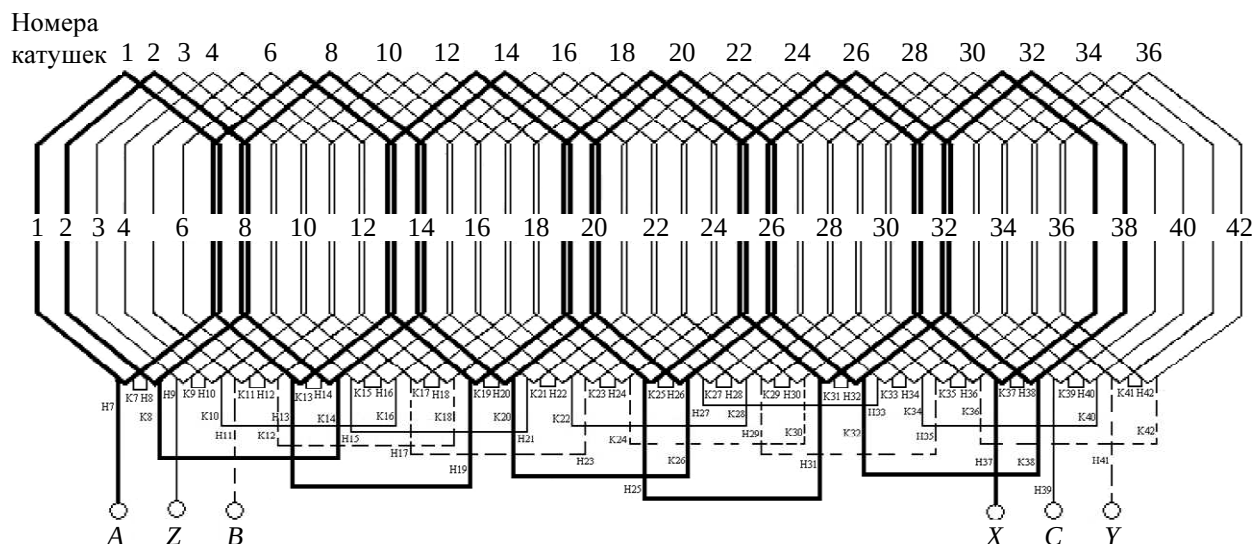


Рис. 4

Обмоточные данные ПЛАД:  $Z_1 = 36$ ,  $2p = 4$ ,  $m_1 = 3$ ,  $q = 2$ , марка и диаметр провода статорной обмотки ПЭТВ – 0.63 мм, число проводников в пазу – 112, число витков в фазе – 672, средняя длина витка – 0.4 м.

Для измерения ВЧП использовался LCR-измеритель «QuadTech 7600 Precision LCR Meter Model B» (рис. 5) с диапазонами измерения параметров, представленными в таблице [16].

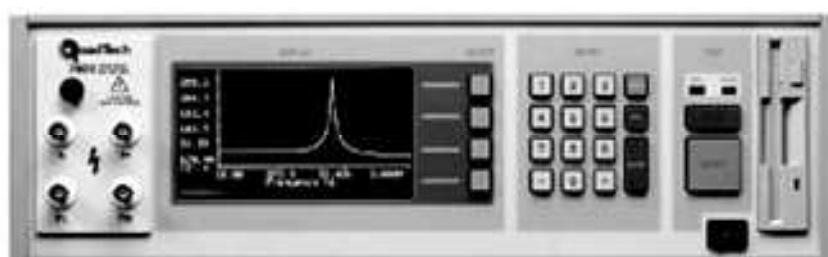


Рис. 5

| Параметры                | Предел измерения  | Точность, % |
|--------------------------|-------------------|-------------|
| $C_S$ , $C_p$ , Ф        | 1e-12...9.999999  | ±0.05       |
| $L_S$ , $L_p$ , Гн       | 1e-12...9.999999  | ±0.05       |
| $Q$                      | 0.000...9.99999.9 | ±0.005      |
| $R_S$ , $R_p$ , $Z$ , Ом | 1e-4...9.999e+7   | ±0.05       |
| Фаза, ...°               | -180.00...179.999 | ±0.18       |

В основу работы прибора положены технологии прямого цифрового синтеза и цифровой обработки сигнала [16]. Это принципиально отличает прибор от измерителей с мостовой схемой на переменном токе, в которых производится сравнение неизвестного комплексного сопротивления с образцовой мерой.



В используемом измерителе [16] источником тестового сигнала является генератор прямого цифрового синтеза с переключаемым внутренним сопротивлением (25, 400, 6.4 Ом, 100 кОм), который позволяет получить непрерывный набор частот в диапазоне 10 Гц...2 МГц с погрешностью установки частоты  $\pm 0.25\%$ .

Тестовый сигнал представляет собой непрерывное колебание синусоидальной формы со среднеквадратичным значением до 5 В в режиме постоянства напряжения и до 100 мА в режиме постоянства тока.

Погрешность измерения 0.05...1 % обеспечивается измерителем при частотах до 100 кГц. При частотах свыше 1 МГц погрешность увеличивается до 20...30 %. Общие пределы измерения по частоте – от 10 Гц до 2 МГц.

**Экспериментальные зависимости входных ВЧП от частоты** имеют одинаковый характер изменения для всех обмоток испытанных двигателей: кривые имеют резонансные максимумы и нулевые точки, а также области отрицательных и положительных значений, обусловленных взаимовлиянием индуктивностей и емкостей.

В качестве типичных на рис. 6–8 представлены кривые изменения входных ВЧП в зависимости от частоты (в диапазоне 1...1000 кГц) для ПЛАД. Числа катушек  $N_k$  в фазах изменяются от одной до двенадцати. Числа катушек указаны на кривых.

Кривые зависимости от частоты  $L_S$  (рис. 6, а) и  $R_S$  (рис. 6, б)

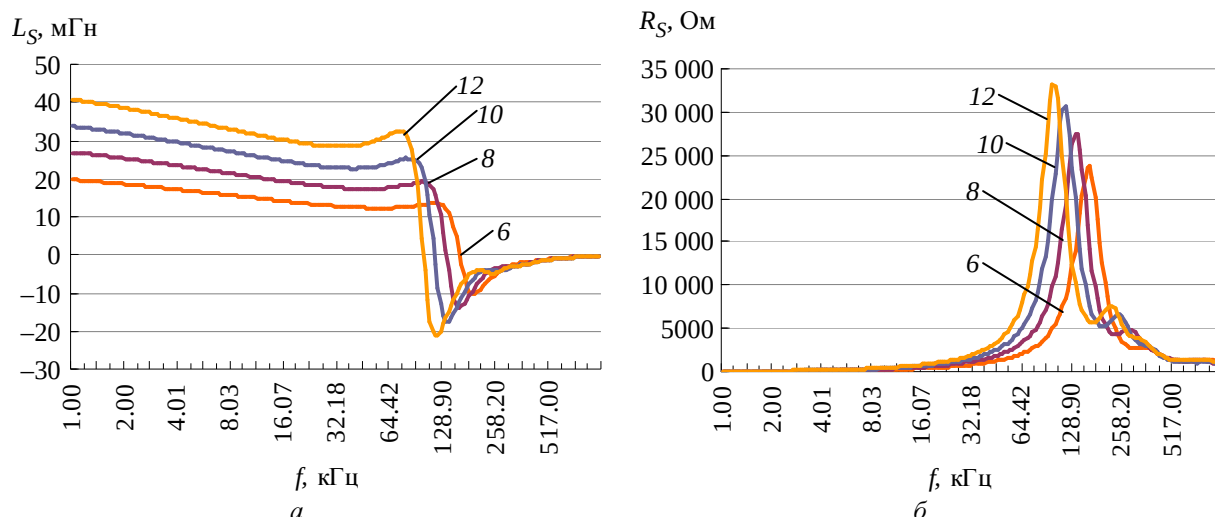


Рис. 6

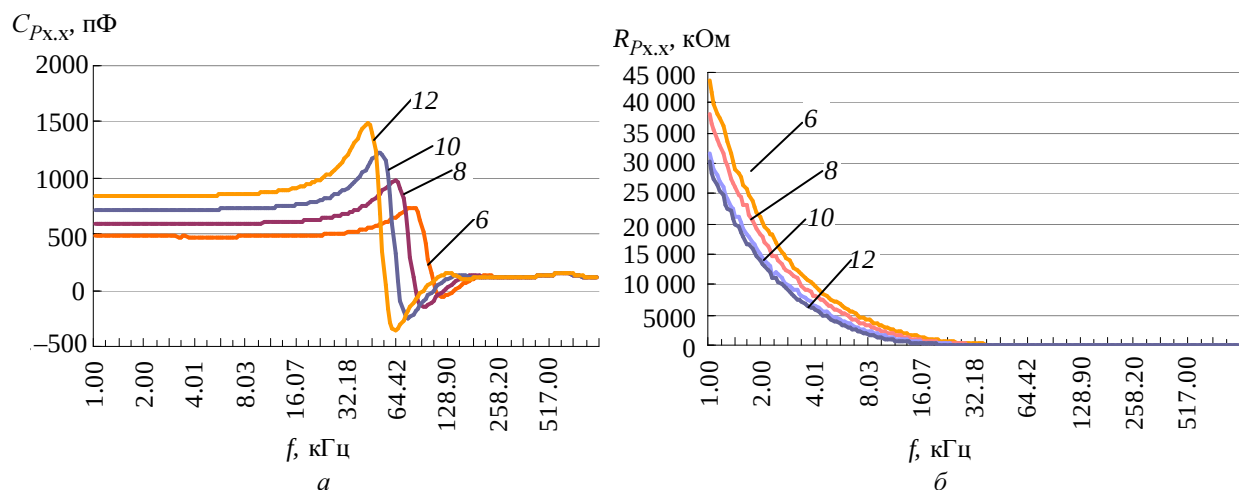


Рис. 7

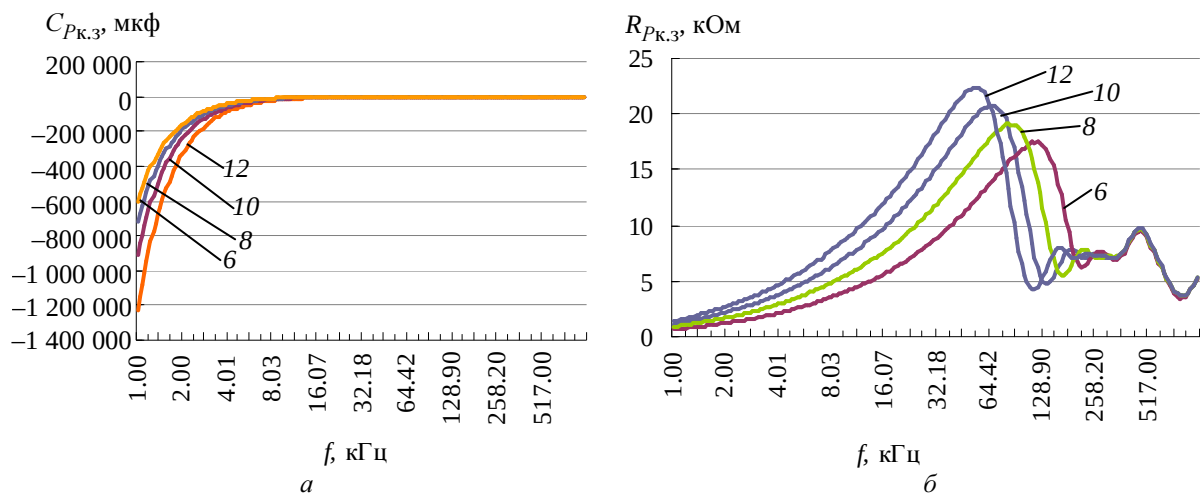


Рис. 8

Кривые зависимости от частоты  $C_{P_{X,X}}$  (рис. 7, а) и  $R_{P_{X,X}}$  (рис. 7, б)

Кривые зависимости от частоты  $C_{P_{K,3}}$  (рис. 8, а) и  $R_{P_{K,3}}$  (рис. 8, б)

Анализ экспериментальных кривых показывает:

- кривые имеют резонансные максимумы и нулевые точки, смещающиеся в область больших частот при уменьшении числа катушек в фазе обмотки;
- резонансные значения  $R_{Smax}$  соответствуют значениям частоты, при которых  $L_S = 0$ ;
- кривые  $C_{P_{X,X}}$  также имеют резонансные максимумы и нулевые значения, определяемые взаимодействием  $C_0, K_0, r_0, L_0$ .

– экспериментальные кривые подтверждают необходимость учета взаимноиндуктивных связей между пазами при расчете активных сопротивлений катушек.

Взаимные индуктивно-емкостные связи приводят к неравенствам  $L_{S(N_K)} \neq N_K L_{S1}$ ;  $C_{P(N_K)} \neq N_K C_{P1}$ ;  $R_{P(N_K)} \neq N_K R_{S1}$ , учитываемым при определении первичных ВЧП.

**Компьютерное моделирование.** Первичные ВЧП применительно к цепным схемам замещения (рис. 1 и 2) определяются по методике, использующей пакет моделирования энергетических систем Power System Blockset [17]. При построении моделей цепных схем используется метод «Click and Drag» и программное обеспечение Simulink с подключением виртуальных измерительных и регистрирующих приборов [17].

Варианты цепных схем (рис. 1 и 2) набираются в виде блоков, различающихся способами подключения измерителя LCR [16] и видом заземления.

На рис. 9 показаны схемы, соответствующие определению продольных (а) и поперечных (б) входных ВЧП.

Модели, применяемые для определения параметров фазы при подключении измерителя иммитанса к выводам фазы (рис. 9, а), при изолированной нейтрали (рис. 9, б) и при замыкании фаз на корпус содержат: 1 – модель измерителя иммитанса; 2 – источник тока; 3 – ограничивающее сопротивление; 4 – блок-измеритель тока; 5 – блок-дисплей цифровой; 6 – блок-измеритель напряжения; 7 – блок-схема фазы обмотки; 8 – блок расчета модуля и фазы импеданса; 9 – блок преобразования радиан в градусы; 10 – блок, осуществляющий передачу результатов расчета в систему Matlab для дальнейшей обработки; 11 – сопротивление, вводимое для имитации изолированной нейтрали.

В структурных схемах (рис. 9) устанавливаются значения первичных ВЧП катушек в виде функций, учитывающих зависимости каждого ВЧП от частоты, чисел катушек и параллельных ветвей, типа обмотки и наличия экранирующих оболочек.

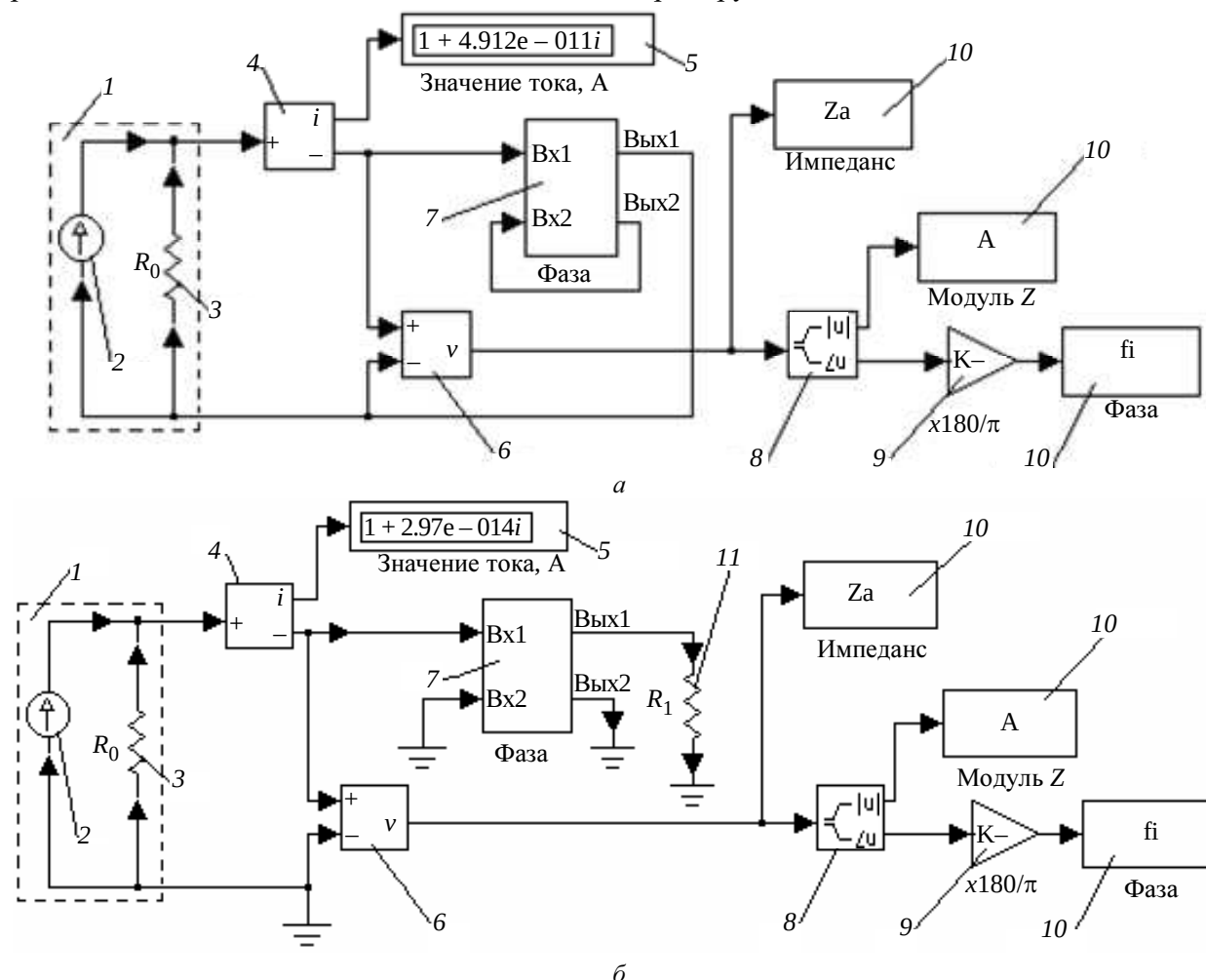


Рис. 9

Базовой частотой  $f_0$  является начальная частота измерения, выполненного на экспериментальных ЭМ. Обычно  $f_0 = 1000$  Гц и измерения для этого значения частоты обеспечиваются не только сложными приборами [16], но и переносными LCR-измерителями.

Моделирование в MatLab производится в несколько этапов. На первом этапе значения первичных ВЧП задаются в виде приближенных зависимостей, учитывающих постоянство или уменьшение (увеличение) параметра при увеличении частоты. После этого измерителем (блоки 8 и 10) в схеме на рис. 9 определяются входные ВЧП. Устанавливается соответствие расчетных входных ВЧП экспериментальным кривым на рис. 6–8. При наличии расхождений функции зависимости первичных ВЧП от частоты уточняются в несколько последовательных итераций до совпадения расчетных кривых входных ВЧП с экспериментальными.

Статорной обмотке ПЛАД с  $N_K = (6-12)$  соответствуют следующие значения первичных ВЧП:

$$r_0 = \begin{cases} 4.05 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1.043}, & f < 160\,000 \text{ Гц}, \\ 754, & f \geq 160\,000 \text{ Гц}; \end{cases}$$

$$L_0 = \begin{cases} 3.39 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-0.141}, & f < 160\,000 \text{ Гц}, \\ 1.643 \cdot 10^{-3}, & f \geq 160\,000 \text{ Гц}; \end{cases}$$

$$K_0 = 300 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};$$

$$C_0 = 70 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};$$

$$r_U = \begin{cases} 36.44 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1.3}, & f < 160\,000 \text{ Гц}, \\ 1.5 \cdot 10^{3.75}, & f \geq 160\,000 \text{ Гц}. \end{cases}$$

Значения первичных параметров ВЧП при  $f = 1$  кГц для варианта с  $N_k$  катушек в фазе определяются через значения экспериментальных входных ВЧП для соответствующего числа катушек.

Для варианта ПЛАД с  $N_k = 12$  первичные ВЧП при  $f = 1$  кГц имеют значения:

$$L_{0(1000)} = \frac{L_{S(1000)}}{12} = \frac{40.7}{12} \cdot 10^{-3} = 3.39 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$r_{0(1000)} = \frac{R_{S(1000)}}{12} = \frac{48.6}{12} = 4.05 \text{ Ом};$$

$$C_{0(1000)} = \frac{C_{P(1000)}}{12} = \frac{840 \cdot 10^{-12}}{12} = 70 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};$$

$$r_{U(1000)} = 12R_{P(1000)} = 36.44 \cdot 10^7 \text{ Ом}.$$

$K_{0(1000)}$  определяется по совпадению экспериментальных и расчетных значений входных ВЧП в резонансных точках.

При этих значениях первичных ВЧП расчетные кривые входные ВЧП с точностью до 3...5 % совпадают с аналогичными экспериментальными кривыми (рис. 10).

Установленные особенности в изменении первичных ВЧП в зависимости от частоты сохраняются и могут использоваться для определения ВЧП ЭМ переменного тока различных мощностей и исполнений.

Подытоживая все сказанное, можно сделать следующие выводы. Зависимости входных ВЧП от частоты характеризуются графиками, имеющими резонансные максимумы и нулевые точки в области 100...150 кГц, смещающиеся в сторону увеличения частоты при уменьшения числа катушек в фазе обмотки.

Экспериментальные кривые подтверждают необходимость учета взаимно-индуктивных связей между катушками при определении первичных активных сопротивлений.

Описанная методика определения первичных ВЧП, используя программное обеспечение MatLab и экспериментальные данные по входным ВЧП, обеспечивает совпадение расчетных и экспериментальных данных с точностью (3...5 %).

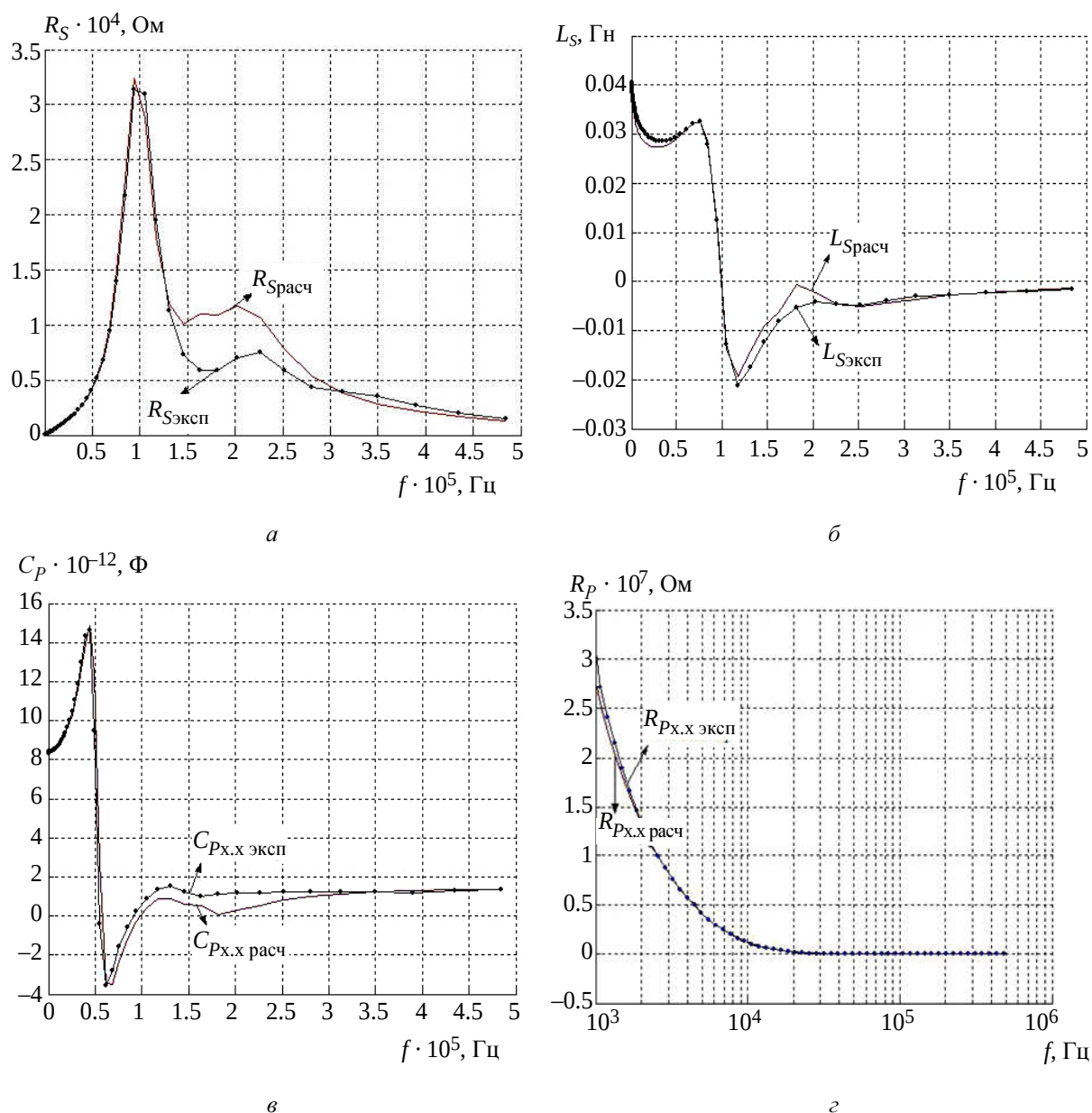


Рис. 10

Результаты получены под научным руководством и при непосредственном участии профессора, д-ра техн. наук Ю. П. Коськина.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костенко М. П. Электрические машины. Специальная часть: учеб. пособие для электр. и электромех. вузов и фак. Л.; М.: Госэнергоиздат, 1949. 712 с.
2. Петров Г. Н. Междувитковые напряжения в обмотках электрических машин при волновых процессах / Г. Н. Петров, А. И. Абрамов // Электричество. 1954. № 7. С. 24–31.
3. Люлько В. А. Емкостные характеристики обмоток электрических машин / В. А. Люлько, О. М. Мамонова // Тр. ВНИИЭ, Лен. филиал; М.: ЦИНТИП электропром-сти и средств автоматизации, 1962. Т. 15: Электротехнические материалы, применяемые в электромашино- и аппаратостроении, и методы их исследования. С. 14–21.
4. Люлько В. А. К расчету входных сопротивлений и эквивалентных параметров цепных схем, применяемых при моделировании обмоток электрических машин // Изв. вузов. Энергетика. 1962. № 5. С. 44–50.
5. Каганов З. Г. Волновые напряжения в электрических машинах. М.: Энергия, 1970. 208 с.
6. Каганов З. Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. М.: Энергоатомиздат, 1990. 248 с.

7. Беспалов В. Я. Импульсные перенапряжения в обмотках асинхронных двигателей при питании от ШИМ-преобразователя / В. Я. Беспалов, К. Н. Зверев // Электротехника. 1999. № 9. С. 56–59.
8. Guardado J., Cornick K. Calculation of machine winding electrical parameters at high frequencies for switching transient studies // IEEE Transactions on Energy Conversion, 1996. Vol. 11. № 1, March.
9. Electrical Stress and Failure Mechanism of the Winding Insulation in PWM-Inverter-Fed Low-Voltage Induction Motors/ M. Kaufhold, M. Berth, J. Speck, M. Eberhardt // IEEE Transactions On Industrial Electronics. 2000. Vol. 47, № 2, Apr.
10. High-Frequency Induction Machine Models for Calculation and Prediction of Common Mode Stator Ground Currents in Electric Drive Systems / O. Magdun, A. Binder, C. Purcarea, A. Rocks / EPE 2009, Sept. 8–10, Barcelona, Spain. Barcelona, 2009.
11. Коськин Ю. П. Развитие электромеханики в теории и технологиях электромеханотроники // Изв. вузов «Электромеханика». № 1. С. 11–20.
12. Коськин Ю. П. Перенапряжения в частотно-управляемых линейных асинхронных двигателях / Ю. П. Коськин, М. Н. Беналлал. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 60 с.
13. Беналлал М. Н. Перенапряжения в частотно-управляемых линейных асинхронных двигателях при широтно-импульсной модуляции напряжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб., 2004. 14 с.
14. Доан Ань Туан. Высокочастотные электромагнитные процессы в электроприводе с линейным асинхронным двигателем при питании от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2007.
15. Ватаев А. С. Высокочастотные электромагнитные процессы и перенапряжения в частотно-регулируемых асинхронных электродвигателях с короткозамкнутым ротором: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / СПбГПУ. СПб., 2009.
16. Instruction Manual "7600 Precision LCR Meter Model B" Quadtech, Inc. 1997, 5 Clock Tower Place, 210 East Maynard, Massachusetts, USA 01754–2530. Oct., 2002.
17. Дьяконов В. П. Матлав. Анализ, идентификация и моделирование систем / В. П. Дьяконов, В. Круглов: Спец. справочник. СПб.: Питер, 2002. 448 с.

*N. Benallal, A. C. Vataev, Don An TouAn, T. Nahdi*

#### **DEFINITION OF HIGH-FREQUENCY PARAMETERS OF AC ELECTRICAL MACHINES**

*Results of experimental and computer researches of high-frequency parameters of multiphase windings combined with semi-conductor converters are described. A method of definition of primary parameters of catenary equivalent circuits is presented.*

**Electrical machine, high frequency parameters, catenary equivalent circuit, experiment, computer research**



УДК 534.29 -71- 8 + 504.4.064.36

*Г. Б. Кривцова*

## **КАВИТАЦИОННАЯ ЗОНА «ТОЧЕЧНОГО» ИСТОЧНИКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ – МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ ВОДНОЙ СРЕДЫ**

*Экспериментально подтверждена возможность использования ультразвукового свечения водной среды (суммарной сонолюминесценции) в мультифрактальной мультипузырьковой кавитационной зоне «точечного» источника ультразвукового воздействия как безынерционного (люминесцентного) информационного канала, несущего информацию о структурном состоянии (качестве) водной среды по изменению интенсивности суммарной сонолюминесценции, в системе водоснабжения мегаполиса или опорной сети обсерваторий экологической безопасности, например.*

**Ультразвуковое воздействие, мультипузырьковая кавитационная зона, ультразвуковое свечение, суммарная сонолюминесценция, энергетические спектры сонолюминесценции, экспресс-контроль водной среды, экологический мониторинг, экологическая безопасность**

### **Ультразвуковое свечение – информационный канал МПК-зоны (эксперимент).**

Глобальная экологическая проблема интенсивного загрязнения всех компонентов окружающей среды (ОС) загрязняющими веществами (ЗВ) антропогенного и природного происхождения создает реальную угрозу существованию людей и всех обитателей биосферы. Государство – гарант экологической безопасности населения и сохранения здоровья нации. Поэтому создание эффективных и надежных безынерционных (в реальном времени) способов экспресс-контроля ОС (водной среды, в частности) является одним из государственных приоритетов – значимым направлением научных исследований в экологии и экологической безопасности [1].

Водная среда – один из основных компонентов окружающей среды, депонирующий практически все загрязняющие ОС вещества. И в то же время вода – источник и неотъемлемое условие существования жизни на Земле, основной молекулярный компонент всех биологических систем, определяющий структуру и характер взаимодействия биоорганических соединений, как в водных растворах, так и непосредственно в живых организмах. Качество воды во многом определяет условия существования, здоровья и активной деятельности человека.

При всем многообразии методов и средств контроля качества водной среды в настоящее время отсутствуют стандартизованные безреагентные безынерционные методы непрерывного контроля водной среды по обобщенному показателю, адекватно отражающему ее состояние (качество). Поэтому так актуальны научные исследования, направленные на создание инновационных безреагентных технологий экспресс-контроля водной среды.

Совокупность физико-химических процессов, возникающих в мультипузырьковой кавитационной зоне (МПК-зоне) в динамике развития кавитации, [2], [3], позволяет использовать информационный ресурс МПК-зоны – интенсивность ультразвуковом (УЗ) свечения (интенсивность суммарной сонолюминесценции –  $I_{\Sigma \text{СЛ}}$ ) – как безынерционный информационный канал, несущий информацию о структурном состоянии (качестве) проточной водной пробы и адекватно отражающий изменение этого состояния.

Модель пространственной конфигурации МПК-зоны «точечного» источника ультразвукового воздействия (ТИУЗ), предложенная автором для вычисления объема зоны УЗ-воздействия [3], позволяет, в пределах принятых допущений, оценить энергетическое насыщение ( $W_{\text{ак}n}$ ) зоны УЗ-воздействия для получения энергетического спектра суммарной сонолюминесценции – зависимости изменения интенсивности суммарной сонолюминесценции исследуемой водной пробы от уровня мощности энергетического воздействия:  $I_{\Sigma \text{СЛ}} = F(W_{\text{ак}n})$ .

**Экспериментальные исследования** по изучению изменения интенсивности суммарной сонолюминесценции контролируемой водной среды – обобщенного показателя ее структурного состояния (качества), в широком диапазоне мощности УЗ-воздействия, проводились на разработанном в НИЦЭБ РАН (СПб) экспериментальном стенде (рис. 1).



Рис. 1

Стенд включает проточную ячейку с исследуемой водной пробой и встроенные в нее «Блок формирования МПК-зоны» («Блок возбуждения  $\Sigma \text{СЛ}$ », в частности) и «Блок регистрации исследуемого параметра» – суммарной сонолюминесценции, характеризующей состояние (качество) контролируемой водной среды.

«Блок возбуждения  $\Sigma \text{СЛ}$ » – обеспечивает формирование акустического поля, возбуждающего доступное регистрации УЗ-свечение исследуемой водной пробы в зоне контроля – проточной ячейке экспериментального устройства. Блок включает источник питания (УЗ-генератор) и «точечный» источник УЗ воздействия, защищенный поддерживаемыми в силе Патентами РФ [4], [5].

Линейные размеры и форма проточной ячейки выбираются из условия возможности формирования в ней неискаженной мультифрактальной МПК-зоны на 9–12 уровнях ее энергетического насыщения (мощности УЗ-воздействия), поддерживаемых с высокой стабильностью источником питания: генератором аппарата УЗ хирургического УЗХ-100-Нч-01 «СУЗА».



Измерение  $I_{\Sigma\text{СЛ}}$  дистиллированной (свежеприготовленной) воды, проведенное на 10 уровнях мощности УЗ-воздействия, позволило получить: энергетический спектр суммарной сонолюминесценции ( $E$ -спектр  $\Sigma\text{СЛ}$ ), выбранный фоновым объектом («фон») для адекватной оценки и сравнения  $E$ -спектров водных проб и оперативного контроля стабильности выходных параметров «Блока формирования МПК-зоны» (рис. 2).

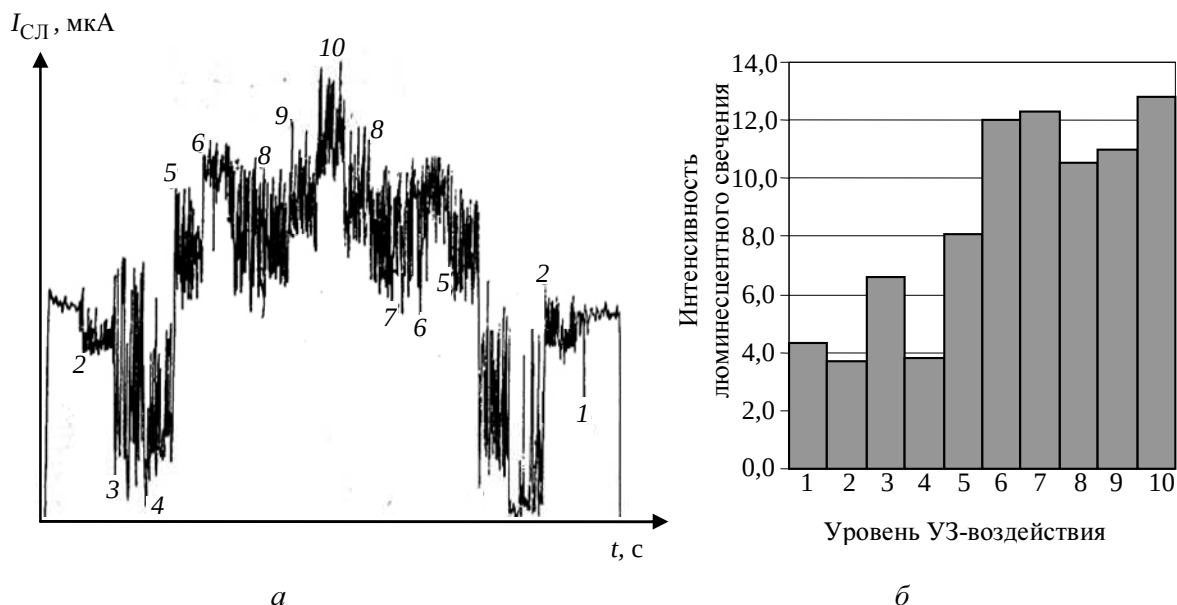


Рис. 2

На рис. 2 представлены: *а* – запись в реальном времени изменения интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$  проточной водной пробы – дистиллированной (свежеприготовленной) воды ( $I_{\Sigma\text{СЛ}}$ , мкА), возбуждаемой в МПК-зоне контрольной ячейки на 10 ступенчато нарастающих и симметрично ступенчато убывающих уровнях ее энергетического насыщения ( $W_{\text{ак}}$ , Дж/см<sup>3</sup>). Время контроля изменения интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$  на каждом энергетическом уровне:  $t = 60$  с; *б* – энергетический спектр  $\Sigma\text{СЛ}$  дистиллированной (свежеприготовленной) воды на 10 ступенчато нарастающих уровнях энергетического насыщения МПК-зоны ( $W_{\text{ак}}$ , Дж/см<sup>3</sup>): фоновый объект («фон»). Время контроля изменения интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$  на каждом энергетическом уровне:  $t = 60$  с.

Экспериментально показано, что характер энергетических спектров  $\Sigma\text{СЛ}$  водопроводной воды Центрального и Петроградского районов Санкт-Петербурга (водозабор р. Невы) существенно различается как по интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$ , так и по конфигурации спектров, в исследованном диапазоне мощности УЗ-воздействия (рис. 3).

На рис. 3 представлена запись в реальном времени изменения интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$  проточной водной пробы при подаче в МПК-зону контрольной ячейки водопроводной воды Центрального (*а*) и Петроградского (*б*) районов Санкт-Петербурга при симметричном нарастании – убывании уровня ее энергетического насыщения. Экспресс-контроль качества водопроводной воды. Время контроля изменения интенсивности  $\Sigma\text{СЛ}$  на каждом энергетическом уровне:  $t = 60$  с.

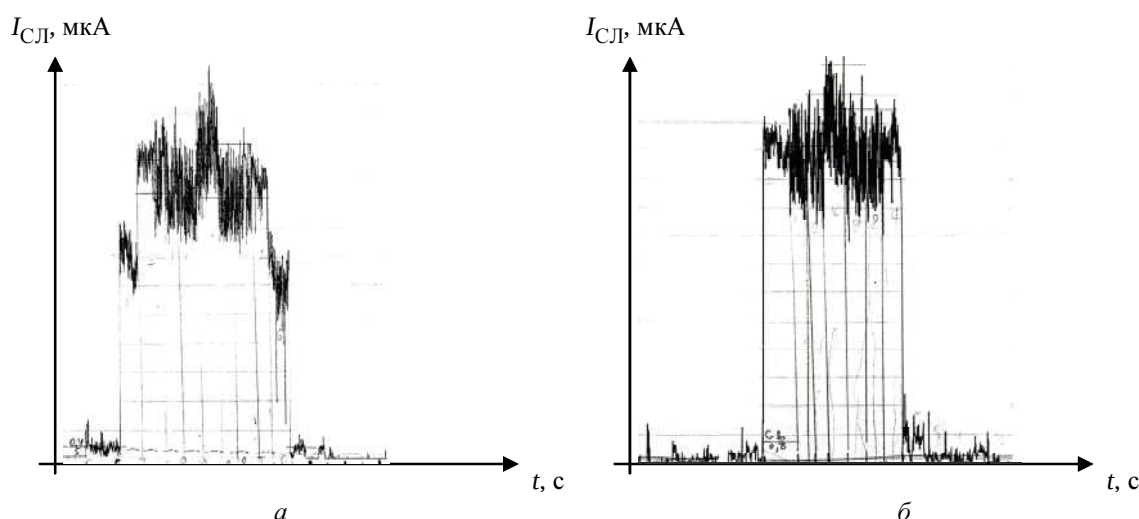


Рис. 3

В объеме проведенных исследований не удалось установить корреляцию между изменением характера спектров и внешними параметрами (водозабор и способы очистки, например), влияющими на качество водопроводной воды. Однако в пределах чувствительности метода зафиксированы достоверные различия характера исследованных спектров.

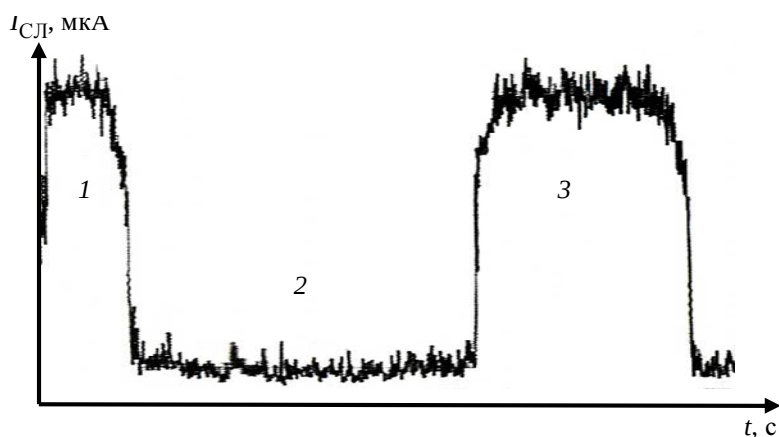


Рис. 4

На рис. 4 представлен фрагмент записи контроля в реальном времени качества проточной водной пробы на выбранном для данной пробы уровне мощности УЗ-воздействия ( $n$ ): вблизи (до) порога кавитации регистрируется изменение  $I_{\Sigma СЛ}$  водной среды: 1; 3 – «всплеск»  $\Sigma СЛ$  при снижении порога кавитации вследствие загрязнения водной среды (формирование информационного сигнала – «аномалия», «тревога»); 2 – уровень УЗ-воздействия ( $n = 5$ , например), выбранный для экспресс-контроля вблизи (до) порога кавитации.

Можно надежно обрабатывать сигнал «тревога» при аномальной, превышающей предельно допустимую концентрацию (ПДК) концентрации ЗВ в контролируемой водной среде не только по уровню «тушения  $I_{\Sigma СЛ}$ », но и по более информативному «всплеску  $I_{\Sigma СЛ}$ » – мгновенному многократному увеличению  $I_{\Sigma СЛ}$ , происходящему при снижении порога кавитации вследствие аномального загрязнения контролируемой водной пробы в системе водоснабжения, например, или при мониторинге акваторий (информационно-регистрирующий канал) [6].

Автоматизированные системы экспресс-контроля качества водной среды и тревожной сигнализации могут осуществлять: экологический мониторинг в реальном времени систем водоснабжения Санкт-Петербург; поиск (оконтуривание) гидробиохимических аномалий акваторий («барьерные» зоны, шельфовые месторождения); локальный мониторинг экологической безопасности акваторий и водотоков в реальном времени на блок-постах опорной сети обсерваторий экологической безопасности в пределах покрытия операторов мобильной связи.

#### **Результаты исследований:**

1. Физико-химические и люминесцентные процессы, сопровождающие кавитацию в акустическом поле «точечного» источника УЗ-воздействия в динамике развития кавитационного процесса, обеспечивают информационный ресурс – интенсивность суммарной сонолюминесценции для реализации безреагентного экспресс-контроля проточной водной пробы и снятия энергетического спектра суммарной сонолюминесценции в момент обнаружения загрязнения: по уровню «тушения  $I_{\Sigma \text{СЛ}}$ » или по более информативному «всплеску  $I_{\Sigma \text{СЛ}}$ ».

2. Энергетический спектр суммарной сонолюминесценции дистиллированной (свежеприготовленной) воды на 10 ступенчато нарастающих уровнях энергетического насыщения МПК-зоны ТИУЗ выбран фоновым объектом («фон») для адекватного сравнения энергетических спектров исследуемых водных проб.

3. Изменения характера энергетических спектров водопроводной воды двух районов Санкт-Петербург показали возможности использования нового безреагентного безынерционного способа экспресс-контроля проточной водной пробы по «всплеску  $I_{\Sigma \text{СЛ}}$ » – мгновенному многократному увеличению интенсивности суммарной сонолюминесценции, происходящему при снижении порога кавитации вследствие аномального загрязнения контролируемой водной пробы, например, в системе водоснабжения Санкт-Петербурга.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Сонолюминесцентный способ экспресс-контроля состояния (качества) водной среды, основанный на безынерционном явлении УЗ-свечения водной среды в мультифрактальной МПК-зоне ТИУЗ, позволяет решить задачу безреагентного непрерывного контроля состояния водной среды по изменению интенсивности УЗ-свечения (интенсивности суммарной сонолюминесценции) – новому обобщенному показателю качества водной среды.

«Точечный» источник УЗ-воздействия, стабильно формирующий мультифрактальную МПК-зону в широком диапазоне мощности УЗ-воздействия, является источником стабильного дозированного энергетического воздействия на любые водные среды и обеспечивает безынерционный информационный ресурс для контроля качества водной среды – интенсивность суммарной сонолюминесценции.

«Точечные» источники ультразвукового воздействия (низкочастотные резонансные электроакустические преобразователи, например) могут стать базой для создания надежных безреагентных и безынерционных датчиков непрерывного контроля качества (состояния) водной среды, обеспечивая информационно-регистрирующий канал опорной сети обсерваторий экологической безопасности.

Создание компактных, надежных приборов – *датчиков регистрации изменения интенсивности суммарной люминесценции и тревожной сигнализации* в системе экспресс-контроля водных потоков и внедрение в широкую практику инновационных технологий,

реализующих многофакторный информационно-энергетический ресурс мультифрактальной МПК-зоны, может существенно повысить уровень экологической безопасности регионов и внести значительный вклад в сохранение здоровья нации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донченко В. К. Актуальные проблемы изучения техногенного загрязнения окружающей среды // Экологическая безопасность. 2007. № 1–2 (17–18). С. 4–23.
2. Margulis Milia A., Margulis Igor M. Contemporary review on nature of sonoluminescence and sonochemical reactions // Ultrasonics Sonochemistry. March 2002. Vol. 9. Iss. 1. P. 1–10.
3. Кривцова Г. Б. Сонолюминесцентный метод экспресс-контроля водной среды: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. 20 с.
4. Пат. РФ № 2030846 Акустический преобразователь / Г. Б. Кривцова. Заявка № 5016786 от 16.12.1991, зарегистр. 10.03.95. Бюл. 7.
5. Пат. РФ № 2092120. Ультразвуковой хирургический инструмент / Г. Б. Кривцова. Заявка № 5055600 от 14.07.1992, зарегистр. 10.10.97. Бюл. 28.
6. Кривцова Г. Б., Петухов В. В. Информационно-регистрирующая система оконтуривания биохимических аномалий // Сб. тр. XI Междунар. экологического форума «День Балтийского моря», 23–25 марта 2010 г. СПб: ООО «Макси-Принт», 2010.

*G. B. Krivtsova*

*CAVITATION ZONE OF ULTRASONIC «POINT» SOURCE EXPOSURE – MULTI-FRACTAL INFORMATIONAL-ENERGETIC AQUA OBJECT PART 2 (EXPERIMENTAL). ULTRASONIC GLOWСВЕЧЕНИЕ – INFORMATIONAL CHANNEL OF MULTI-BUBBLE CAVITATION ZONE (MBC-ZONE)*

*The experimental part of paper proves practical possibility to use ultrasonic glow of water (integrated sonoluminescence) from “point” source of ultrasonic exposure in multi-bubble cavitation zone (MBC-zone) as inertialess (luminescent) information channel carrying aqua objects structural state (qualitative) information with significant variation of integrated sonoluminescence, for example in water supply system of megapolis and in observatory network for ecological safety.*

**Ultrasonic exposure, multi-bubble cavitation zone, ultrasonic glow, integrated microfractals, sono-chemical reactions, sparing (smooth) surgery, sonoluminescence, energy spectrums of sonoluminescence, express-analysis of water quality, ecological monitoring**



УДК 615.471:617.7

*Е. П. Попечителев*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Рассмотрены критерии качества выполнения аналитических исследований биоматериалов, среди которых особое внимание обращено на информационные критерии. Эта группа критериев позволяет с позиций теории информации анализировать все этапы выполнения полного цикла технологических процессов, связанных с преобразованиями материалов и сигналов после измерительного преобразователя.*

**Аналитические исследования, биологическая проба, критерии качества, информационные критерии, «помехоустойчивость», чувствительность и разрешающая способность лабораторного анализа**

Контроль качества аналитических исследований – это сложная система мероприятий для выявления и предотвращения недопустимых погрешностей, которые могут проявиться в процессе выполнения таких исследований. Она основана на принципах стандартизации всех этапов лабораторного исследования, анализе результатов внутри лабораторного контроля качества и внешней оценки качества и включает меры, направленные на количественную оценку точности, сходимости, воспроизводимости и правильности лабораторных исследований [1]. Такой контроль должен проводиться на всех этапах выполнения анализа – от получения материала и подготовки пациента к исследованию до выдачи результата анализа и его интерпретации.

Несмотря на разнообразие методов, применяемых при проведении аналитических исследований, принцип определения состава и свойств исследуемого вещества для них остается один и тот же: каждый компонент и свойство биологической пробы (биопробы), взятой из исследуемой среды (ИС), – БП<sub>ИС</sub> – в процессе лабораторного анализа выявляется по его физическим свойствам. Именно физические свойства БП<sub>ИС</sub> позволяют получать диагностическую информацию о свойствах ИС, поэтому вначале проводят преобразования с веществом биопробы БП<sub>ИС</sub>, затем подключают к ней разнообразные измерительные преобразователи (ИП), реагирующие на эти свойства, а потом после обработки электриче-

ских сигналов ЭСИП регистрируют измеряемый параметр. Поэтому любые операции с исходными материалами и с сигналами проводят так, чтобы сохранить эту информацию и представить ее исследователю в наиболее удобном для восприятия виде; причем чем больше таких операций, тем больше искажения. Вследствие этого оптимизация технологических аналитических исследований связана как с сокращением количества операций с биопробой, так и с совершенствованием известных и поиском новых, более оптимальных решений. Для сравнения различных технологических схем необходимы критерии, по которым можно судить о преимуществах той или иной из них.

В статье приведен анализ известных групп показателей качества технологических схем и предложена новая группа – группа информационных критериев, которые могут оказаться эффективны при оценке качества лабораторных исследований.

**Основные этапы лабораторного анализа.** При выборе метода лабораторного анализа должны учитываться различные факторы, от которых зависит качество выполнения всего исследования. Чтобы разобраться в причинах ухудшения общего качества конечного результата, необходимо рассмотреть основные этапы технологического процесса, последовательное качественное выполнение которых должно гарантировать высокое качество результатов анализа.

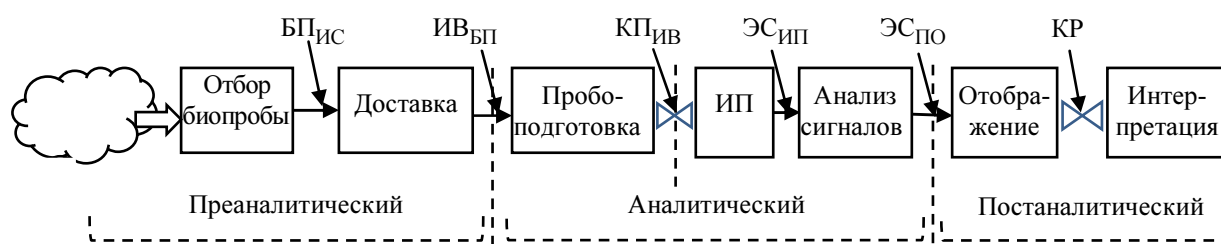


Рис. 1

Как показано в [2], [3], процедура анализа может быть продолжительной и включать разнообразные операции, в ходе которых БП<sub>ИС</sub> и ЭСИП будут подвергаться различным преобразованиям, которые приводят к ошибкам в конечном результате.

Принято представлять всю процедуру анализа в виде последовательности трех этапов: преаналитического, аналитического и постаналитического (рис. 1). Любой этап включает несколько операций (блок операций), каждая из которых имеет свое назначение, и только строгое выполнение всех операций в соответствии с рекомендованной методикой позволяет получить надежные результаты анализа [1], [3]. Изменение типа стрелки на рис. 1 отражает контакты с биологическим объектом (исследуемой средой или пользователем): « $\Rightarrow$ » – операция по забору материала из ИС; « $\bowtie$ » – первый раз это – контакт БП<sub>ИС</sub> с ИП, а второй раз – операция отображения результата анализа пользователю. Стрелки « $\rightarrow$ » отражают группы операций с веществом или сигналами, а вертикальные пунктирные линии «|» выделяют основные этапы и подэтапы.

На первом этапе осуществляется взятие БП<sub>ИС</sub> и доставка ее к месту проведения исследования. Качественное взятие материала является одним из стандартизирующих и предопределяющих моментов всего лабораторного исследования; особое значение имеет стандартизация процесса транспортировки биопроб в лабораторию [1], [3]. Общее правило: доставить БП<sub>ИС</sub> в лабораторию как можно быстрее. На этом этапе необходимы меры по стабилизации ее свойств (термо- и баростатирование, обезвоживание и др.), чтобы ис-

ключить влияние на нее новой окружающей среды. При транспортировке учитывается стабильность отдельных аналитов (компонентов, составляющих), входящих в БП<sub>ИС</sub>, в зависимости от времени, температуры, воздействия прямого света.

Второй, аналитический этап начинается с момента доставки пробы в лабораторию, где осуществляется сам анализ. При этом он содержит два очень важных подэтапа: пробоподготовки и измерения.

Пробоподготовка включает ряд операций с ИВ<sub>БП</sub><sup>1</sup>, необходимых для подготовки пробы к контакту с ИП. Если физическое свойство ФП<sub>ИВ</sub> может быть оценено непосредственно с помощью ИП, то контакт с ИП происходит сразу, но следует иметь в виду, что некоторые операции все же бывают необходимы, в частности разведение, перемешивание и другие, которые относятся к так называемым методическим эффектам (МЭ) [1], [4]. Но чаще всего при доведении ИВ<sub>БП</sub> до момента контакта с ИП требуется достаточно продолжительная по времени процедура, которая включает сильное перемешивание, фильтрацию, введения реагентов, химических трансформаций, воздействия физическими полями и других. Операции, основанные на таких методических эффектах, позволяют привести исходное вещество ИВ<sub>БП</sub> к некоторому конечному продукту (КП<sub>ИВ</sub>), для которого исследуемое свойство ИС отражается в таких свойствах физического поля ФП<sub>КП</sub> (измерительные эффекты ИЭ), на параметры которого реагирует ИП (рис. 2).

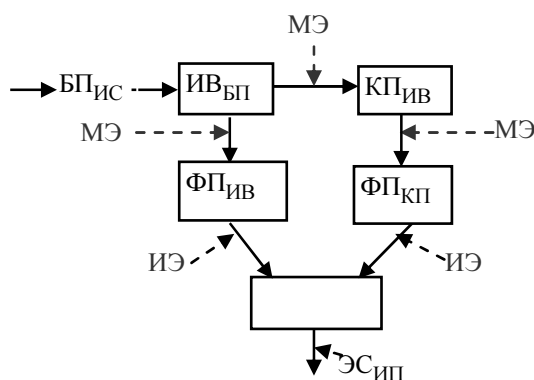


Рис. 2

В ИП формируется последовательность ЭС<sub>ИП</sub>, которые поступают на устройства первичной обработки сигналов (ПО). В них также выполняется последовательность операций, связанных с фильтрацией, линейными и нелинейными преобразованиями сигналов, которые позволяют получить другую совокупность сигналов ЭС<sub>ПО</sub>, несущих информацию об исследуемом свойстве ИС: оптической плотности, электрического потенциала, температуры и др. Остается только управлять с помощью этих сигналов устройством отображения (блок «Отображение» на рис. 1), чтобы эта информация стала доступной пользователю.

На последнем этапе в блоке «Интерпретация» осуществляется оценка конечных результатов анализа (КР). Чаще всего это делает сам пользователь, а иногда результаты поступают для дальнейшей обработки или хранения во внешние устройства.

Полная цепочка основных преобразований, связанная с технологической процедурой выполнения лабораторного исследования, представлена в виде условной записи (рис. 3).

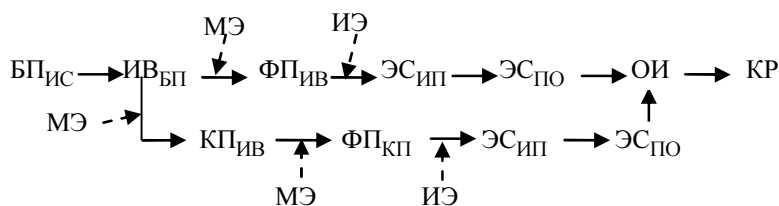


Рис. 3

<sup>1</sup> ИВ<sub>БП</sub> – часть БП<sub>ИС</sub>, используемая для анализа.

**Критерии качества аналитических исследований.** Общепринято, что контроль качества аналитического исследования – это, прежде всего, оценка результатов измерений контрольных образцов. Однако любая выполняемая в лаборатории процедура включает целый ряд важнейших операций, и на каждой из них возникает некоторая ошибка, которая влияет на конечный результат. Поэтому существующие представления об обеспечении качества результатов лабораторных исследований только за счет качественного выполнения аналитического этапа является очень узким, так как КР содержит вклады всех этих ошибок. Даже самые лучшие аналитические методы определения концентрации вещества в пробе не дают одинакового результата при повторных исследованиях одного и того же вещества, в одной и той же пробе, одним и тем же методом всегда существует некоторый разброс результатов.

Существенное влияние на выбор метода оказывает цель анализа: определение какого-либо параметра или оценка состояния ИС, но при этом не менее важными могут быть и другие факторы. Например, кроме диагностических возможностей метода, большое значение имеют скорость и простота выполнения лабораторного эксперимента с пробой, доступность исследования для широкого класса аналитических задач, достоверность результата, экономичность выбранного метода, уровень требуемой квалификации медицинского персонала, проводящего лабораторный эксперимент, и т. п. При выполнении исследований с биопробами из внешней среды особое внимание обращается на представительность набора биопроб по изучаемому региону, полноту и глубину исследования, безопасность обслуживающего персонала. Поэтому на практике при оценке достоверности общего результата используются несколько групп критериев, руководствуясь которыми рекомендовано выбирать конкретный метод и технологию исследования для решения поставленной медико-биологической задачи [1], [3], [4]:

- биомедицинские, отражающие диагностическую значимость показателей, а также количество материала, необходимого для анализа, способ отбора и доставки биологического материала в аналитическую лабораторию и т. д.;

- аналитические, связанные с оценкой возможностей метода: специфичность (способность выявлять наличие заданного компонента в БПИС), воспроизводимость, чувствительность и т. п.;

- безопасности, связанные с влиянием реактивов на здоровье исследователей и пациентов (токсичность, возможность заражения и т. д.), отсутствием травматизма при взятии биологических материалов на исследование и т. п.;

- технические, позволяющие оценить расход материальных ресурсов на проведение одного исследования, которые определяются наличием необходимого оборудования и приборов, их технические характеристики (быстродействие, помехоустойчивость, точность, ремонтпригодность и др.), уровень квалификации технического персонала, проводящего периодическую калибровку и юстировку, и т. п.;

- экономические, отражающие стоимость одного исследования, которая складывается из стоимости реактивов, амортизационных расходов по использованию оборудования, заработной платы обслуживающего персонала и т. д.

Две последние группы критериев в большей степени отражают технологические факторы, сопровождающие процесс выполнения конкретного аналитического исследования анализа. Учет технических и экономических критериев важен для планирования и проведения исследований. Естественно стремление к их оптимизации, т. е. подбору технических средств,



наиболее полно отвечающих решаемым задачам, закупке реактивов и оборудования, позволяющих минимизировать затраты на исследования. Важными представляются также и критерии безопасности, учитывающие остаточное влияние лабораторных процедур на здоровье медицинского персонала и пациентов. Однако перечисленных групп явно недостаточно для полноценной оценки эффективности выполняемого лабораторного исследования.

**Группа информационных критериев.** Рассмотренные выше группы критериев носят общий характер и могут быть отнесены к любому методу анализа. Внимание к учету их влияния на достоверность КР должно быть обязательным. Но среди них не представлены критерии, которые позволяли бы оценить потери диагностической информации при выполнении всей процедуры анализа или ее отдельных этапов и операций. Смысл выполнения любой технологической процедуры в аналитическом исследовании сводится к получению достоверной информации, которая содержится в параметрах анализируемой биопробы. В наиболее полном виде она содержится в самой пробе, но для ее извлечения требуется провести ряд преобразований как материала биопробы, так и сигналов после измерительного преобразователя (ИП).

В [2], [3] было предложено рассматривать всю цепь преобразований с БП<sub>ИС</sub> – от забора пробы из ИС до получения результата – как совокупность информационных преобразований. При этом исходная проба рассматривается как вещественный носитель некоторой информации о свойствах или характеристиках ИС, в получении которой заинтересован пользователь. Она содержится в физических или физико-химических параметрах БП<sub>ИС</sub>. При контакте с ИП происходит изменение носителя информации с вещественного на энергетический, обычно в форме электрического сигнала, поэтому искомая (полезная) информация будет содержаться уже в параметрах ЭС<sub>ИП</sub>. С ЭС<sub>ИП</sub> проводятся дальнейшие преобразования уже с целью получения КР. Таким образом, *все операции* в технологических процессах лабораторного анализа *связаны с сохранением или выделением этой информации*.

Представление о технологических операциях как об информационных преобразованиях с вещественными или энергетическими носителями позволяет предложить принципиально другие критерии – информационные. Они могли бы характеризовать потери диагностической информации при выполнении всей процедуры в целом и каждой операции в отдельности. Примерами таких параметров могут быть точность измерения, разрешающая способность, чувствительность, помехоустойчивость и другие, но определенные уже для всего технологического процесса, включающего преобразования как вещества, так и сигналов. При этом необходимо исходить из основной задачи совершенствования известных и создания новых аналитических методов – увеличения чувствительности и специфичности определения изучаемых компонентов.

*Специфичность метода* характеризует возможность выявления искомых аналитов в условиях мешающего влияния компонентов биологической среды, а также близких, но не идентичных по своей структуре (или функции) ее ингредиентов, которые являются своеобразной «помехой» для решения поставленной задачи.

*Чувствительность метода* будет определяться минимальной концентрацией исследуемого вещества, статистически достоверно отличающейся от аналогичного показателя контрольной (холостой) пробы, которая может быть задана заранее. Фактически, эта величина эк-

вивалентна пределу обнаружения искомого компонента в биопробе, т. е. минимальному количеству вещества, которое может быть обнаружено с достаточно высокой достоверностью. Эти требования напрямую связаны с точностью, воспроизводимостью и оценкой разброса результатов при повторных экспериментах с одним и тем же ИВ<sub>БП</sub> (или одной и той же БП<sub>ИС</sub>).

*Точность результатов* определяется по соответствию среднего значения результатов повторных измерений (или качественных определений) одного и того же материала ИВ<sub>БП</sub> некоторой номинальной величине, которую можно считать истинной, или корректной. Точность зависит от наличия систематической погрешности метода, которая, в свою очередь, может быть обусловлена рядом факторов: не специфичностью метода, неправильным построением калибровочной кривой, некорректным проведением контрольного опыта и т. п.

Под *воспроизводимостью метода* следует понимать соответствие результатов повторных измерений (определений) в одной и той же биопробе. Величина, обратная воспроизводимости, характеризует разброс результатов (аналитическую вариацию), которая зависит от наличия случайных погрешностей.

Исходная проба БП<sub>ИС</sub> практически всегда представляет собой совокупность различных компонентов:  $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_N$ , находящихся в разных взаимоотношениях друг с другом, среди которых находится искомый компонент  $K_i$ . Все операции по преобразованию вещества БП<sub>ИС</sub> связаны с удалением или ослаблением влияния мешающих компонентов. Для определения количества компонента  $K_i$  обычно достаточно исследовать какое-нибудь характерное для него физическое или физико-химическое свойство  $M_K$ . Но среди остальных компонентов БП<sub>ИС</sub> обязательно присутствуют составляющие, дающие «неспецифические» реакции, близкие к реакциям аналита; такие реакции искажают результаты исследований. Его информативный параметр  $M_{K_i}$  «сливается» с информативными параметрами сопутствующих веществ, на фоне которых он может и не выделяться.

Таким образом, в начале процедуры исследования приходится иметь дело с некоторым суммарным параметром  $M_K$  от всей совокупности веществ в БП<sub>ИС</sub>:

$$M_K = M_{K_i} \otimes \Sigma M_{K_n} + M_{\Phi_i}, \quad n = 1, N, \quad n \neq I, \quad (1)$$

где  $M_{K_i}$  – «полезная составляющая» БП<sub>ИС</sub>, параметр искомой компоненты;  $M_{\Phi_i} = \Sigma M_{K_n}$  – значения информативных параметров сопутствующих веществ, образующих фон для измеряемого параметра (характеристики); поэтому  $M_{\Phi_i}$  следует рассматривать как «аддитивные помехи» (примеси, фон),  $\otimes \Sigma M_{K_n}$  – мультипликативная составляющая «помехи».

Необходимо учитывать два типа помех: аддитивные, представляющие собой некоторый компонент пробы, количество которого не связано с количеством аналита  $K_i$ , и мультипликативные, образующие химическое или иное соединение с «полезной» составляющей; при этом количество последней пропорционально количеству аналита  $K_i$ . Если для удаления аддитивных примесей иногда достаточно включить в технологическую процедуру подготовительного этапа, например, операцию фильтрования, которая позволит отделить мешающие компоненты, то для выделения мультипликативных примесей необходимо применять сложные методы трансформирования биопробы (например, диализ, элект-

трофореz, химические реакции и др.). Однако при выполнении любых операций с БПИС происходят изменения и с изучаемым компонентом  $K_i$ , поэтому они могут внести существенные потери информации в конечном результате анализа.

Известно, что в измерительных системах *помехоустойчивость* определяется с помощью отношения  $\Psi_{\Pi}$  «параметр/флуктуация параметра» [4], [5], под которым понимается отношение перепада измеряемого параметра к эффективному значению его флуктуаций. Для анализа сигналов оно вырождается в хорошо известное отношение «сигнал/шум» (с/ш).

Приведенные выше рассуждения позволяют ввести аналогичное отношение для характеристики «помехоустойчивости» любого этапа (см. рис. 1). По аналогии с преобразованиями сигналов, смысл всех операций с веществом заключается в том, чтобы удалить, по возможности, мешающие компоненты и при этом сохранить искомый компонент без потерь:

$$\Psi^* = M_A / M_{\Phi}, \quad (2)$$

где  $M_A$  – количество «полезной» составляющей (аналита  $K_i$ );  $M_{\Phi}$  – «среднеквадратичное» количество «примеси» в веществе, характеризующее флуктуации полезной составляющей от одной биопробы к другой. Для определения  $M_{\Phi}$  легко использовать известные из теории сигналов приемы.

Величина  $M_{\Phi}$  для каждого эксперимента различна, поэтому для определения статистических характеристик примеси оказывается пригодным аппарат теории случайных функций. Это отношение будет чувствительно не только к условиям выполнения каждой операции с веществом БПИС, но и ко всем сопутствующим операциям, при выполнении которых возможны случайные влияния на исследуемый аналит  $K_i$ . Таким образом, для характеристики совокупности операций с веществом в соответствии с (2) можно ввести четыре важных отношения для оценки помехоустойчивости вещественных преобразований БПИС:

$\Psi_{\text{БП}}^*$  – для исходной биопробы, взятой из ИС;

$\Psi_{\text{КП}}^*$  – для конечного продукта КПИВ, с которым впоследствии вступает в контакт ИП;

$\Psi_{\text{ЭС}}$  – для сигналов измерительного преобразователя;

$\Psi_{\text{КР}}$  – для конечного результата.

Практически всегда будет выполняться соотношение:  $\Psi_{\text{КП}}^* > \Psi_{\text{БП}}^*$ , но при этом количество  $K_i$  будет меньше, чем в исходной пробе. Эта ошибка – плата за возможность выделения искомого компонента из БПИС.

Измерение параметра, характеризующего  $K_i$ , осуществляется после взаимодействия КПИВ с измерительным преобразователем; теперь информация содержится в параметрах электрического сигнала  $\text{ЭС}_{\text{ИП}}$ , для которого показателем помехоустойчивости становится отношение с/ш:  $\Psi_{\text{ЭС}} = U / \sigma_U$ , где  $U$  – амплитуда сигнала, а  $\sigma_U$  – его среднеквадратичное отклонение.

Если бы ИП не вносил свои погрешности в результаты, то  $\Psi_{\text{КП}}^* = \Psi_{\text{ЭС}}$ , но последующие блоки обработки сигнала только ухудшают это отношение. Поэтому конечный результат имеет другое отношение:

$$\Psi_{\text{БП}}^* < \Psi_{\text{КП}}^* < \Psi_{\text{ЭС}} < \Psi_{\text{КР}}.$$

При этом в КР содержатся накопленные при разных преобразованиях ошибки.

Аналогично можно получить выражения для оценки других информационных критериев, которые можно ввести для характеристики диагностической информации.

Чувствительность всего процесса ЛА будет характеризоваться тем минимальным количеством исходного вещества пробы ( $\min\{M_{БП}\}$ ), анализ которого в данных условиях эксперимента позволит получить оценку исследуемого свойства (характеристики) с заданной погрешностью или при допустимом значении  $\Psi_{КР} = \Psi_{доп}$ .

Разрешающую способность метода ЛА можно оценить по минимальному изменению исследуемой характеристики (свойства) пробы  $\{\Delta M_{БП}\}$ , которое может быть определено данным методом, т. е. которому будет соответствовать значимое (фиксируемое) изменение выходного параметра анализатора  $\Delta КР$ .

Кроме информационных критериев, которые позволят оценить потери информации для каждой операции и всей процедуры в целом, очень важной группой являются временные критерии, характеризующие затраты времени на выполнения одной или нескольких операций и всего процесса в целом. Хорошо известно, что всю цепочку технологических операций необходимо выполнить как можно быстрее, так как со временем информация о свойствах ИС теряется [4] (эти потери невосполнимы) и задержка в получении результата исследования часто определяет дальнейшую судьбу пациента.

Одним из временных критериев для аналитических исследований является общая продолжительность анализа  $T_0$  – время, затраченное на проведение одного исследования с момента отбора вещества биопробы из исследуемой среды до получения значения диагностического показателя в его качественном или количественном выражении. Этот критерий учитывает, что при большой продолжительности времени  $T_0$ , кроме задержки результата, уменьшается его достоверность (за счет исчезновения связи с ИС), так как биопроба, взятая из исследуемой среды, начинает подвергаться влиянию новых для нее внешних условий, постепенно теряя связь с той средой, из которой она была взята.

Показатель  $T_0$  связан с анализом временной структуры всего исследования, складывающейся из продолжительности отдельных операций. Поэтому, введя обозначения для времени, затрачиваемого на выполнение отдельной операции –  $t_{оп}$ , входящий в технологию выполнения преаналитического ( $t_{ПЭ}$ ) и аналитического ( $t_{АЭ}$ ) этапов, можно построить полную временную диаграмму выполнения исследования – его своеобразный «сетевой график». Результаты сравнения таких диаграмм дают основания для оптимизации самого исследования – определения «узких мест», тормозящих процесс, и разработки приемов ускорения операций, например за счет воздействий на изучаемые материалы внешними физическими полями [6]. Конечно, необходимо учитывать продолжительность и постаналитического этапа, но часто, особенно в экстремальных условиях, сам врач по полученным результатам принимает решение о дальнейших медицинских мероприятиях.

В заключение можно сказать следующее. Введение перечисленных информационных критериев для операций с веществом позволяет устанавливать информационное согласование между отдельными этапами лабораторного анализа с вещественными или сигнальными преобразованиями. Группа информационных критериев качества позволяет применить известные результаты из теории информации для оценки всех информацион-

ных характеристик технологического процесса выполнения лабораторного анализа. Для дальнейшего изучения и оценки пригодности информационной группы критериев требуется проведение экспериментальных исследований путем создания исходных биопроб с регулируемым содержанием искомого аналита и включением в состав мешающих компонентов. Здесь могут быть использованы известные наборы контрольных тестов, широко используемых при оценке качества лабораторных анализов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиническая лабораторная аналитика / под ред. В. В. Меньшикова. М: Изд-во Агат-Мед. Т. 1 и 2. 2002. 860 с.
2. Попечителей Е. П. Информационно-структурное описание аналитических исследований // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 4.
3. Попечителей Е. П., Старцева О. Н. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии: М.: Высш. шк. 2003. 279 с.
4. Попечителей Е. П., Старцева О. Н. Инфоструктурная модель твердофазного иммуноферментного анализа в ультразвуковом поле // Изв. ЛЭТИ. Вып. 432. 1991.
5. Попечителей Е. П. Системный анализ биомедицинских исследований. Саратов: Научн. книга, 2009. 368 с.
6. Попечителей Е. П. Метод редукции в задачах метрологического анализа алгоритмов обработки фотометрической информации // Вестн. Метрологической академии, 2000. Вып. 5.

*Popechitelev E. P.*

### *INFORMATIVE CRITERIA OF QUALITY OF IMPLEMENTATION OF ANALYTICAL RESEARCHES*

*Are considered quality's criteria for analytical researches of biomaterials among which the special attention directionally on informative criteria. This group of criteria allow with the use of information theory to analyse all stages of implementation of complete cycle of technological processes, related to transformations of materials and signals after a measuring transformer.*

**Analytical researches, biological test bioassay, criteria of quality, informative criteria, antijammingness, sensitiveness and discriminability of lab test**

УДК 004.4'22:[612.76:612.75.1.1]

*Т. А. Патрина*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ И ИМПЛАНТАТОВ НА ОСНОВЕ НАБОРА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ БЛОКОВ**

*Рассматривается архитектура организации автоматизированной системы для исследования и контроля биомеханических параметров костных тканей и имплантатов, а также программные модули, автоматически вызывающие извне функции специализированных программ. Рассказывается о пользовательском интерфейсе, о технических возможностях системы и информационном наполнении.*

**Автоматизация функциональности программных блоков, исследование и контроль биомеханических параметров, напряженно-деформированное состояние костной ткани**

Переломы костей и заболевания костных тканей, вызванные осложнениями хирургических операций, болезней по возрасту приводят к нарушению двигательных функций суставных поверхностей. Выходом из этой ситуации может быть замена пострадавшей части искусственным протезом, установка фиксатора. Это позволит устранить или значи-

тельно уменьшить болевой синдром, обеспечить опороспособность конечности, восстановить движение в суставе. Но есть и побочные эффекты: установка инородного тела в костную ткань приводит к перераспределению нагрузки внутри кости, что ведет к изменению ее внутренней структуры. К таким нагрузкам можно отнести действие силы тяжести, усилия действия мышц в местах закреплений к костной ткани, различные нагрузки, вызванные движением (ходьба, подъем и спуск по наклонной поверхности, бег, прыжки, поднятие грузов и т. п.).

Для уменьшения нежелательных последствий операции, неправильного выбора имплантата или фиксатора целесообразно разработать систему исследования и контроля биомеханических параметров костных тканей, позволяющую смоделировать анатомически правильную структуру поврежденной костной ткани, функционально стабильную.

В результате анализа состояния процесса остеосинтеза система должна дать количественную оценку влияния конструкции эндопротеза на костную ткань с визуализацией характеристик напряженно-деформированного состояния. Благодаря этому сократится время реабилитации пациентов и уменьшится риск повторного оперирования.

Автоматизированная система актуальна и для эргономики. На основе физиологии опорно-двигательного аппарата и биомеханики процесса производственной деятельности с разной интенсивностью при конкретных видах работ, применяя компьютерное моделирование, можно корректировать условия рабочего места для человека, способствующие сохранению здоровья, повышению эффективности труда, сохранению работоспособности человека в течение всего рабочего дня.

Разрабатываемая система позволяет смоделировать и выбрать наилучшую технику и тактику двигательных действий человека во время спортивных тренировок и в процессе занятий оздоровительными формами физической культуры.

Решающим фактором в формировании автоматизированной системы является время проведения анализа биотехнических параметров костных тканей и удобный понятный интерфейс для пользователей различного уровня квалификации.

Необходимо наличие сервисных подпрограмм визуализации и справки.

В настоящее время не существует реализаций таких программ, поэтому ее разработка является актуальной задачей, решение которой имеет большое теоретическое и практическое значение.

Разработка системы проходит в рамках НИР Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) при поддержке Российского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена.

Теперь рассмотрим подробно ее архитектуру. Структура пользовательского интерфейса представлена на рис. 1.

Для решения двух задач: создания геометрической и расчетной моделей, были выбраны два программных комплекса, которые составляют программные блоки системы. Программное обеспечение Mimics позволяет быстро преобразовать набор изображений, полученных с компьютерных томографов, в 3D-объекты и подготовить эти объекты для дальнейшего анализа в универсальном конечно-элементном комплексе Ansys Multiphysics, где выполняются расчеты напряженно-деформированного состояния костной ткани.

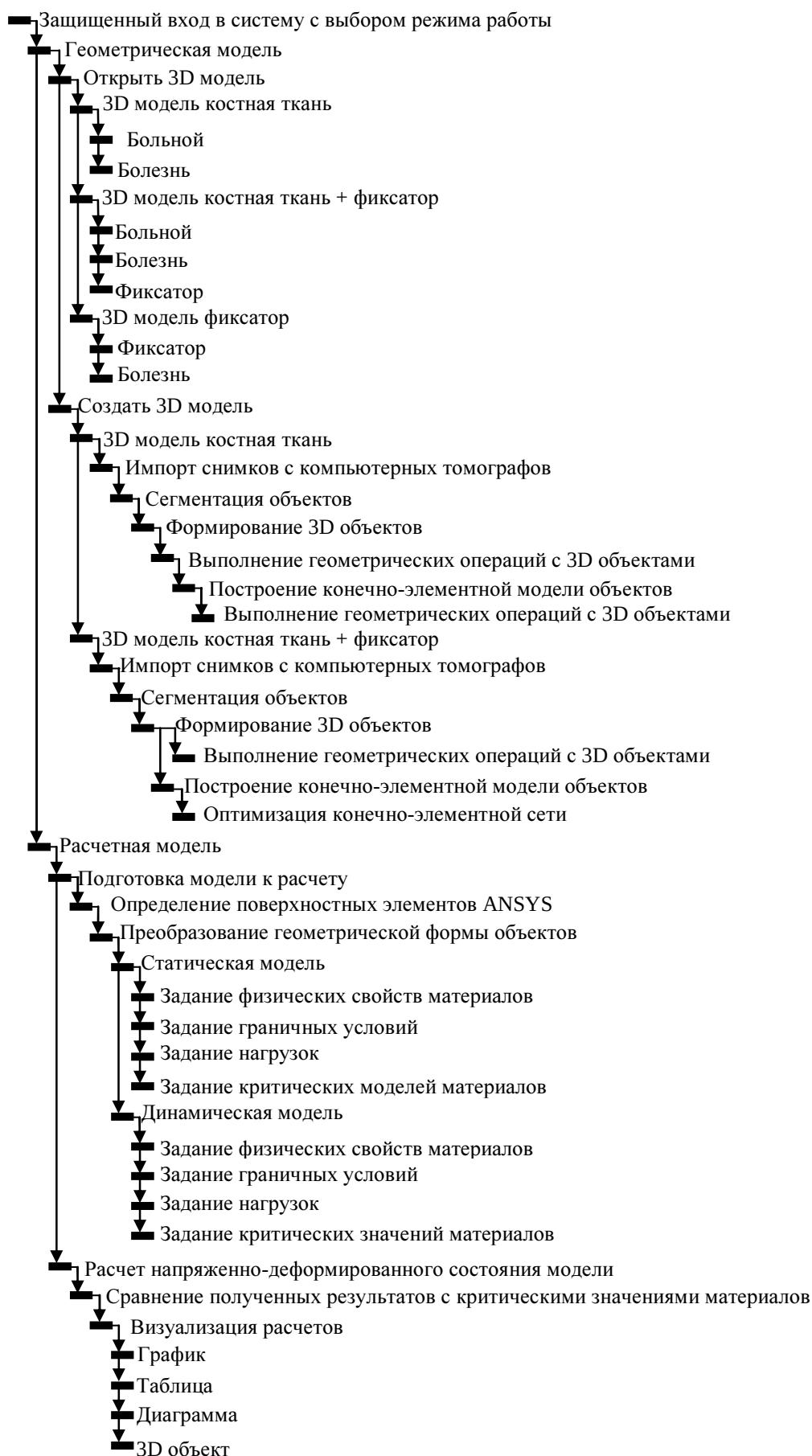


Рис. 1

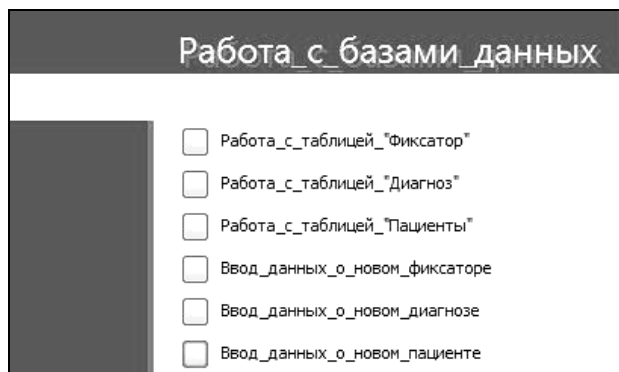
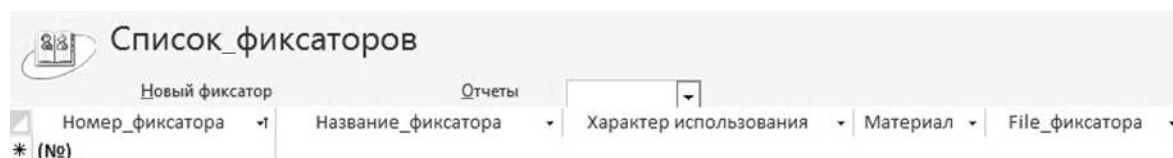


Рис. 2

База данных моделей костных тканей и фиксаторов организована в Microsoft Access 2010. Запуск базы данных начинается с кнопочной формы, представленной на рис. 2. Часть последующих форм работы с таблицами: *а* – фиксаторов, *б* – диагнозов, *в* – пациентов, показана на рис. 3. Пользователю представлена возможность найти снимки компьютерных томограмм либо уже построенную 3D-модель в базе данных по фамилии

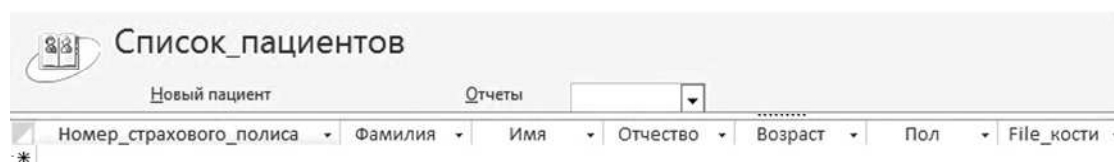
пациента, по названию диагноза; по назначению фиксатора, а также выполнить отбор моделей костных тканей по возрасту, полу; отбор моделей фиксаторов по характеру использования, составить отчет. По завершении всех операций, выполненных в первом программном блоке системы, можно сохранить готовую геометрическую модель в базе данных, указав значения атрибутов этой модели.



*а*



*б*



*в*

Рис. 3

Объекты базы данных Access предоставляются в совместное использование либо через Интернет на статической странице HTML, либо по сети на файловом сервере. Это позволяет пользователям на разных ПК иметь одновременный доступ к данным таблиц и ко всем объектам: формам, отчетам, запросам, макросам и модулям, что делает автоматизированную систему еще более функциональной.

Для упрощения решения поставленных задач и сокращения времени их выполнения подготовлена информационная поддержка в виде сносков, pdf-файлов, видеофайлов с субтитрами, с голосовым сопровождением.

Программный комплекс содержит научную базу знаний по хирургии, физиологии и биомеханике человека (табличные значения биомеханических свойств костных тканей и фиксаторов в статике и динамике, информация по оперативной хирургии, словарь медицинских



терминов, справочник анатомии человека) и информационно-технологическую базу (руководство пользования системой, видеоинструкции и прочие вспомогательные данные, размещенные на электронных и бумажных носителях). На рис. 4, 5 приведены примеры осуществления информационной поддержки на этапе создания геометрических моделей.

После получения 3D-объекта строится его конечно-элементная модель и затем автоматически загружается во второй программный комплекс Ansys. Геометрические операции, такие как выполнение разреза, измерение расстояния, преобразование формы, установка фиксатора в костную ткань, можно выполнить как в первом, так и втором программных блоках, а нахождение биомеханической оси и определение положения ядра сечения диафиза бедренной кости – только во втором.

На рис. 6 показаны загруженная в пакет Ansys геометрическая модель бедренной кости в формате .igs (а) и конечно-элементная модель этой же кости с подвздошной костью в формате .cdb (б). В качестве исходных данных использовались снимки компьютерной томограммы, предоставленные научно-исследовательским институтом травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена.

Далее модель готовится к расчету. В первую очередь, пользователю предложено задать свойства материалов. Значения изотропных свойств губчатой кости, а также ортотропных свойств кортикальной кости, взятые из зарубежных литературных источников и полученные экспериментальным путем институтом им. Р. Р. Вредена [1], содержатся в системе. Критические значения материалов тоже берутся из табличных данных. Затем задаются граничные условия, прикладываются либо статические, либо динамические нагрузки в зависимости от вида движения человека. Вес тела пациента без учета нижних конечностей учитывается через давление на площадку из соединительных элементов подвздошной кости и бедренной кости. Действие мышц на кость тоже выражается через силу, распределенную по площади прикрепления мышечной ткани к кости [2]. В данном случае, исходя из анатомических особенностей строения костей тазового кольца, таких областей 21 (рис. 7, а). Они отмечаются на поверхности модели SURF-элементами. Угол наклона между бедренной костью и тазовым кольцом составляет  $15^\circ$ .

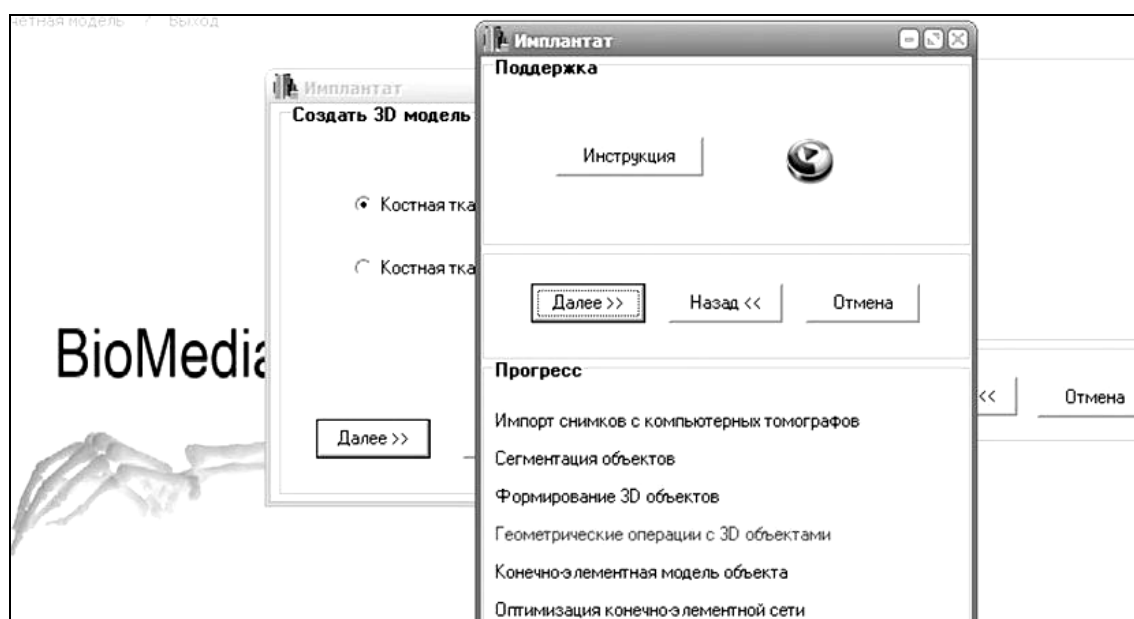


Рис. 4

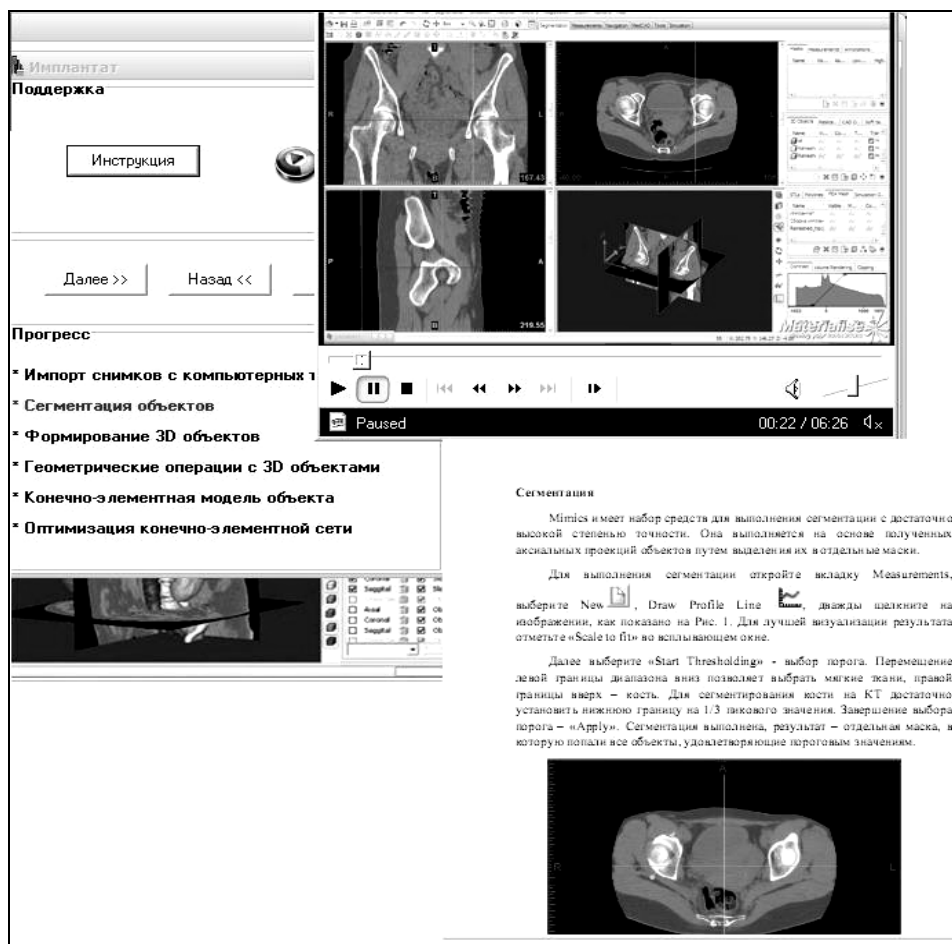
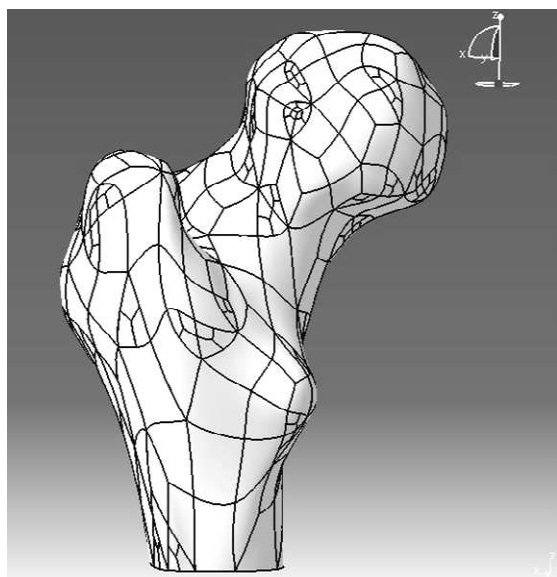


Рис. 5



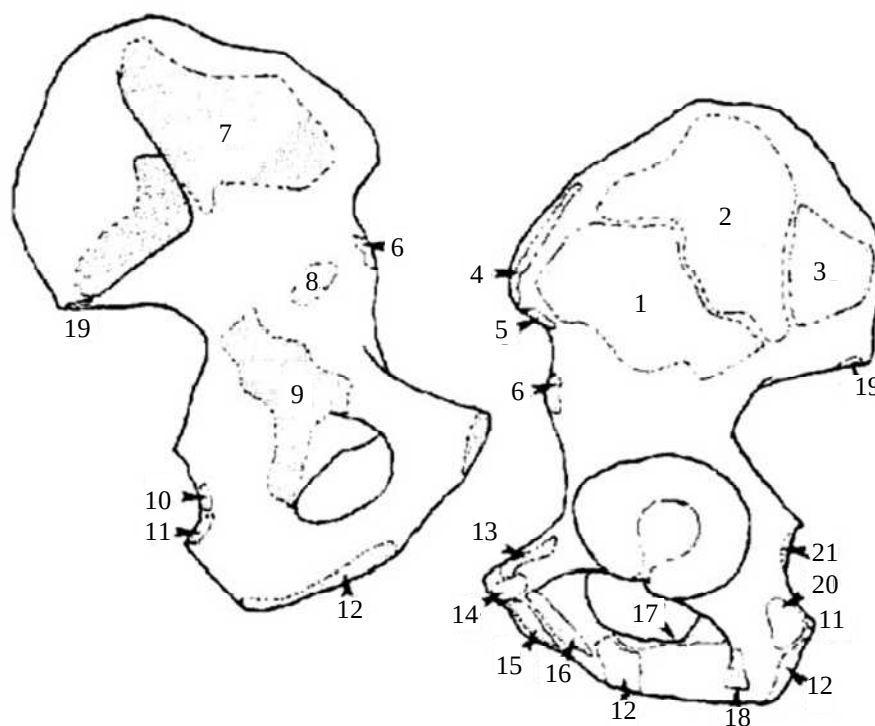
а



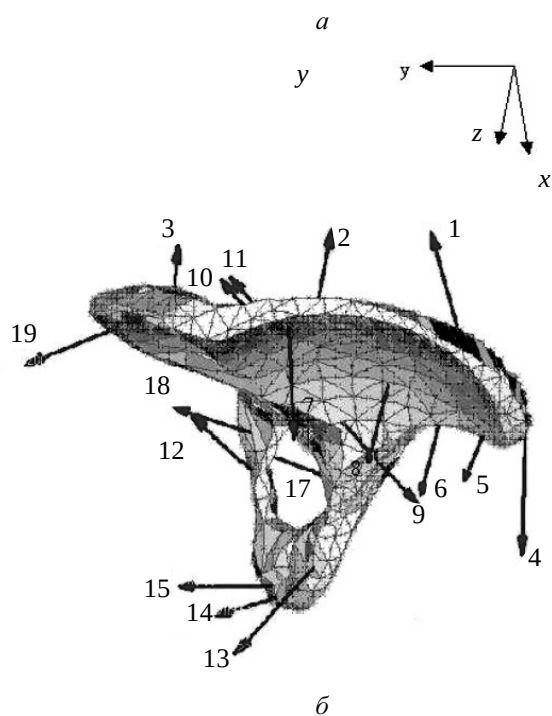
б

Рис. 6

С учетом направления расположения продольных мышечных волокон [3], схема действий основных векторов мышечных сил представлена на рис. 7, б. Значение  $F(x)$ ,  $F(y)$ ,  $F(z)$  – проекции вектора силы со стороны мышечной ткани на оси системы координат, задаются из научной базы программного комплекса [4]. Их значения зависят от вида деятельности человека и ее интенсивности.



- |                          |                          |                           |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. m. gluteus minimus    | 9. m. obturator internus | 17. m. obturator externus |
| 2. m. gluteus medius     | 10. m. gemellus inferior | 18. m. quadratus femoris  |
| 2. m. gluteus maximus    | 11. m. semitendinosus    | 19. m. piriformis         |
| 2. m. tensor fascia lata | 12. m. adductor mangnus  | 20. m. Semimembranosus    |
| 2. m. sartorius          | 13. m. pectineus         | 21. m. gemellus superior  |
| 2. m. rectus femoris     | 14. m. adductor longus   |                           |
| 2. m. iliacus            | 15. m. gracilis          |                           |
| 2. m. psoas              | 16. m. adductor brevis   |                           |



*Рис. 7*

Далее пользователю предлагается выполнить расчет биотехнических параметров. Существует несколько способов визуализации результатов: таблица, диаграмма, график, в виде 3D-объекта. На рис. 8 приведен скриншот окна цветовой визуализации напряженно-деформированного состояния бедренной кости: *а* – с BHR имплантатом и *б* – с ННН имплантатом в виде 3D-объекта.

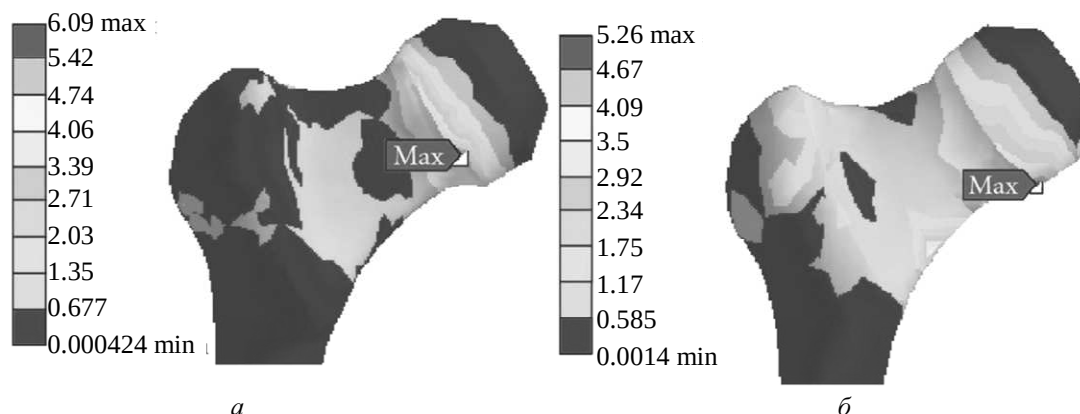


Рис. 8

При подобных нагрузках реальных костей полученные результаты близки к данным, приведенных в иностранной литературе [5], [6], а также к экспериментальным работам, проведенных Российским научно-исследовательским Институтом травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена, что говорит о достоверности полученных результатов.

Таким образом, данный способ организации пакета прикладных программ позволяет многократно использовать программный код для нахождения биомеханических параметров имплантатов, костных тканей в норме и патологии, дает гибкость настройки программы и возможность адаптировать пакет для решения новых задач. В системе учтены такие факторы, как время и простота выполнения операций. Подготовлены информационная и научно-технологическая базы знаний, помогающие пользователю смоделировать анатомически правильную структуру костной ткани и сделать ее функционально стабильной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кнетс, И. В. Деформирование и разрушение твердых биологических тканей / И. В. Кнетс, Г. О. Пфафрод, Ю. Ж. Саулгозис. – Рига: Зинатне, 1980.
2. Янсон, Х. А. Биомеханика нижней конечности человека / Х. А. Янсон. – Рига: Зинатне, 1975.
3. Crowninshield, R. D. A physiologically based criterion of muscle force prediction in locomotion / R. D. Crowninshield, R. A. Brand // J. Biomechanics 14, 1981. – P. 793–801.
4. Серов, М. А. Расчет нагрузки в области тазового кольца / М. А. Серов, А. А. Родионов, Н. В. Шатохин // Математическая морфология, 2006. – Т. 5, № 4.
5. Huiskes, R. The relationship between stress shielding and bone resorption around total hip stems and the affect of flexible materials / R. Huiskes, H. Weinans, B. Van Reitbergen // Clin. Orthop., 1992. – P. 124–134, 272.
6. Zienkewicz, O. C. The finite element method 5th ed. / O. C. Zienkewicz, R. L. Taylor. – Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2002.

*T. A. Patrino*

*AUTOMATED SYSTEM FOR THE RESEARCH AND THE CONTROL OF BIOMECHANICAL PARAMETERS OF BONE TISSUES AND IMPLANTES ON THE SET OF SPECIAL SOFTWARE BLOCKS*

*The organizational architecture of automated system for the research and the control of biomechanical parameters of bone tissues and implants is shown. Program modules carry out from the outside an automatic call of special program function. It is told about the user interface, about technical possibilities of system and information filling.*

**Automated the function of operating software blocks, the research and the control of biomechanical parameters, the strain-deformed condition of a bone tissue**



УДК 378.147+004.58

*Е. Е. Котова*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ**

*Рассматриваются адаптивная управляемая модель процесса обучения с применением конечных автоматов и технологии интеллектуальных агентов с целью выявления и поддержки условий протекания наиболее успешного процесса обучения с применением дидактических стратегий управления.*

**Модель обучения, адаптивные системы обучения, стратегии обучения, конечные автоматы, персональные агенты**

Вопросы изучения процесса и представления моделей обучения рассматривались разными учеными примерно с 1980-х гг. Причем не только в математической, технической и кибернетической литературе (М. Х. Эренштейн, Г. С. Тарасенко, Р. Буш, Ф. Моселлер, А. И. Берг и др.), но и учеными, работающими в области психологической и педагогической науки (В. А. Якунин, В. В. Давыдов и др.). Еще в 1974 г. Б. Ф. Ломов, отечественный психолог, занимающийся вопросами общей, инженерной и педагогической психологии, отмечал, что проблемы обучения и воспитания относятся к тем проблемам, разработка которых требует системного подхода [1]. Педагогические системы, системы обучения с точки зрения системного подхода рассматривались учеными Н. В. Кузьминой, Б. Ф. Ломовым, В. А. Якуниным, Т. А. Ильиной, Ф. Ф. Королевым; с точки зрения интеграционных процессов – И. П. Яковлевым; вопросов управления процессом обучения – Л. А. Растригиным; управления процессом усвоения знаний – Н. Ф. Талызиной; дифференциальной психологии учебной деятельности – Г. Клаусом; исследований по искусственному интеллекту – Н. Винером, У. Р. Эшби; адаптивности обучающих систем – Я. Э. Зидере, Л. А. Растригиным, М. Х. Эренштейном, Я. З. Цыпкиным и др.

Несмотря на развитие данных идей, основные тезисы несомненно актуальны и сегодня. А именно: педагогические системы процесса обучения являются динамическими системами, функционирующими в условиях изменчивости как внешних факторов, так и внутренних состояний системы [2], в условиях изменений целей, возникновения новых задач,

обновления информации, совершенствования методов обучения, что соотносится с новыми стандартами обучения, а также изменения контингента учащихся и педагогов, что является существенным. Несмотря на то, что проблеме моделирования процесса обучения уделяется достаточно много внимания, некоторые вопросы требуют новых решений в связи с перестройкой системы высшего профессионального образования на всех уровнях. Отмечается, что педагогическая наука недостаточно использует количественные методы и математические модели исследований процессов; «не дает четких и однозначных рекомендаций по поводу того, как достичь желаемого результата»; недостаточно исследованы процессы педагогического взаимодействия, оптимальные формы организации обучения студентов, дифференциации учебного знания [3].

**Разработка модели процесса обучения.** В соответствии с перечисленными актуальными вопросами в данной статье ставится задача выявления и поддержки условий наиболее успешного протекания процесса обучения, поиска новых дидактических приемов и средств преподавания не только с ориентировкой на ведущие тенденции развития современной образовательной системы, но и с учетом принципа функциональности соответствия.

Основные положения построения модели процесса обучения следующие:

1. Понятие «обучение» трактуется как система дидактических воздействий, определяемая содержанием, методами и формами предъявления учебного материала в целях его усвоения (в рамках дифференциальной психологии учебной деятельности). Термином «обучение» обозначается процесс передачи знаний учащемуся [4].

2. Когнитивные процессы (восприятие информации, запоминание и воспроизведение, понятийная переработка, репрезентация знаний и др.) являются необходимой предпосылкой учения и характеризуют межиндивидуальную вариативность в параметрах познавательных процессов (к ним относятся когнитивные стили – устойчивые индивидуальные особенности познавательных стратегий, значимые параметры индивидуальности).

3. Наличие адаптивности является важным признаком обучающей системы.

Наиболее полная классификация адаптивных систем представлена в работе П. Брусиловского<sup>1</sup>, где автор подразделяет адаптивные web-системы на три группы: 1 – адаптивные информационные системы; 2 – адаптивные фильтрующие системы; 3 – обучающие адаптивные системы (ОАС). Там же отмечается, что класс ОАС представляет самую большую группу адаптивных систем и объединяет множество типов различных систем.

В [5] Л. А. Растрин, тщательно анализируя понятия адаптации и управления, формулирует проблему адаптации как способа управления объектом в обстановке неопределенности среды и самого объекта, рассматривает понятие адаптации «как активного действия (управления)», понятие «управление с адаптируемой моделью» и особо отмечает, что «адаптация выступает в качестве средства управления объектом при отсутствии его точной модели» и что «адаптация, как и всякое управление, есть организация такого целенаправленного воздействия на объект, при котором достигаются заданные цели» [5].

Принимая данные понятия, разрабатываемую модель отнесем к обучающим адаптивным системам с участием преподавателя. Отличительной особенностью модели является введение в структуру реализации системы программных персональных управляющих

---

<sup>1</sup> Брусиловский П. Л. Адаптивные обучающие системы в World Wide Web: обзор имеющихся в распоряжении технологий. <http://ifets.ieee.org/russian/depository/WWWITS.html>.

агентов. Структурная схема концептуальной модели процесса обучения представлена на рис. 1. Выделим в модели субъект и объект управления. Объектом управления является состояние студента, на которое можно целенаправленно воздействовать и которое изменяется под воздействием среды, т. е. состоянием можно управлять. Субъектом является преподаватель, он же является источником целей своей деятельности (наборов требований, предъявляемых к состоянию объекта, применяемых стратегий в процессе обучения, средств оценивания состояния студента), реализуемых управлением.  $X$  – формируемые воздействия;  $Z$  – уровень знаний студента;  $T$  – результаты оценивания;  $Y$  – результаты обучения. Необходимо определить, каким образом можно воздействовать на объект, т. е. при помощи стратегий обучения  $Q$  через ресурсы обучения изменять состояние объекта и определить каналы управления. В данной модели подсистемой воздействия является подсистема «состояние студента» и таким каналом будет отдельный вход объекта  $X$  ( $X'$ ).

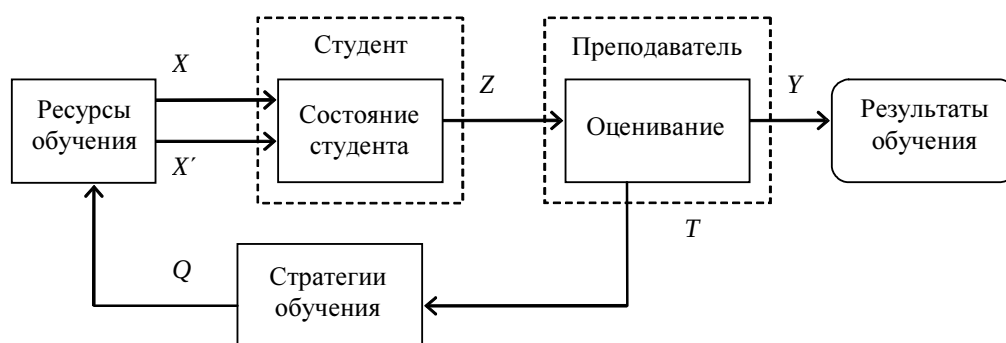


Рис. 1

В настоящее время предложены удобные для формализации состояний систем и процессов математические модели на основе автоматов [6].

На рис. 2 представлена модель процесса обучения с применением формализма теории автоматов.

Процесс обучения представляется в виде взаимодействующих автоматных моделей. Подсистема «состояние студента» представлена тремя составляющими, раскрывающими отличия данной модели. Помимо составляющей, отражающей знания, включены когнитивная составляющая модели обучаемого и составляющая поведения. Целью декомпозиции модели обучаемого на три составляющие является не только передача студентам определенных объемов учебной информации в процессе обучения (подсистема «знания») с учетом сформированности когнитивно-познавательной сферы, но и формирование у него познавательных стратегий самообучения (подсистема «поведение»), о необходимости которых говорится в литературе [3]. Введены следующие обозначения:  $A^P$  – автоматная модель «ресурсы обучения»;  $A^C$  – автоматная модель «студент», включающая  $A^{KM}$  – автоматную модель «когнитивная модель»;  $A^3$  – автоматную модель «знания»,  $A^П$  – автоматную модель «поведение»;  $A^O$  – автоматная модель «оценивание»;  $A^{CO}$  – автоматная модель «стратегии обучения», включающая  $A^{TO}$  – автоматную модель «траектория обучения» и  $A^{CP}$  – автоматную модель «стратегии преподавателя». В данной модели подсистемы воздействия – подсистема «знания» и подсистема «поведение» – являются управляемыми, подсистемы «траектория обучения» и «стратегии преподавателя» – управляющими. Тогда каналами управления будут отдельные входы объекта  $X$  и  $X'$ .

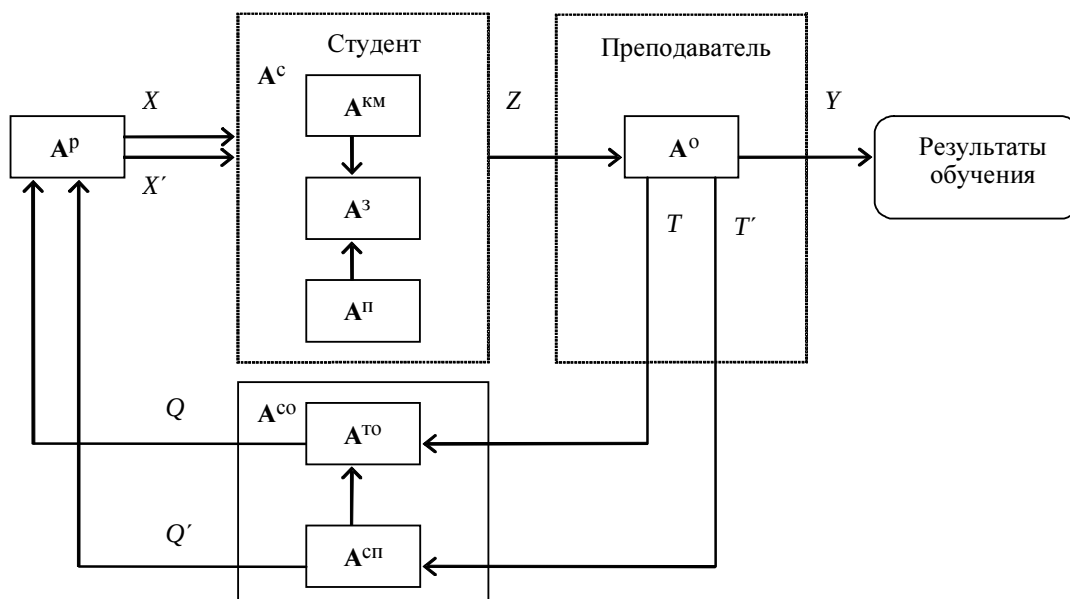


Рис. 2

Задачей управляющих автоматных моделей  $A^{то}$  и  $A^{сп}$  является управление с помощью выходов  $Q$  и  $Q'$  автоматом  $A^c$  таким образом, чтобы за определенное время достичь необходимых учебных результатов. Задача может быть разбита на несколько подзадач: 1 – предъявление учащимся учебных модулей, накопление результатов, определение рейтинга; 2 – ведение мониторинга процесса обучения (протоколов, накапливающих информацию обо всех событиях); 3 – анализ ситуации и определение действий, которые необходимо предпринять преподавателю для конкретного обучаемого; 4 – определение стратегий преподавателя; 5 – предоставление обучающего материала в соответствии с траекторией обучения студента.

Преподаватель является активным участником учебного процесса: в зависимости от промежуточных текущих результатов, успехов обучаемого он может ускорять или углублять процесс обучения; при необходимости замедлять темп продвижения; давать расширенные, более детальные пояснения, примеры и задания (как помощь, например, – решение задач на примерах), дополнительные вспомогательные материалы; использовать специальные интерактивные формы занятий в виде, например, парного выполнения заданий или смены «ролей» и др.

В ранних разработках программированного обучения многие авторы, например, Дж. Лидэм, Д. Анвин, Дж. Хартли подчеркивали, что парное обучение способствует большей прочности запоминания материала, разрешению индивидуальных трудностей, повышению мотивации, большей экономичности [7]. Особенностью данной модели является применение интерактивных технологий как управляющих стратегий преподавателя в зависимости от ряда условий.

На основании разработанной модели можно перейти к формальному представлению системы с применением формализма теории автоматов. Фрагмент формализованной модели алгоритма управления стратегиями преподавателя на этапе промежуточного контроля учебного процесса при помощи формализма автоматной модели Мура представлен на рис. 3 (инструментальное средство ArgoUML (University of California, версия 0.26.2).

Процесс обучения (включающий действия и поведение обучаемого в учебном процессе, предоставление учебных материалов, получение результатов, действия преподавателя и др.) рассматривается как дискретный процесс, характеризующийся некоторыми устойчивыми состояниями системы.



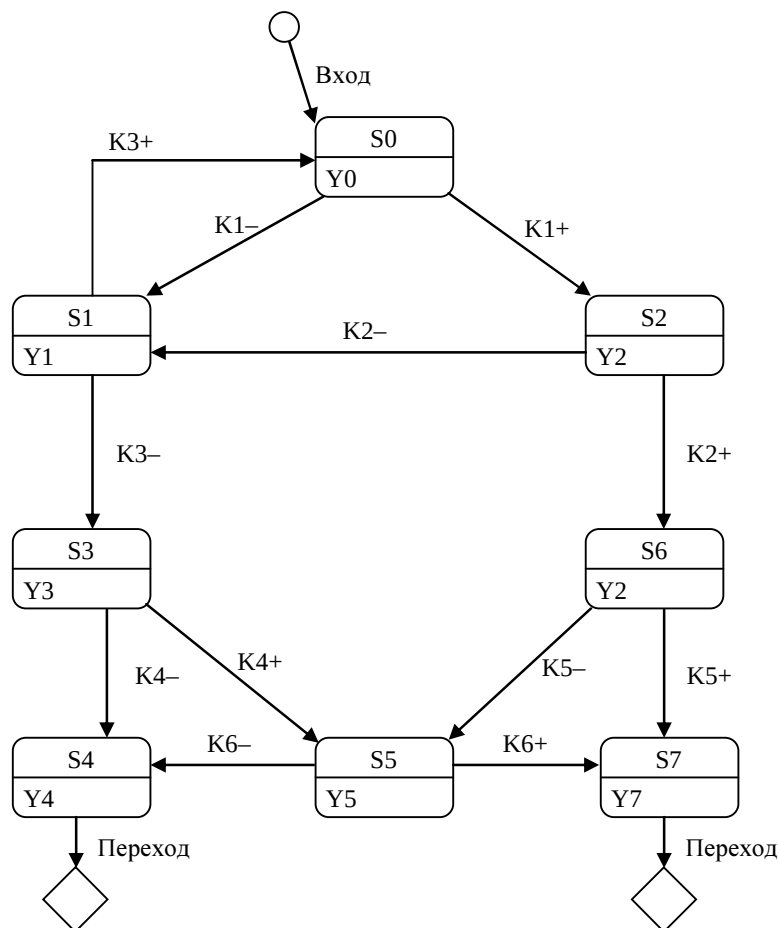


Рис. 3

Представлен фрагмент автоматной модели  $A^{сп}$  («стратегий преподавателя»), где  $S = (S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7)$  – конечное множество состояний,  $S0$  – начальное состояние. Входными сигналами являются  $K_n$  – оценки, полученные студентом:  $K_n+$  (положительные),  $K_n-$  (отрицательные).  $Y = (Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7)$  – конечное множество выходов. Выход автомата определяется однозначно тем состоянием, в которое автомат переходит после приема входного сигнала. Поскольку выходами являются стратегии преподавателя, то необходимо задать действия преподавателя. Преподаватель может задать набор действий при помощи графа или таблицы (пример представлен в табл. 1).

Таблица 1

| Состояния | Описание                                                 | Действия преподавателя | Описание                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S0        | Нейтральное                                              | Y0                     | Наблюдение                                                                                                        |
| S1        | Внимание                                                 | Y1                     | Предупреждение                                                                                                    |
| S2        | Соответствие норме и плану процесса обучения             | Y2                     | Похвала                                                                                                           |
| S3        | Неудовлетворительное                                     | Y3                     | Особое внимание: дополнительные задания, применение специальных технологий, занесение в список понижения рейтинга |
| S4        | Крайне неудовлетворительное. Окончательный результат (-) | Y4                     | Незачет в ведомость                                                                                               |
| S5        | «Надежда». Шанс продолжения                              | Y5                     | Допуск к зачету (финальная проверка)                                                                              |
| S6        | Удовлетворительное                                       | Y6                     | Поощрение, занесение в список повышения рейтинга                                                                  |
| S7        | Окончательный результат (+)                              | Y7                     | Зачет в ведомость                                                                                                 |

Отношения между состояниями и выходами автоматной модели удобно представлять в виде таблиц. В табл. 2 представлены отношения между состояниями и функциями выходов «состояния – действия преподавателя».

Таблица 2

| Состояния | Действия преподавателя |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|           | Y0                     | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 |
| S0        | *                      |    |    |    |    |    |    |    |
| S1        |                        | *  |    |    |    |    |    |    |
| S2        |                        |    | *  |    |    |    |    |    |
| S3        |                        |    |    | *  |    |    |    |    |
| S4        |                        |    |    |    | *  |    |    |    |
| S5        |                        |    |    |    |    | *  |    |    |
| S6        |                        |    |    |    |    |    | *  |    |
| S7        |                        |    |    |    |    |    |    | *  |

$Y_m: S_{i-1} \rightarrow S_m$ .

В табл. 3 представлены отношения между входными сигналами состояний автомата и выходными, т. е. действиями преподавателя «входы (оценки, полученные студентами) – действия преподавателя».

Таблица 3

| Оценки | Действия преподавателя |    |    |    |    |    |    |    |
|--------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|        | Y0                     | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 |
| K1–    |                        | *  |    |    |    |    |    |    |
| K1+    |                        |    | *  |    |    |    |    |    |
| K2–    |                        | *  |    |    |    |    | *  |    |
| K2+    |                        |    | *  |    |    |    |    |    |
| K3–    |                        |    |    | *  |    |    |    |    |
| K3+    | *                      |    |    |    |    |    |    |    |
| K4–    |                        |    |    |    | *  |    |    |    |
| K4+    |                        |    |    |    |    | *  |    |    |
| K5–    |                        |    |    |    |    | *  |    |    |
| K5+    |                        |    |    |    |    |    |    | *  |
| K6–    |                        |    |    |    | *  |    |    |    |
| K6+    |                        |    |    |    |    |    |    | *  |

**Описание эксперимента и обработка результатов.** Педагогический эксперимент проводился на кафедре АПУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Экспериментальную выборку составили студенты 1 курса ФКТИ в количестве 48 человек. В течение одного семестра студенты выполняли практические и лабораторные работы по дисциплине «Информатика». Структура разработанного программного инструментария, поддерживающего процесс обучения в режиме непрерывного мониторинга успеваемости студентов в течение семестра, представлена в работе [8]. В процессе проведения эксперимента преподавателем заполнялись таблицы, в которых фиксировалась вся необходимая информация о студентах (формальные данные, номера заданий, время выполнения заданий, характер допущенных ошибок, процент выполнения задач, результаты проверочных работ и т. д.). По отдельным показателям работы рассчитывался рейтинг студентов (три раза за семестр), в конце семестра выводилась интегральная оценка успеваемости студента. В зависимости от показателей текущего рейтинга (по результатам обучения) в течение семестра преподаватель может использовать различные дидактические стратегии обучения. В данном эксперименте применялись интерактивные методы. На первом этапе был измерен уровень выполнения заданий у группы студентов при традиционном выполнении практических заданий (по поша-

говой инструкции в методических указаниях). Фиксировалось состояние S1 или S2 модели  $A^{cp}$  (рис. 3). На следующем этапе при фиксации состояния S3 преподаватель должен перейти к действиям  $Y_3$ , которые предполагают применение специальных технологий. В данном случае после применения интерактивных технологий на занятиях при помощи параллельной методики вновь был измерен уровень выполнения заданий студентами. Можно ли сказать, что после применения интерактивных технологий на занятиях уровень выполнения заданий значительно изменился? Формулируются статистические гипотезы.

$H_0$ : сдвиг между показателями начальных и конечных срезов значимо не отличается от нуля.

$H_1$ : сдвиг между показателями начальных и конечных срезов значимо отличается от нуля.

В результате расчетов мы получили  $t_{эмп} = 2,205$ . Критическое значение  $t$ -критерия Стьюдента  $t_{кр}$  составляет 2.112 при  $p \leq 0,04$  при числе степеней свободы  $df = 47$ . Таким образом,  $t_{эмп} > t_{кр}$  (при  $p \leq 0.04$ ), следовательно, гипотеза  $H_1$  верна, т. е. мы можем принять на уровне статистической значимости гипотезу о том, что после применения интерактивных технологий на занятиях уровень выполнения заданий студентами значительно изменился. При этом средний по группе балл изменился с 3,9 на 4,2, т. е. повысился на 6 %. Гистограмма характеризует изменение характеристик распределений. На рис. 4 представлены две гистограммы до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) применения интерактивных методов.

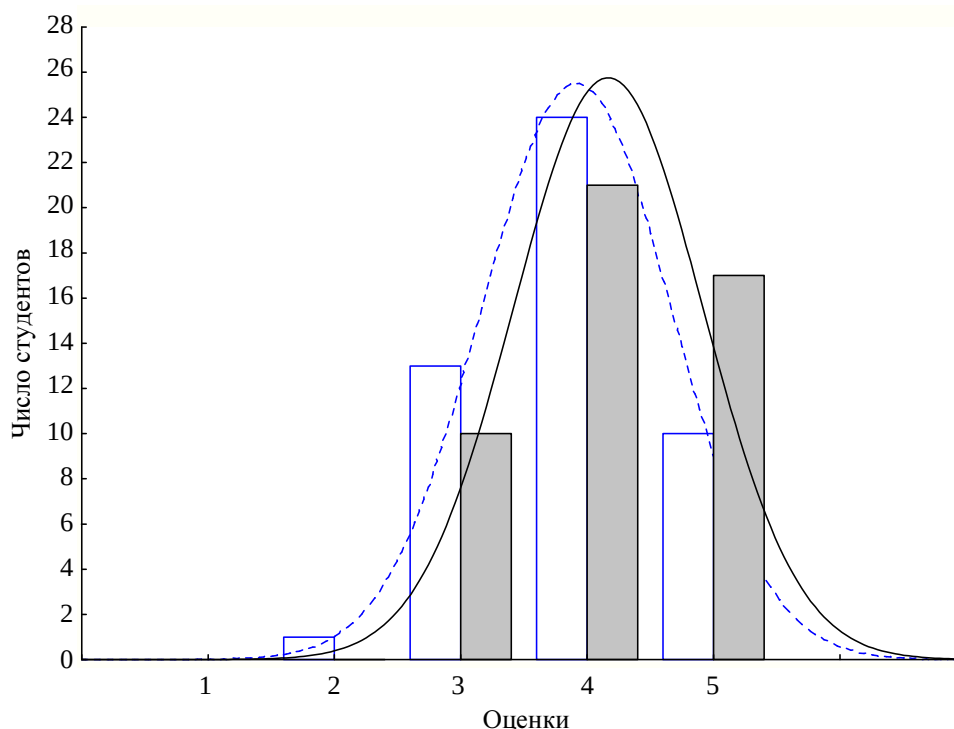


Рис. 4

Управляющие стратегии можно применять к различным траекториям обучения студентов, характеризующим успешность обучения.

С целью получения типовых траекторий обучения студентов был применен метод кластерного анализа  $k$ -средних (рис. 5).

Полученные данные характеризуют типовые траектории обучения студентов в процессе выполнения заданий на примере трех промежуточных контролей в течение семестра.

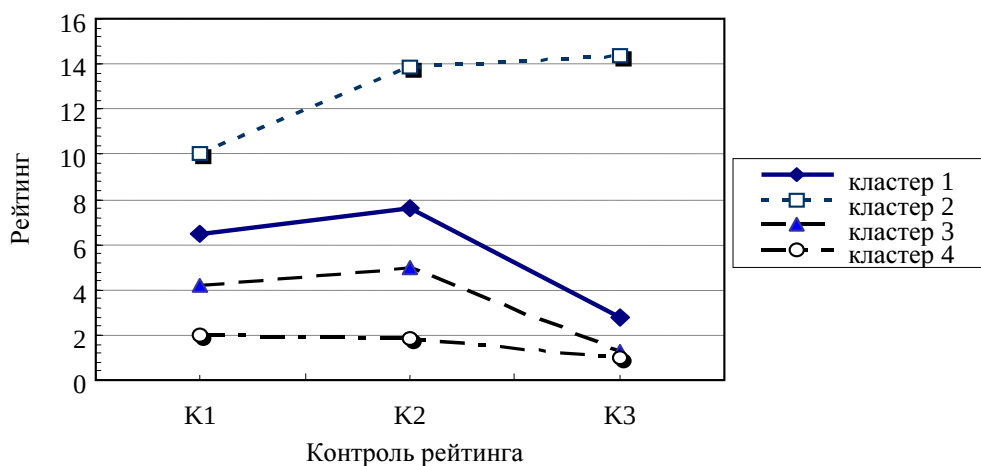


Рис. 5

На рис. 5 кластер 2 характеризует студентов, которые входят в так называемую «группу риска» по неуспеваемости (на траектории видно, что рейтинг понижается). Для этой группы студентов преподаватель может применить специальные стратегии обучения, чтобы перевести их на траектории успешного завершения курса. Алгоритм применен с целью выделения группы слабо успевающих студентов на раннем этапе прохождения дисциплины (в начале семестра).

Для автоматизации контроля траектории конкретного студента применен метод классификации на основе решающих деревьев.

Формирование дерева решений осуществляется в разработанном нами инструментальном комплексе с помощью программирования интеллектуальных программных агентов [8]. Интерфейс поддержки принятия решений преподавателя представлен на рис. 6.

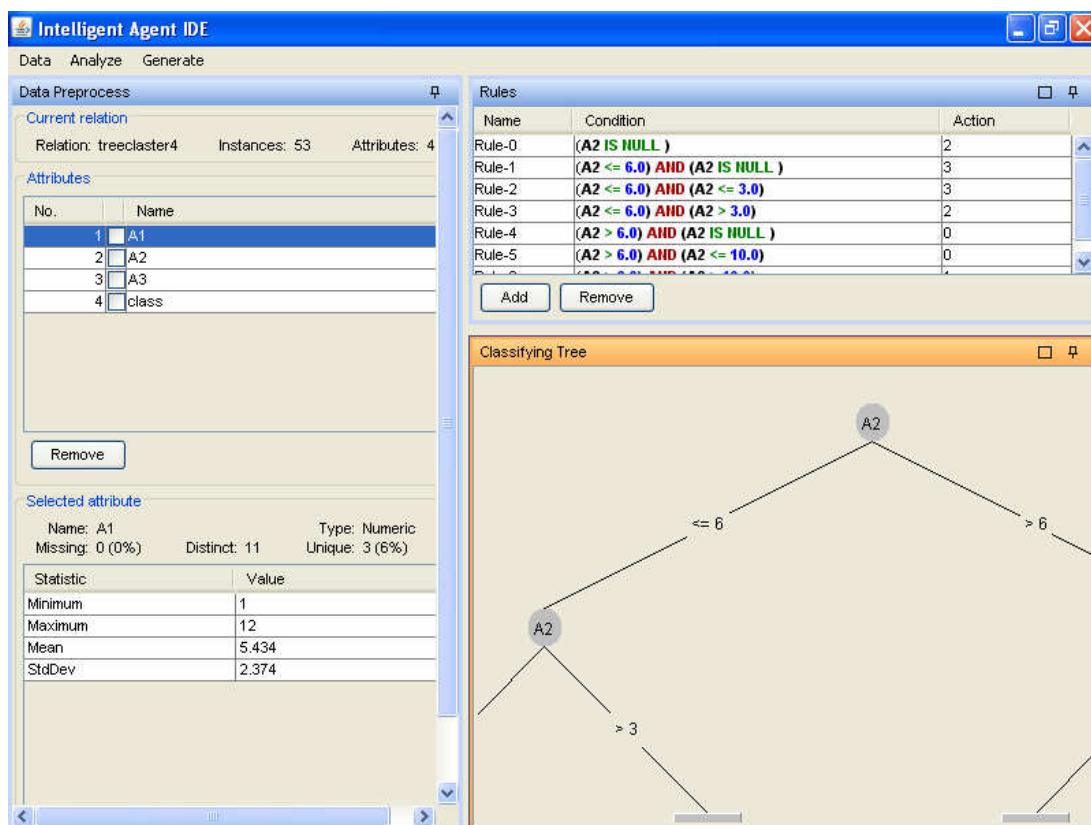


Рис. 6

На рис. 7 представлено дерево решений, которое описывает все 100 % фактов, связывающих результаты трех промежуточных контролей рейтингов и номера четырех кластеров траекторий обучения (контроля) студентов.

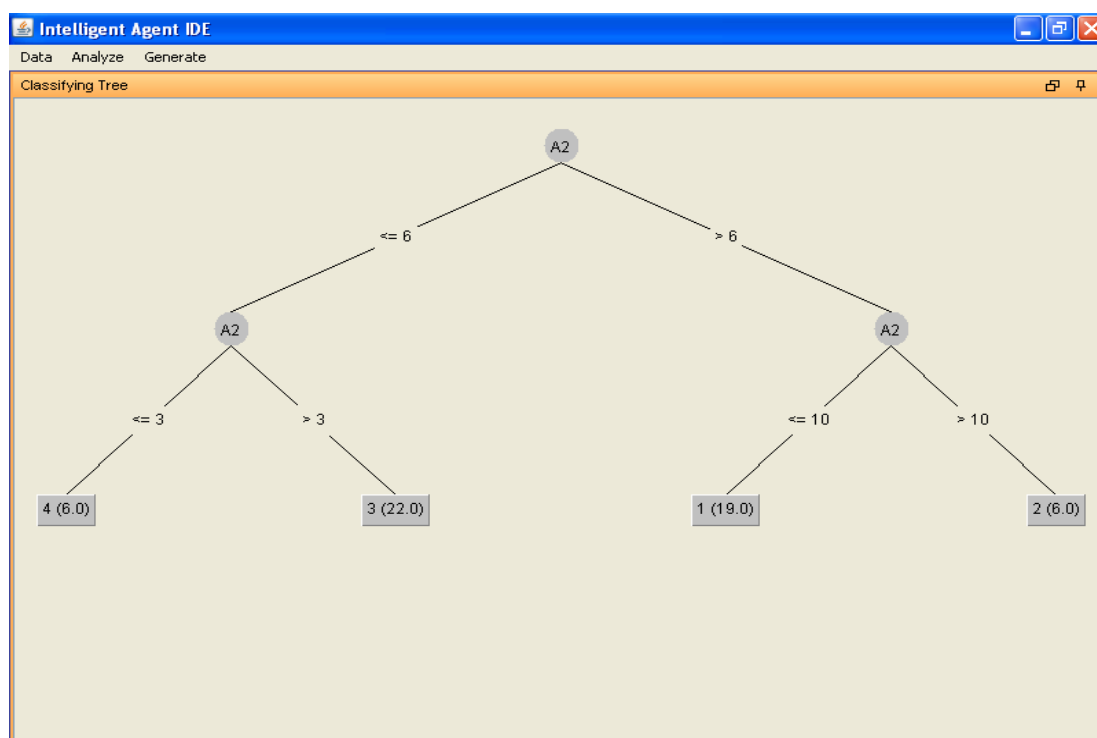


Рис. 7

**Выводы.** В данной статье процесс обучения рассмотрен как процесс управления. Разработана модель процесса обучения, включающая модель студента, преподавателя, обучающих воздействий с ориентировкой на применение дидактических стратегий. В состав модели в отличие от разрабатываемых в настоящее время систем помимо основного параметра модели обучаемого (уровня знаний) включена когнитивная компонента и компонента, характеризующая поведение студента (по отношению к учебной деятельности).

В качестве аппарата формализации процесса обучения выбран язык теории конечных автоматов. Рассмотрен пример формализации фрагмента модели.

Функция поддержки принятия решений преподавателем реализована в инструментальном программном комплексе с помощью интеллектуальных программных агентов.

Результаты проведенного эксперимента показывают целесообразность проведения диагностики успеваемости студентов на ранних этапах изучения дисциплины с целью выработки управляющих стратегий для повышения успеваемости в дальнейшем процессе.

Проведенные исследования показали, что задача использования инновационных дидактических технологий в управлении процессом обучения является достаточно сложной, требует дальнейших научных исследований как в области концептуальных и методологических подходов, так и в конкретных практических реализациях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломов Б. Ф. О системном подходе в психологии // Вопросы психологии. 1975. № 2. С. 31–45.
2. Якунин В. А. Обучение как процесс управления. Психологические аспекты. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. 160 с.

3. Коржуев А. В., Попков В. А. Традиции и инновации в высшем профессиональном образовании. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 300 с.
4. Клаус Г. Введение в дифференциальную психологию учения: пер. с нем. / Под ред. И. В. Равич-Щербо. М.: Педагогика, 1987. 176 с.
5. Растрин Л. А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения. Рига: Зинатне, 1981. 394 с.
6. Поликарпова Н., Шалыто А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2010. 176 с.
7. Никандров Н. Д. Программное обучение и идеи кибернетики. М.: Наука, 1970. 208 с.
8. Котова Е. Е. Учет деятельности человека и проблемы автоматизации образования // Биотехносфера. 2010. № 2. С. 39–45.

*E. E. Kotova*

#### *MODELING OF TRAINING PROCESS WITH USE OF CONTROLLING DIDACTIC STRATEGIES*

*Adaptive model of controlled training process with application of final states automatic machines and technologies of intellectual agents for the purpose of revealing and support of conditions of the most successful process of training with application of didactic strategy of management are considered.*

**Model of training, adaptive systems of learning, learning strategy, finite state automata, personal a**



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

---

УДК 338.24

*Д. Ф. Барашко*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВЕ**

*Анализируются показатели оценки эффективности функционирования гостиниц, на основе расчетов доказывается их применимость на практике.*

**Индустрия гостеприимства, показатели эффективности управления, доходность на номер, валовая прибыль на один номер**

В условиях нарастающих изменений, одновременного усиления конкуренции и взаимозависимости субъектов деловой активности на смену традиционным взглядам и подходам в управлении приходят международные стандарты менеджмента. Проблема оценки эффективности управления предприятиями в индустрии гостеприимства является ключевой и не имеет на сегодняшний день однозначного решения.

Индустрия гостеприимства – предпринимательская деятельность на рынке услуг, связанная с приемом и обслуживанием гостей. Индустрия гостеприимства является составной частью сферы услуг, включает в себя предприятия общественного питания, парки отдыха и развлечения, гостиницы.

Основным ресурсом индустрии гостеприимства является номерной фонд – общее количество номеров для размещения гостей. Управление процессом продажи и бронирования номеров позволяет использовать его наиболее эффективно. Одним из базовых показателей эффективности управления в индустрии гостеприимства является показатель доходности на имеющийся номер в отеле – REVPAR (Revenue per available room) – комплексный показатель доходности продаж номерного фонда отеля, получающийся при делении общего дохода от проданных номеров на общее количество имеющихся номеров в отелях. REVPAR является одним из наиболее признанных и часто используемых показателей эффективности деятельности в гостиничной индустрии:

$$\text{REVPAR} = \text{REV}_{\text{н/ф}} / N = \text{ADR} \cdot Q \%,$$

где  $REV_{н/ф}$  – доход от продаж номерного фонда отеля;  $N$  – размер номерного фонда (количество имеющихся номеров);  $ADR$  – средняя цена проданного номера;  $Q \%$  – загрузка отеля (число занятых номеров).

REVPAR-показатель является одним из основных показателей, характеризующих эффективность гостиничного бизнеса, зависит от средней стоимости номеров гостиницы и их средней заполняемости (загрузки) за расчетный период. Данный показатель не учитывает выручку от других услуг, оказываемых отелем, таких как выручка ресторана, казино, фитнес-центра, интернет-кафе, конференц-залов, пункта обмена валюты и т. п.

Показатель может рассчитываться как для отдельно взятой гостиницы, так и агрегировано для группы гостиниц, объединенных по территориальному или иному признаку (например, для отелей определенного города, определенной страны, определенного типа отелей и т. п.) за различные расчетные периоды (например, за год, квартал, месяц, неделю и т. п.).

REVPAR – показатель эффективности гостиничного бизнеса, который является одним из ключевых для инвесторов и используется ими:

- при оценке целесообразности покупки конкретного отеля;
- принятии решения о целесообразности вхождения на гостиничный рынок того или иного города (страны).

Применение показателя REVPAR рекомендовано Единой системой отчетности в индустрии гостеприимства (USALI) при проведении сравнительного конкурентного анализа (сравнительный анализ информационного поля компании и конкурентов) и анализа динамики эффективности гостиничного бизнеса путем сравнения показателей текущего периода с показателями предыдущего аналогичного периода.

REVPAR является одним из наиболее популярных и всемирно признанных показателей эффективности в гостиничной индустрии. Другим показателем оценки эффективности функционирования гостиниц является валовая операционная прибыль на один номер GOPPAR (Gross operating profit per available room). Он напрямую связан с экономическим результатом деятельности предприятия гостиничной индустрии и в определенной степени отражает его рыночную стоимость. Показатель рассчитывается по следующей формуле:  $GOPPAR = \text{валовая операционная прибыль} / \text{номерной фонд за соответствующий период}$ .

GOPPAR, или валовая операционная прибыль на один номер, определяется как валовая операционная прибыль (GOP) на один доступный номер в день, где GOP равна общей выручке, уменьшенной на прямые расходы и на нераспределенные расходы (табл. 1).

GOPPAR не позволяет корректно оценить выручку по номерному фонду, тем не менее она служит индикатором финансового потенциала гостиницы, т. е. отражает финансовые возможности гостиницы и способность эффективно формировать, распределять и использовать финансовые ресурсы. GOPPAR лучше отражает прибыльность (возможность получения дохода) гостиницы, действенность или эффективность менеджмента и общую стоимость (рыночную цену) отеля.

GOPPAR отражает совокупную операционную прибыль и является показателем деятельности отеля. GOPPAR учитывает все операционные издержки отеля – и постоянные, и переменные. Крупные отели, несомненно, терпят большие операционные издержки, чем малые, при прочих равных рыночных условиях. Однако малые отели имеют большие удель-



ные затраты на один номер (экономия от масштаба отеля). Например, REVPAR-показатель у отеля А равен € 70 (табл. 1), а у отеля Г – € 75, но при этом отель А несет меньшие удельные операционные издержки в расчете на один номер, чем отель Г (€ 21 110 против € 24 843,75), и, как следствие, GOPPAR у отеля А выше, чем у отеля Г.

Таблица 1

**Расчет GOPPAR**

| Показатель                                                     | Единица измерения | Отель А   | %   | Отель В   | %   | Отель С   | %   | Отель Г   | %   |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| Количество номеров                                             | –                 | 200       |     | 200       |     | 100       |     | 100       |     |
| Длительность периода                                           | Дни               | 365       |     | 365       |     | 365       |     | 365       |     |
| Количество номеров в год                                       | –                 | 73 000    | –   | 73 000    | –   | 36 500    | –   | 36 500    | –   |
| Загрузка номерного фонда                                       | %                 | 70        |     | 76        |     | 70        |     | 75        |     |
| Средняя стоимость номера                                       |                   | 100       |     | 95        |     | 100       |     | 100       |     |
| REVPAR                                                         |                   | 70        |     | 72        |     | 70        |     | 75        |     |
| Выручка номерного фонда                                        |                   | 5 110 000 | 64  | 5 270 600 | 72  | 2 555 000 | 67  | 2 737 500 | 65  |
| Выручка от продажи еды и напитков (Food&Beverage)              |                   | 2 000 000 | 25  | 120 000   | 16  | 750 000   | 20  | 1 000 000 | 24  |
| Выручка прочих отделов                                         |                   | 850 000   | 11  | 900 000   | 12  | 900 000   | 13  | 500 000   | 12  |
| Итого выручка                                                  |                   | 7 960 000 | 100 | 7 370 600 | 100 | 3 805 000 | 100 | 4 237 500 | 100 |
| Операционные затраты от номерного фонда                        |                   | 1 022 000 | 20  | 1 054 120 | 20  | 638 750   | 25  | 684 375   | 25  |
| Операционные затраты от продажи еды и напитков (Food&Beverage) |                   | 1 200 000 | 60  | 720 000   | 60  | 638 750   | 25  | 684 375   | 25  |
| Операционные затраты прочих отделов                            |                   | 400 000   | 47  | 423 000   | 47  | 250 000   | 50  | 250 000   | 50  |
| Итого операционные затраты                                     |                   | 2 622 000 | 33  | 2 197 120 | 30  | 1 376 250 | 36  | 1 584 375 | 37  |
| Итого нераспределенные затраты                                 |                   | 1 600 000 | 20  | 1 600 000 | 22  | 900 000   | 24  | 900 000   | 21  |
| Валовая операционная прибыль                                   |                   | 3 738 000 | 47  | 3 57 3480 | 48  | 1 528 750 | 40  | 1 753 125 | 41  |
| GOPPAR                                                         | –                 | 51        | –   | 49        | –   | 42        | –   | 48        | –   |

Расчет показателя GOPPAR учитывает и рост переменных затрат при увеличении оборота (для номера – это затраты на горничных, стирку белья, электроэнергию), и дополнительный доход, извлекаемый при продаже номера (доходы от питания, прачечной, услуг связи), а также и стоимость посреднических каналов. Если, например, было принято решение об увеличении комиссионных для некоего посредника, показатель GOPPAR сразу отразит это, в то время как показатель REVPAR – нет. Также будет учтен случай, когда отель идет на существенные скидки корпоративным клиентам, которые делают объем на услугах по продаже еды и напитков (Food&Beverage) и дополнительно берут конференц-площади.

GOPPAR имеет более тесную связь со стоимостью отеля, чем REVPAR. Для выявления зависимости между стоимостью отеля в расчете на один номер, REVPAR и GOPPAR на примере 30 прибыльных отелей экспертами по гостиничному хозяйству был проведен линейный регрессионный анализ. По результатам анализа выявлено, что GOPPAR имеет прямую зависимость в пределах 85–90 % от стоимости отеля, а REVPAR – приблизительно 70–75 %. Вследствие этого показатель GOPPAR рассматривается как более надежный показатель при расчете стоимости отеля как разновидности бизнеса. Высокое значение показателя REVPAR не обязательно отражает высокий практический результат деятельности и, соответственно, высокую стоимость отеля, в отличие от показателя GOPPAR.

Необходимо отметить, что GOPPAR имеет сильную чувствительность к колебаниям в REVPAR. Доля прибыли номерного фонда в общей прибыли отеля значительно больше, чем доля от других видов деятельности индустрии гостеприимства, поэтому небольшие изменения показателя REVPAR могут оказать сильный эффект на GOPPAR и, следовательно, на стоимость отеля. В табл. 2 сделано допущение по снижению на 5 % загрузки и средней стоимости номера у отеля В, результатом чего было снижение REVPAR примерно на 10 %, а GOPPAR – на 16 %, с € 42 до € 35.

Таблица 2

**Расчет чувствительности показателя GOPPAR при изменении показателя REVPAR**

| Показатель                                                     | Единица измерения | Отель С   | %   | REVPAR–10 % | %   | Изменение, % |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|-----|-------------|-----|--------------|
| Количество номеров                                             | –                 | 100       | –   | 100         | –   | –            |
| Загрузка номерного фонда                                       | %                 | 70        |     | 66,5        |     | –5           |
| Средняя стоимость номера                                       | \$                | 100       |     | 95          |     | –5           |
| REVPAR                                                         |                   | 70        |     | 63          |     | –10          |
| Выручка номерного фонда                                        |                   | 2 555 000 | 67  | 2 305 888   | 66  | –10          |
| Выручка от продажи еды и напитков (Food&Beverage)              |                   | 750 000   | 20  | 727 500     | 21  | –3           |
| Выручка от прочих отделов                                      |                   | 900 000   | 13  | 785 000     | 14  | 3            |
| Итого выручка                                                  |                   | 3 805 000 | 100 | 3 518 388   | 100 | –8           |
| Операционные затраты от номерного фонда                        |                   | 638 750   | 25  | 622 590     | 27  | –3           |
| Операционные затраты от продажи еды и напитков (Food&Beverage) |                   | 487 500   | 65  | 472 875     | 65  | –3           |
| Операционные затраты от прочих отделов                         |                   | 250 000   | 50  | 242 500     | 50  | –3           |
| Итого операционные затраты                                     |                   | 1 376 250 | 36  | 1 337 965   | 38  | –3           |
| Итого нераспределенные затраты                                 |                   | 900 000   | 24  | 900 000     | 26  | 0            |
| Валовая операционная прибыль                                   |                   | 1 528 750 | 40  | 1 280 423   | 36  | –16          |
| GOPPAR                                                         | –                 | 42        | –   | 35          | –   | –16          |

С другой стороны, GOPPAR с большой долей достоверности отражает рентабельность гостиницы, учитывает эффективность управления и исключает конкурентное (потенциальное) преимущество небольших отелей. При инвестиционном анализе, по мнению автора, недостаточно полагаться исключительно на REVPAR, а рекомендуется использовать и GOPPAR в качестве дополнения. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что показатель имеет тесную связь с экономическим результатом деятельности отеля и, следовательно, с его рыночной стоимостью.

Для отеля основным поставщиком прибыли всегда будет номерной фонд, показатель REVPAR по-прежнему остается важным и значимым. Увеличение показателя REVPAR является основной целью для менеджеров по управлению доходностью, его положительная динамика будет отражать результат их работы, их способность адекватно реагировать на изменения спроса в достижении основной цели – роста доходности.

GOPPAR больше интересен инвесторам, собственникам и генеральным менеджерам отелей как надежный показатель, который отражает способность гостиницы генерировать денежные потоки. Еще одна разница между REVPAR и GOPPAR состоит во временном периоде. Загрузка и средний тариф подсчитываются ежедневно, а также ежемесячно и ежегодно. Таким образом, REVPAR останется показателем, который оперативно, ежедневно, измеряет профиль отеля в рынке, отражает его взаимодействие с рынком, его рыночную долю, является базой для сравнения с конкурентами, с общими рыночными показателями. Валовая операционная прибыль обычно отслеживается ежемесячно, ежеквар-

тельно и ежегодно, соответственно, периоды, за которые можно получить GOPPAR, такие же. Все данные свидетельствуют в пользу того, что показатели REVPAR и GOPPAR очень хорошо дополняют друг друга, предоставляя вместе отличную основу для оценки эффективности управления предприятиями. Ведь GOPPAR служит и хорошим внутренним показателем для отдельной гостиницы, сети гостиниц или компании. Его динамика позволяет отслеживать собственную деятельность гостиницы, ее результаты, а значит, искать причины правильных или неправильных действий, анализировать успех или неуспех нововведений, осуществленных инвестиций. Все данные, приведенные в этой статье, доказательно свидетельствуют в пользу того, что показатели REVPAR и GOPPAR очень хорошо дополняют друг друга, предоставляя вместе отличную основу для анализа эффективности функционирования гостиниц. Распространение практики их совместного применения поможет точнее оценивать бизнес, принимать эффективные управленческие решения, а значит, и извлекать больше прибыли, являющейся основной целью предпринимательства.

*D. F. Barashko*

*COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS TO ASSESS THE EFFICIENCY  
AND FUNCTIONING IN BUSINESS*

*The article analyzes the performance evaluation of the effectiveness of the operation of  
hotel on the basis of calculations prove their applicability in practice.*

**Hospitality industry, performance management, revenue per available room per day, gross operating profit  
per available room**

УДК: 658.51, 658.562

*О. В. Капитонова, И. В. Степанов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Рассмотрены вопросы применения методов менеджмента качества при анализе  
риска опасных производственных объектов.*

**Опасный производственный объект, анализ риска, методы менеджмента качества**

**Риски опасных производственных объектов.** Последнее десятилетие в сфере промышленной безопасности характеризовалось двумя противоречивыми тенденциями. С одной стороны, резко увеличилось количество техногенных катастроф, увеличилась тяжесть и масштабы их последствий. С другой стороны, государство, реагируя на соответствующие негативные процессы в техносфере, усиливало требования по отношению к проектированию, строительству и эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО).

Реакцией крупного бизнеса на усиление государственного контроля в сфере промышленной безопасности стало внедрение в практику деятельности компаний современных концепций, направленных на совершенствование систем управления компаний: обеспечение качества и безопасности, экологическая чистота, безотходные технологии, обеспечение качества жизни, безопасное существование и др. Внедрение указанных концепций предполагает создание систем управления, сочетающих в себе принципы управления качеством, промышленной безопасностью, экологической безопасностью, рисками и т. д.

При этом одной из главных тенденций является отказ от «принципа реагирования» на возникшую опасность и переход к «принципу предупреждения», т. е. идентификации и оценке опасности или, иными словами, анализу риска. Причем поиск и оценка опасностей должны проводиться для каждого производства, каждой установки, каждого вида деятельности, каждого рабочего места на всех стадиях и этапах жизненного цикла ОПО.

В отечественной практике [1] понятие «риск» рассматривается как сочетание вероятности возникновения негативных событий и последствий от них. При этом зачастую риск рассматривается как «мера опасности» объекта, процесса или системы. В свою очередь, понятие «опасность» тесно связано с понятием «качество». Как правило, под опасностью понимается состояние объекта, процесса или системы, при котором параметры стабильно работающей системы выходят за определенные граничные или допустимые значения. Качество, в свою очередь, – это степень соответствия присущих характеристик объекта требованиям [2], где требования – это потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным.

В процессе анализа риска должно быть проведено исследование всех возможных путей возникновения риска и определены все факторы, влияющие на возникновение опасности и появление ущерба от ее реализации. При этом процесс управления рисками (УР) представляет собой динамический процесс, зависящий от стадии жизненного цикла ОПО, в ходе которого требуется постоянная переоценка рисков во времени. Для этого необходимо использовать обоснованные методики оценки рисков.

На рис. 1 показана общая методология анализа и управления рисками при проектировании, строительстве и эксплуатации ОПО.

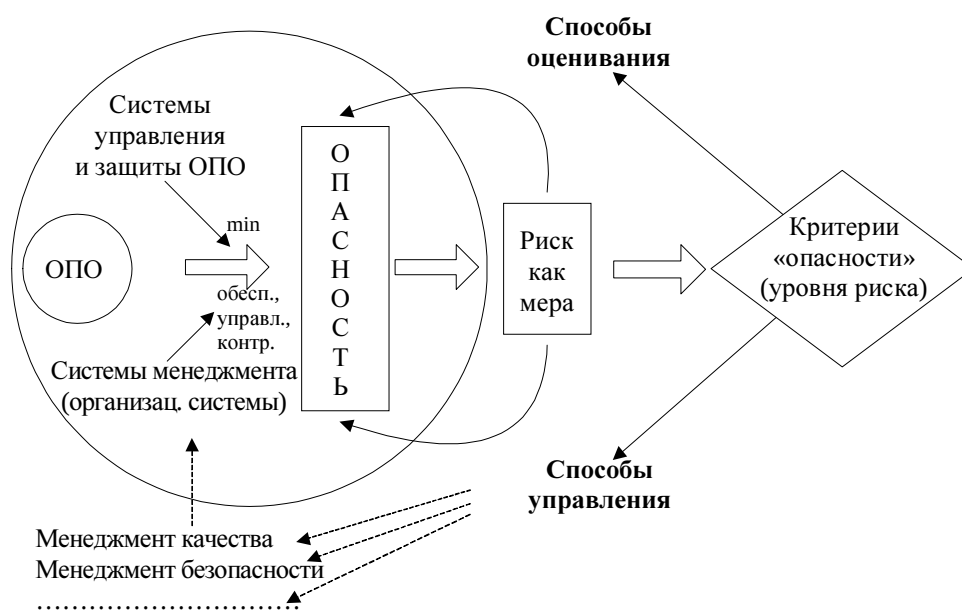


Рис. 1

Таким образом, понятия «риск», «безопасность», «качество» представляют собой взаимозависимые и взаимодополняющие понятия, при исследовании которых могут быть использованы методы менеджмента качества (МК).

Принятый в 1997 г. Федеральный закон «О промышленной безопасности» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. устанавливает требования к обязательному декларированию промышленной безопасности для ОПО. При разработке деклараций промышленной безопасности в обязательном порядке требуется выполнять анализ риска эксплуатации оборудования [3]

и обеспечивать комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на снижение вероятности реализации потенциальных опасностей и минимизации возможного ущерба от их реализации. *Риск аварии* определяется как мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном объекте и тяжесть ее последствий [3]. Оценка риска включает анализ вероятности возникновения аварии и анализ ее последствий, а также и их сочетание.

Рассмотрим общий подход применения инструментов менеджмента качества для анализа рисков на примере предприятий нефтеперерабатывающей отрасли.

**Применение методов МК при определении и анализе опасностей (рисков) ОПО.** При анализе и оценке риска используются методы качественного и количественного анализа: методы сбора имеющейся и новой информации, моделирования деятельности предприятия, статистические и вероятностные методы и т. п.

Первым этапом анализа рисков является идентификация рисков и анализ накопленных статистических данных об авариях на предприятии. Соответствующий анализ был проведен на примере установки ЭЛОУ-АТ-6 ООО «КИНЕФ». На основе анализа статистики аварий был определен перечень типовых аварий: пожар установки, взрыв газопаровоздушных смесей, пожар пролива нефтепродуктов, течь нефтепродуктов без возгорания и т. д.

На втором этапе анализа риска определяются частоты возникновения различных видов аварий, ожидаемые масштабы и ущерб от аварии, а также рассчитываются различные показатели риска [3], которые используются в качестве критериев принятия решений по управлению риском.

На стадии идентификации и анализа опасностей (рисков) в основном используются экспертные методы анализа риска [3]: «Что будет, если?», проверочный лист, анализ опасности и работоспособности, анализ видов и последствий отказов, анализ «дерева отказов», анализ «дерева событий».

Проведенное исследование показывает, что для идентификации и анализа опасностей (рисков) можно эффективно использовать различные инструменты и методы МК для сбора, обработки и анализа статистических данных: контрольные листки, гистограмма, диаграмма разброса, диаграмма Исикавы, диаграмма Парето, контрольные карты и стратификация, входящие в группу «Семь инструментов МК».

В случае когда при проведении анализа риска отсутствуют статистические данные по конкретным видам аварий, могут быть использованы «Семь новых инструментов МК»: диаграмма родственных связей, диаграмма взаимоотношений, древовидная диаграмма, линейная диаграмма, матричная диаграмма, анализ матричных данных, схема программы процесса решения.

**Применение методов МК при определении факторов и причин возникновения аварий на ОПО.** Анализ статистических данных и отчетов комиссий по расследованию причин возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтеперерабатывающего предприятия с применением МК позволил, условно объединить их в следующие группы:

- 1) отказы (неполадки) оборудования;
- 2) ошибочные действия персонала;
- 3) внешние воздействия природного и техногенного характера.

При проведении анализа использовалась диаграмма афинности или диаграмма родственных связей (рис. 2). На диаграмме показаны основные причины возникновения отказов и неполадок оборудования установки ЭЛОУ-АТ-6, а также определены основные внутренние и внешние факторы, влияющие на безопасность установки.

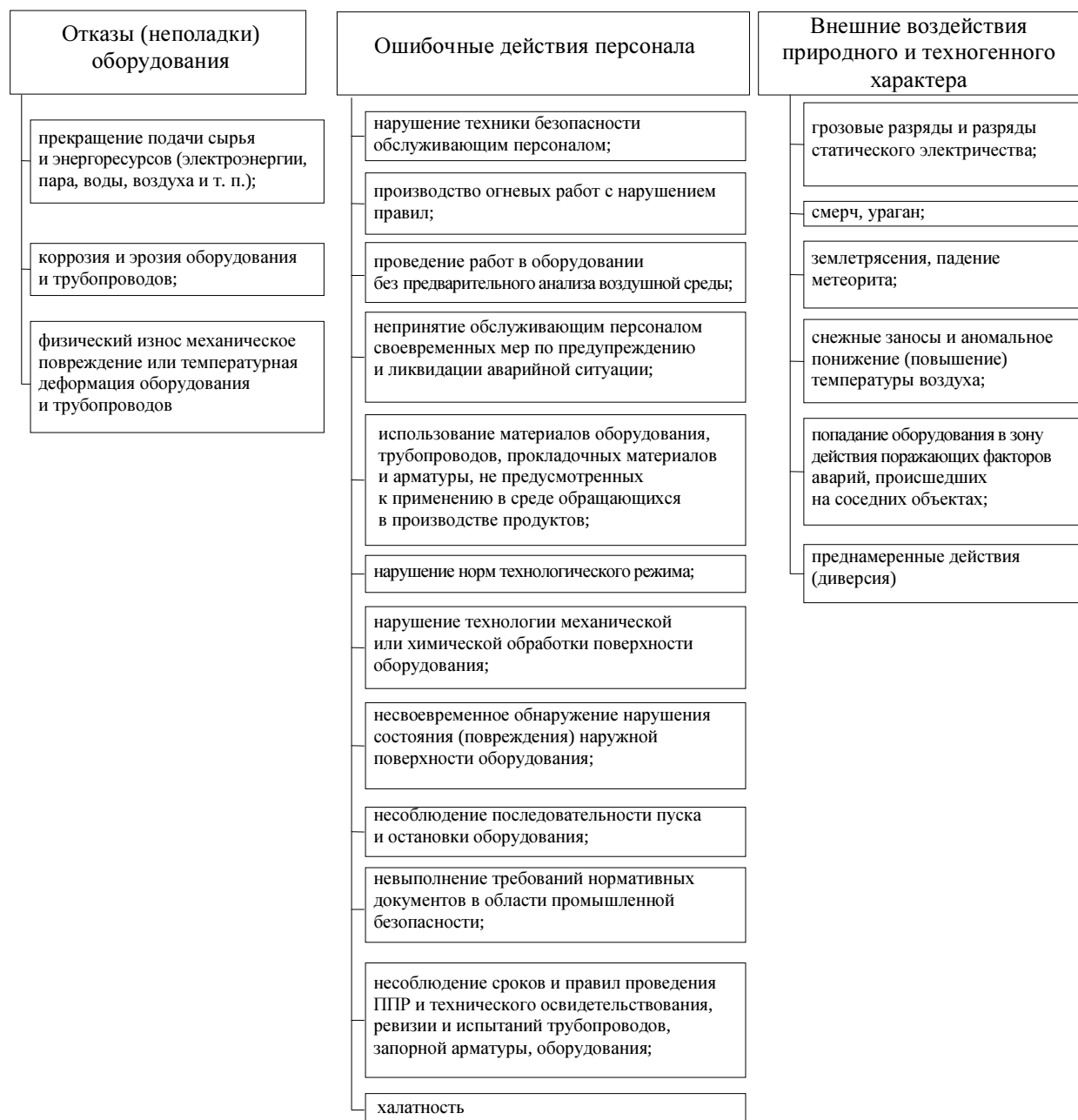


Рис. 2

Все перечисленные на рис. 2 факторы могут стать иницирующим событием и привести к разгерметизации оборудования и трубопроводов, а также явиться причиной возникновения на рассматриваемом объекте аварийных ситуаций различных масштабов [4], [5].

**Применение методов МК при определении возможных сценариев возникновения и динамики развития аварий на ОПО.** Определение возможных сценариев возникновения и путей развития аварийных ситуаций на установке ЭЛОУ-АТ-6 осуществлялось с использованием типовых «дерева отказов» и «дерева развития событий» при авариях, представленных на рис. 3.

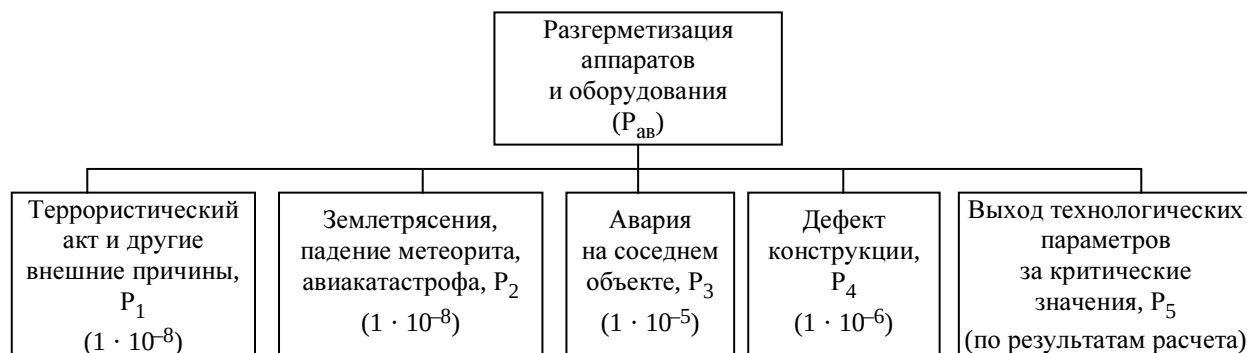


Рис. 3

Вероятность возникновения аварии на установке определяется в приведении на один год и рассчитывается по формуле  $P_{ав} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$ .

Ожидаемая вероятность проявления такой причины аварии, как создание избыточного критического давления в оборудовании установки за счет нарушения технологического регламента, рассчитывалась для каждого блока и его составляющих с применением аппарата общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ) анализа сложных организационно-технических систем и с учетом наиболее реального места аварии [4], [5].

**Оценки риска ОПО.** Анализ риска и последствий от него является ключевым элементом системы управления промышленной безопасностью. Это процесс, с помощью которого можно усовершенствовать систему управления и добиться снижения уровня аварийности и травматизма. Анализ риска в системе управления промышленной безопасностью по существу позволяет решить принципиальный вопрос о соотношении реального и приемлемого уровней опасности объекта, а также обосновать экономическую эффективность предлагаемых мер (с учетом потерь при различных вариантах аварий) для повышения его технической и производственной безопасности. Понятие «уровень приемлемого риска», как правило, характеризует уровень безопасности людей, подвергающихся риску травмирования. При этом определение уровня приемлемого риска объекта – одна из основных задач общего анализа риска ОПО.

Изучение требований, содержащихся в нормативных документах, подтверждает необходимость разработки методик анализа и оценки риска аварий на ОПО. Основными задачами на этапе оценки риска являются:

- определение частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий;
- оценка последствий возникновения нежелательных событий;
- обобщение оценок риска.

Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать:

- статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности;
- логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий в человекомашинной системе;
- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

Обобщенная оценка аварий должна отражать состояние промышленной безопасности с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти на опасном производственном объекте.

Для анализа и оценки риска используются количественные и качественные методы оценки риска. Однако, в случаях когда информация ограничена, для количественного анализа риска используются аналитические методы, или стандартные функции распределения вероятностей, например: нормальное распределение, показательное (экспоненциальное) распределение вероятностей, а также распределение Пуассона.

Метод экспертных оценок основан на обобщении мнения специалистов-экспертов о вероятностях риска. Интуитивные характеристики, основанные на знаниях и опыте эксперта, дают в ряде случаев достаточно точные оценки. Экспертные методы позволяют быстро и без больших временных и трудовых затрат получить информацию, необходимую для выработки управленческого решения.

Оценка риска необходима для определения того, как следует реагировать на определенный вид риска: уклонение, сокращение, перераспределение и принятие его.

Управление риском – это процесс динамический, при котором требуется постоянная переоценка рисков во времени, в зависимости от стадий жизненного цикла ОПО. Поиск и оценка опасностей ОПО должны проводиться для каждого производства, каждой установки, каждого вида деятельности, каждого рабочего места.

На разных стадиях управления риском необходимо проводить не только анализ технической и организационной структуры системы, но также необходимо проводить анализ нормативных документов, регламентирующих деятельность персонала и технологические процессы: регламенты, процедуры, инструкции. Кроме того, решение вопросов безопасности ОПО требует комплексного подхода, при котором на всех этапах жизненного цикла оборудования ОПО комплексно решаются задачи анализа надежности и безопасности с использованием различных современных методов и технологий, как из области менеджмента качества, так и управления рисками.

Проведенные исследования показывают, что применение адаптированных инструментов и методов МК для анализа и оценки риска ОПО позволяет обеспечить объективность проводимых процедур и повысить достоверность получаемых результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51897–2002. Менеджмент риска. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2003.
2. ГОСТ Р ИСО 9000–2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Изд-во стандартов, 2008.
3. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов //Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор России). М.: Изд-во Госгортехнадзора России, 2001.
4. Практическая реализация методологии оценки безопасности и выработки предложений по совершенствованию системы безопасности при эксплуатации оборудования нефтехимических производств /В. А. Ибадулаев, В. П. Космачев, И. В. Степанов и др. //Берг-коллегия. Промышленная безопасность. 2004. № 6 (21). С. 33–34.
5. Расчет риска эксплуатации установки первичной переработки нефти ЭЛОУ-АТ-6 /В. А. Ибадулаев, В. П. Космачев, И. В. Степанов и др. //Промышленная безопасность труда. 2004. № 8 (2004). С. 3–8.

*O. V. Kapitonova, I. V. Stepanov*

#### *USING QUALITY MANAGEMENT METHODS TO ANALYZE RISKS OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES*

*The possibility of using quality management methods to analyze risks of hazardous production facilities.*

**Of hazardous production facilities, risk analysis, quality management methods**





УДК 800.92:519.682

И. С. Степаненко

## ИНФИНИТИВ В РОЛИ ПОДЛЕЖАЩЕГО В АНГЛИЙСКОМ И НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКАХ

*Рассматриваются сходства и различия английского и немецкого инфинитивов и особенности инфинитива в роли подлежащего в данных языках. Устанавливается, что инфинитив не может считаться полноценным существительным. Обнаруживается проблема наличия или отсутствия в немецком языке приинфинитивной частицы zu в случаях, когда инфинитив выступает в роли подлежащего.*

### Инфинитив, подлежащее, субстантивация, артикль, глагол

По определению Ш. Балли, инфинитив является транспозицией глагола, что дает ему способность «играть роль» существительного. [1, с. 326]. Под транспозицией понимается «неизменность исходной семантики транспонируемого компонента» [1, с. 130–131]. В результате транспозиции грамматическая форма при сохранении своего исходного значения приобретает дополнительное значение, которое обычно выражается другими грамматическими формами [2].

В английском и немецком языках для обозначения названия действия или состояния инфинитивы употребляются в значении существительного. Это тот тип конверсии, когда, не меняя своей морфологической формы, слово из одной части речи переходит в другую. Важным грамматическим признаком субстантивации является артикль (das – в немецком, the – в английском языке):

nachzudenken (обдумывать) – das Nachdenken (размышление);  
zu leben (жить) – das Leben (жизнь);  
to play (играть) – the play (игра);  
to walk (гулять) – the walk (прогулка).

В английских глаголах, выражающих чувства, эмоции, желания (to love, to hate, to wish и т. д.), при субстантивации артикль не требуется, хотя эти субстантивированные существительные обладают другими показателями имени существительного: притяжательный падеж (power of love), употребление с притяжательным местоимением (his wish), форма множественного числа (to lie (лгать) – lie (ложь), lies). В немецком языке артикль является

обязательным грамматическим признаком субстантивации. Заметим, что некоторые ученые не усматривают в данном случае никакого типа транспозиции, больше склоняясь к явлению омонимии в английском языке [3, с. 103].

Das Leben ist kein Spielzeug – Жизнь не игрушка.

Love isn't a toy – Любовь не игрушка.

В английском языке наблюдается процесс субстантивации переходных и непереходных «фразовых глаголов». Только существительные, образующиеся от сочетания «глагол + после-лог», следует рассматривать в рамках данного явления, так как они имеют признаки и глагола, и существительного в отличие от ряда существительных, образованных от глаголов, но фактически не имеющих глагольной формы, таких как backchat, hangover: to warm up – a warm-up, to take off – a take-off, to break down – a breakdown, to turn on – a turn-on [3, с. 103].

Инфинитив в английском языке может иметь синтаксическую функцию:

1) подлежащего:

To read books is useful – Читать книги полезно. Чтение книг полезно.

It is easy to make mistakes – Легко делать ошибки;

2) именной части составного именного сказуемого:

To see is to believe – Видеть значит верить;

3) дополнения:

We try to minimize the old disadvantages – Мы стараемся свести к минимуму имевшиеся ранее недостатки;

4) определения:

There was no one to read the words that were being traced – Не было никого, чтобы прочитать слова, которые записывали;

5) обстоятельства:

The first sentence must always be best, just to make people read the rest – Первое предложение всегда должно быть лучшим, чтобы заставить людей прочитать все остальное.

To live long it is necessary to live slowly – Чтобы жить долго, необходимо жить медленно.

In order to give anything one must have something – Для того, чтобы что-то отдать, необходимо чем-то обладать.

Иногда наречие может занимать позицию между частицей to и инфинитивом. Это так называемый «расщепленный инфинитив» («split Infinitive»). Строгие стилисты относятся к нему отрицательно, однако для эмпазы содержания наречия он употребляется иногда даже в официальном стиле:

I wish to specially stress the fact... – Я бы хотел особенно отметить тот факт...

Инфинитив основного разряда обозначает одновременность действия с действием глагола-сказуемого; в зависимости от контекста он может обозначать и действие, которому надлежит совершиться в будущем по отношению к действию сказуемого:

I am sure the Dean never intended to suggest anything else – Я уверен, что старейшина никогда не собирался предлагать что-либо еще.

Перфект обозначает действие, имевшее место ранее действия глагола-сказуемого:

It was like her also not to have asked a single question about what I had been doing – Было похоже на нее также не задать ни единого вопроса о том, чем я занимался.

Выступая в функции подлежащего, инфинитив передает наиболее обобщенное значение действия, не соотнесенного ни с каким субъектом. В остальных случаях действие инфинитива соотнесено с семантическим субъектом, обозначенным подлежащим:

I have no wish to listen to anybody's private conversation – У меня нет желания слушать чужие личные разговоры.

Однако, находясь в составе группы дополнения, инфинитив соотнесен с семантическим субъектом, обозначенным дополнением:

I'm telling you not to worry – Говорю тебе, не волнуйся.

Особенно ярко эта соотнесенность прослеживается в сложном дополнении:

Everyone watched him go – Все смотрели, как он уходил.

Инфинитив имеет собственную субъектную отнесенность в предикативной конструкции с *for*, встречающейся довольно редко, а также в тех случаях, когда в составе именной части сказуемого он уточняет значение предикатива-прилагательного:

It's extremely funny for me to be consoling you – Очень смешно, что я тебя утешаю [4].

Немецкий инфинитив совмещает в себе черты глагола и существительного. Как и личные формы глагола, формы инфинитива могут выражать залоговые и некоторые временные значения. Близость инфинитива к существительному проявляется в том, что инфинитив очень часто выступает в предложении в функции подлежащего и дополнения и легко субстантивируется, т. е. переходит в разряд существительных (напр.: *essen* (есть) – *das Essen* (еда), *nach dem Essen* (после еды)).

Инфинитив обладает определенными глагольными значениями. Наиболее важными глагольными значениями являются его относительное временное и связанное с этим видовое значения. Инфинитив I выражает одновременность с действием сказуемого или следование действию сказуемого. Одновременность с действием сказуемого:

Er behauptet die Fragen des Richters gut zu verstehen (Или: Er behauptet, daß er die Fragen des Richters gut versteht) – Он утверждает, что хорошо понимает вопросы судьи.

Следование действию сказуемого:

Ich freue mich, morgen ins Theater zu gehen – Я рада, что завтра пойду в театр.

Инфинитив II выражает предшествующее и часто завершенное действие, например:

Er behauptet die Fragen des Richters gut verstanden zu haben (Или: Er behauptet, daß er die Fragen des Richters gut verstanden hat) – Он утверждает, что хорошо понял вопросы судьи.

Временное значение инфинитива II (*verstanden zu haben*) всегда относительно. В данном предложении форма *verstanden zu haben* означает действие, предшествующее действию, которое выражено личной формой глагола *behauptet*.

Инфинитивы I и II выражают страдательный залог с тем же относительным временным значением, что и инфинитив активного залога.

Die wichtigen Fragen müssen vom Gericht selbst entschieden werden – Важные вопросы должны быть решены самим судом.

Несмотря на эти глагольные свойства, инфинитив лишен основных глагольных значений – значения лица и абсолютного времени, а также формы числа, т. е. форм согласования с подлежащим.

Инфинитив может быть в предложении не только частью сказуемого, но и подлежащим, дополнением, определением, обстоятельством. При этом следует различать употребление инфинитива с *zu* и без *zu*. Инфинитив в немецком языке может иметь синтаксическую функцию:

1) подлежащего. Нераспространенный инфинитив в качестве подлежащего употребляется обычно без zu, если он стоит перед сказуемым, например:

Studieren ist nicht immer leicht – Учиться не всегда легко.

Если инфинитив распространен, то перед ним употребляется zu, например:

Wahrheit zu sagen ist notwendig – Необходимо говорить правду.

Если инфинитив стоит после сказуемого, то zu обязательно, а на первом месте употребляется соотносительное слово (коррелят) es, например:

Es ist notwendig, nur Wahrheit zu sagen – Необходимо говорить только правду;

2) части сложного глагольного сказуемого. Употребление zu зависит от того, какой глагол употреблен как первая спрягаемая часть сказуемого. Zu отсутствует:

- после модальных глаголов, например:

Das Strafverfahren soll zur Achtung vor den Gesetzen erziehen – Уголовный процесс должен воспитывать в духе соблюдения законов.

- после глаголов bleiben, heißen, nennen, например:

Das Protokoll blieb auf dem Tisch des Richters liegen – Протокол остался лежать на столе судьи.

В остальных случаях употребляется инфинитив с zu, например:

Der Angeklagte beginnt zu sprechen – Обвиняемый начинает говорить.

Инфинитив с zu употребляется как часть сказуемого после глаголов: fortfahren (продолжать), aufhören (прекращать), pflegen (иметь обыкновение);

3) дополнения. В качестве дополнения инфинитив употребляется после ряда объектных глаголов: behaupten (утверждать), beschließen (решать (что-либо сделать)), hoffen (надеяться), bedauern (сожалеть) и др., а также после прилагательных и причастий, употребленных в качестве предикатива: stolz sein (гордиться), glücklich sein (быть счастливым), verpflichtet sein (быть обязанным) и др.:

Jeder Zeuge ist verpflichtet, die Wahrheit zu sagen – Каждый свидетель обязан говорить правду.

Употребление zu колеблется после таких объектных глаголов, как lehren (учить, обучать), lernen (учиться), helfen (помогать). Если дополнение стоит непосредственно за сказуемым или близко от него, то zu отсутствует, например:

Das Recht lehrt uns Gesetze achten – Право учит нас соблюдать законы.

Если эти глаголы (lehren, lernen, helfen) употреблены в сложной глагольной форме, а инфинитив следует за этой формой, то zu употребляется обязательно:

Die mehrjährige Haft hat den Verbrecher gelehrt, Gesetze zu achten – Многолетнее заключение научило преступника соблюдать законы;

4) определения. Инфинитив в качестве определения (обязательно с zu) употребляется после некоторых имен существительных, имеющих абстрактное значение: Möglichkeit (возможность), Wunsch (желание), Recht (право) и др.:

Jeder Richter hat das Recht, seine abweichende Meinung schriftlich niederzulegen – Каждый судья имеет право изложить письменно свое субъективное мнение;

5) обстоятельства цели. Инфинитив как обстоятельство цели употребляется без zu только после сказуемого, выраженного глаголами движения: gehen (идти), laufen (бежать), fahren (ехать), kommen (приходить), и после глагола schicken (посылать):

Ich gehe den Zeugen holen – Я иду привести свидетеля [5].

В немецком языке инфинитив может субстантивироваться, т. е. переходить в разряд существительных. Субстантивированный инфинитив пишется с прописной буквы, употребляется с артиклем или местоимением:

lesen (читать) – das Lesen (чтение);

funktionieren (функционировать) – das Funktionieren (функционирование);

einwirken (воздействовать) – das Einwirken (воздействие);

Многие субстантивированные инфинитивы вошли в язык как новые существительные, например:

denken (думать, мыслить, полагать) – das Denken (мышление);

handeln (действовать, поступать) – das Handeln (поступок, действие).

Иногда в субстантивированном инфинитиве развиваются новые значения, хотя и близкие к основному:

essen (есть, кушать) – das Essen (еда (процесс еды); еда (кушанье); обед);

schreiben (писать) – das Schreiben (письмо (процесс письма); письмо);

verfahren (поступать, действовать, обращаться, обходиться с кем-либо, с чем-либо) – das Verfahren (действие, акт, способ, метод, юридический процесс);

verhalten (sich) (вести себя) – das Verhalten (поведение, образ действий) [5].

В немецком языке, если инфинитив выступает в качестве подлежащего (на первом месте в предложении), то употребление приинфинитивной частицы zu варьируется. Нераспространенный (одиночный) инфинитив в качестве подлежащего употребляется обычно без частицы zu, если он стоит перед сказуемым, например:

Studieren ist nicht immer leicht – Учиться не всегда легко.

Lesen ist nützlich – Читать полезно.

Если в качестве сказуемого выступает распространенный инфинитив, то приинфинитивная частица обязательна:

Viel zu lesen ist nützlich – Много читать полезно.

Если инфинитив стоит после сказуемого, то zu обязательна, а на первом месте употребляется соотнесительное слово (коррелят) es, например:

Es ist nützlich, zu lesen (Или: Es ist nützlich zu lesen) – Читать полезно.

Es ist notwendig, nur Wahrheit zu sagen – Необходимо говорить только правду.

Wahrheit zu sagen ist notwendig – Необходимо говорить правду.

Также zu употребляется, если инфинитив вынесен за рамки сказуемого:

Er hat schon früh gelernt, sein Geld zu verdienen – Он рано научился зарабатывать свои деньги.

В роли подлежащего инфинитив в английском языке стоит в начале предложения перед сказуемым и всегда (в отличие от немецкого инфинитива) перед ним находится приинфинитивная частица, например:

To read books is useful – Читать книги полезно.

В современном английском языке наблюдается тенденция начинать предложение с безличной конструкции с формальным подлежащим it, при этом действительное подлежащее – инфинитив – используется после этой конструкции, например:

It is easy to make mistakes – Легко делать ошибки.

Как мы видим, в данном случае частица to тоже обязательна.

В немецком языке в предложениях с формальным подлежащим *es* инфинитив в роли подлежащего может как отделяться запятой, так и не отделяться:

*Es ist nützlich, zu lesen.*

*Es ist nützlich zu lesen.*

Рассмотрим использование запятой при инфинитиве в других случаях. В немецком языке распространенный инфинитив (инфинитивная группа) в предложении отделяется, как правило, запятой. По новым правилам немецкого правописания можно пропускать запятую во многих случаях, если вследствие этого не возникает никаких недоразумений.

По старым правилам правописания:

*Uta glaubte fest, den Mann schon einmal gesehen zu haben* – Ута была уверена, что уже видела этого мужчину.

По новому правописанию возможен следующий вариант:

*Uta glaubte fest den Mann schon einmal gesehen zu haben.*

Инфинитив *zu haben* является распространенным благодаря инфинитивной группе *den Mann schon einmal*.

Запятая не ставится как по старому, так и по новому правописанию, если в предложении встречается так называемый «голый» (нераспространенный) инфинитив:

*Uta versuchte zu singen* – Ута пыталась петь.

Ставят запятую перед распространенным инфинитивом прежде всего в тех случаях, когда без нее предложение было бы неоднозначным:

*Uta versuchte, nicht zu singen* – Ута пыталась не петь.

*Uta versuchte nicht, zu singen* – Ута не пыталась петь.

В вышеупомянутом примере нераспространенного инфинитива запятая ставится только в виде исключения, чтобы был понятен смысл предложения.

Запятая перед распространенным инфинитивом ставится, если эта часть предложения зависит от существительного или относится к корреляту:

*Daran, jetzt zu verschwinden, hatte er noch nicht gedacht* – Он еще не подумал о том, чтобы теперь исчезнуть.

В случаях, которые не регулировались, запятая может ставиться, чтобы пояснить классификацию или исключить недоразумения.

В английском языке запятой обязательно выделяются длинные инфинитивные предложения, например:

*To find the street you are looking for, turn left at the first stop sign* – Чтобы найти ту улицу, которую вы ищите, поверните налево на первом знаке «стоп».

Распространенные инфинитивные конструкции в английском языке запятой не выделяются:

*Very early he started to earn his own living* – Он очень рано стал зарабатывать себе на жизнь.

Рассмотрим трансформации аналогичных предложений в английском и немецком языках.

*It is not easy to study* – *To study is not easy.*

*Es ist nicht leicht zu studieren* – *Studieren ist nicht leicht.*

Как мы заметили, английский инфинитив *to study* остается неизменным, а немецкий *zu studieren* при переносе на первое место в предложении лишается частицы. Построим вопросы к этим предложениям.

Is it easy to study?

Ist es leicht zu studieren?

В обоих языках для формирования вопроса необходимо воспользоваться формальным подлежащим. Возможно, это происходит потому, что случаи, когда глагол становится существительным, воспринимаются всей языковой системой с сомнением. Глагол и имя существительное противостоят друг другу практически абсолютно и являются именно теми полюсами, на которых строится предложение. Так как, будучи подлежащим, глагол выполняет несвойственную ему функцию, то возможно, что субстантивированное существительное, которым он становится, нуждается в некоей поддержке. Не исключено, что формальные подлежащие *it* и *es* и осуществляют эту поддержку. Также возможно, что постоянное присутствие *it* и *es* именно в вопросительных предложениях объясняется тем, что, будучи интонационно и энергетически более насыщенными, чем утвердительные, они обладают большими возможностями для поддержания этих субстантивированных подлежащих.

Как было сказано выше, английский инфинитив в роли подлежащего всегда выступает с приинфинитивной частицей. В немецком языке употребление этой частицы варьируется. Возможно, что это явление может быть объяснено наличием в английском языке сильного параллелизма инфинитива и герундия, чьи значения полностью совпадают. Окончание герундия *-ing* никогда не меняет своей формы и не элиминируется, и мы можем предположить, что по аналогии с окончанием герундия приинфинитивная частица тоже оказывается прочно прикрепленной к телу инфинитива, даже будучи отделенной формальным пробелом.

В немецком языке явление, наиболее близкое к явлению герундия в английском – это субстантивация глагола при помощи артикля среднего рода *das*. Возможно, что существование таких субстантивированных глаголов (например, *das Studieren*), у которых варьируется наличие артикля, приводит к тому, что у инфинитива в роли подлежащего тоже может опускаться частица *zu*. Кроме того, артикль этот опускается во многом случайным образом, поэтому ожидать предсказуемого наличия или отсутствия частицы *zu* тоже сложно.

Наличие артикля носит практически обязательный характер для субстантивированных частей речи, и возможность его опущения является достаточно сомнительной. Возможно, явление субстантивации глагола должно описываться более тонкими теориями, чем наши предположения. Следует учитывать тот факт, что субстантивированная единица производится из глагольной, т. е. фактически из «противоположного» материала.

Рассмотрев сходства и различия английского и немецкого инфинитивов и особенности инфинитива в роли подлежащего в данных языках, мы пришли к следующим выводам. Инфинитив в этих языках может выступать в функции подлежащего, именной части сказуемого, дополнения, определения и обстоятельства. Выступая в роли подлежащего в этих языках, инфинитив тем не менее не может считаться полноценным существительным. Мы обнаружили проблему отсутствия или наличия в немецком языке приинфинитивной частицы *zu* в случаях, когда инфинитив выступает в роли подлежащего. Правила употребления приинфинитивной частицы в этих германских языках не носят универсального характера: в роли подлежащего инфинитив в английском языке всегда маркирован частицей *to*, в немецком языке употребление приинфинитивной частицы *zu* варьируется. Не исключено, что опущение приинфинитивной частицы в немецком языке связано с возможностью опущения ар-

тикля среднего рода при субстантивированном глаголе. Также мы пришли к выводу, что употребление запятой для маркирования немецкого инфинитива априори носит сугубо синтаксический характер и выводит инфинитив из морфосинтаксической сферы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балли Ш. Общая лингвистика и вопросы французского языка. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. 416 с.
2. Адмони В. Г. Теоретическая грамматика немецкого языка. Строй современного немецкого языка. М.: Просвещение, 1986. 336 с.
3. Бавинова И. Е., Котов А. Е. Некоторые особенности субстантивации в английском и нидерландском языках: сб. науч. тр. СевКавГТУ. Сер. Гуманитарные науки. Вып. 6. 2001. С. 101–104.
4. Иванова И. П., Бурлакова В. В., Почепцов Г. Г. Теоретическая грамматика английского языка: учебник. М.: Высш. шк., 1981. 285 с.
5. Марфинская М. И., Монахова Н. И. Грамматика немецкого языка. М.: Юрист, 2001. 70 с.

I. S. Stepanenko

#### INFINITIVE AS THE SUBJECT IN ENGLISH AND GERMAN LANGUAGES

*The similarities and differences of English and German infinitives and particular features of infinitive as the subject in these languages are considered. It is established that infinitives cannot be considered nouns of full value. The problem of presence or absence of the infinitival particle “zu” when the infinitive is used as the subject in German is revealed.*

**Infinitive, subject, substantivisation, article, verb**

УДК 004

*Е. А. Канова*

### МЕДИАРЕАЛЬНОСТЬ: ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ

*Анализируются философские концепции реальности как теоретико-методологической основы медиареальности. Раскрываются онтологические, логико-эпистемологические, социоаксиологические проблемы медиареальности.*

**Реальность, социальная реальность, информационная реальность, медиареальность, медиаинформация, медиатехнологии**

Медиареальность сегодня является предметом анализа всех форм знания. Это связано со значительными изменениями в информационных, технологических и других аспектах жизни общества. Медиареальность определяет наше отношение к реальности, а зачастую и нашу реальность в целом. Между тем, феномен медиареальности системно не рассмотрен. Отсутствует философский анализ данного феномена.

Анализировать медиареальность можно на различных уровнях: частнонаучном, науковедческом, философском, частноспециальном. Мы остановимся на философском анализе некоторых проблем медиареальности.

В философском аспекте осмысления медиареальности можно выделить следующие основные проблемы:

- 1) онтологические – проблемы существования, функционирования и развития медиареальности;
- 2) логико-эпистемологические – проблемы медиазнания и исследования медиареальности как средства познания;
- 3) методологические – методы и средства исследования медиареальности;
- 4) социально-аксиологические – медиареальность как социокультурное явление, ее место и роль в жизни общества.



**Онтологические проблемы медиареальности.** Методологической основой анализа понятия «медиареальность» являются концепции реальности. Термин «реальность» употребляется довольно часто, но неоднозначно. Существуют различные концепции этого феномена. В широком смысле он трактуется как вся существующая действительность.

В истории философии реальность отличали от действительности, т. е. «реальность трактовалась как бытие чего-либо существенного в данной вещи, как бытие ее самой, а действительность понималась как наличие всего существенного и несущественного в данной вещи» [1, с. 406].

Греки первыми поставили вопрос о реальности как первоначале, различали чувственную и мыслительную реальности. Но на первом этапе развития греческой мысли реальность зачастую понимается как бытие, т. е. в широком смысле, как предельно общее понятие о существовании, о сущем вообще.

В конце Средних веков и в начале Возрождения формируется новое понятие реальности (понятие природы как бесконечного источника сил и энергии, а также замысел использования этих сил и энергии на основе научного познания и законов природы).

Научная картина мира, возникшая в Новое время, исключала божественную реальность и исследовала законы природы. Все принадлежит одной реальности – природной, но при этом осталась идея силы, которой придавался космический масштаб – такой же, как придавался божественной. С точки зрения Дж. Локка, первичные качества вещей обладают большей реальностью, чем вторичные. У Дж. Беркли реальность по нисходящим ступеням присуща богу, человеку, душам и наиболее «живым» идеям, т. е. ощущениям. Г. Спенсер и Д. Юм полагали, что большей реальностью обладают воскрешаемые сознанием и в этом смысле устойчивые впечатления.

В немецкой классической философии И. Кант выделял «эмпирическую реальность» явлений и категориальную реальность как «трансцендентальную материю всех предметов» познания. Согласно И. Г. Фихте, реальность совпадает с активностью и проистекает из продуктивной силы воображения. Г. В. Ф. Гегель же рассматривал реальность не только как онтологическую, но и как логическую категорию. И. К. Ф Шиллер – как результат преобразования субъектом «сырого опыта», словно субъект сам создает реальность.

В классическом диалектическом материализме критерием реальности объектов, процессов, событий, фактов, свойств и т. д., равно как и истинности, является общественная, в том числе научно-экспериментальная и техническая, практика человечества [2, с. 22–25].

В русской философии термин «реальность» неразрывно связан с именем С. Л. Франка и его концепциями духовности человеческой жизни. Учение С. Л. Франка можно охарактеризовать как учение о взаимоотношении реальности и человека. С. Л. Франк пишет, что реальность – нечто более широкое и глубокое, чем объективная действительность, «то, что мы называем «духовной жизнью», есть лишь иное обозначение для жизни, воспринимаемой как подлинная непосредственная самораскрывающаяся реальность» [3, с. 41].

С различным пониманием реальности связана и многозначность термина реализм в истории философской мысли, который мог выступать синонимом как идеализма, так и материализма.

В современном научном познании, как правило, термин «реальность» используется для обозначения того или иного аспекта универсума, например, «физическая реальность», «социальная реальность», «художественная реальность» и т. п. [4, с. 134].

Если рассматривать современные концепции реальности, то можно отметить, что о реальности говорят, когда задают вопрос не столько о том, существует или нет некий мир, сколько о том, каковы особенности этого мира, чем он отличается от других миров [4, с. 135].

Реальностей много и они разные: физическая, социальная, техническая, инженерная, познавательная, информационная и т. д. Одной из формирующихся реальностей является медиареальность. Единого понимания этого понятия пока нет.

Зачастую данный феномен рассматривается путем перечисления различных аспектов: фотография, письмо, телефон, радио, компьютер, телевидение, кинематограф, весь комплекс СМИ, т. е. любые средства коммуникации.

А. Н. Фортунатов определяет медиареальность как различные формы онтологизации социальной информации, превращения ее в механизм социального действия и общественной динамики, в том числе и через технические средства «опредмечивания», «цифровизации» и передачи информации на расстояния по каналам связи<sup>1</sup>. Медиареальность – специфическое порождение социореальности, обладающее собственными онтологическими особенностями.

Доктор философских наук В. В. Савчук определяет медиареальность как реальность всех, а не для всех. И именно в этом статусе она становится онтологическим условием существования человека, а в этом качестве – предметом медиафилософии<sup>2</sup>. В качестве фундамента медиареальности В. В. Савчук выделяет медиатехнологии.

Кандидат искусствоведения О. В. Краснаярова определяет понятие медиареальность «как некую реальность, отражаемую и выражаемую средствами массовой коммуникации (СМК)»<sup>3</sup>.

В свободной энциклопедии «Википедия» дается следующее определение: медиареальность – реальность, которую производят, представляют и обособляют медиа<sup>4</sup>.

Таким образом, медиареальность – специфическая форма реальности. Это системный феномен, имеющий сложную структуру. Структуру медиареальности можно рассматривать по различным критериям.

В целом, безусловно, можно выделить две составляющие медиареальности:

- материально-технический компонент;
- духовный компонент.

Каждый из этих компонентов включает в себя определенные элементы. Материально-технический компонент включает медиатехнологии и медиатехнику. В самом общем смысле под технологиями понимают одну из специализированных форм человеческой деятельности. Согласно толковому словарю технология – это комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на изготовление, обслуживание, ремонт и/или эксплуатацию изделия с номинальным качеством и оптимальными затратами<sup>5</sup>. Но со временем технологии претерпели значительные изменения. Если раньше технология подра-

---

<sup>1</sup> Фортунатов А. Н. Взаимодействие субъектов социальной коммуникации в медиареальности. Автореф. дис. ... д-ра филос. наук. Нижний Новгород, 2009. 44 с. <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/filosof/2009/21-09/FortunatovAN.doc>.

<sup>2</sup> В. В. Савчук. Медиафилософия: формирование дисциплины: материалы междунар. науч. конф. «Медиа как предмет философии». <http://www.intelros.ru/pdf/mediafilosofia/01.pdf>.

<sup>3</sup> О. В. Краснаярова. Медиареальность: коммуникативистский и постмодернистский подходы // Проблемы теории и истории журналистики: сб. науч. тр. [http://window.edu.ru/window\\_catalog/pdf2txt?p\\_id=25692&p\\_page=4](http://window.edu.ru/window_catalog/pdf2txt?p_id=25692&p_page=4).

<sup>4</sup> Медиареальность. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>.

<sup>5</sup> Технология. <http://instapedia.com/m/Technology>.

зумевала под собой навык, то в настоящее время технология – это сложный комплекс знаний ноу-хау, полученных порою с помощью дорогостоящих исследований. Под медиатехнологиями следует понимать методы преобразования информационной структуры жизни в медиаинформацию. А. Н. Фортунатов выделяет медиатехнологии в качестве фундамента медиареальности. Он отмечает, что медиатехнологии развиваются в нарастающем темпе, в связи с чем изменяется роль и место человека в системе массовой коммуникации<sup>6</sup>. Медиатехника – это материально-техническая база, средства создания, записи, копирования, тиражирования, хранения, распространения, восприятия медиаинформации.

Среди элементов духовной составляющей медиареальности выделяют информационную реальность, медиаинформацию, медиакультуру, медиазнания, медиаинформационные процессы, медиапространство, формы медиаинформационного взаимодействия.

Если рассматривать медиареальность как специфическую форму деятельности, то составными ее структуры будут: субъект и объект медиареальности, средства медиареальности, результат и т. д.

Медиасубъектами являются все субъекты, включенные в реальность медиа. Участниками являются все: и отправители, и получатели послания. В системе медиа нет абсолютно пассивного объекта, как нет активного начала, некоей прогнозирующей ситуацию инстанции<sup>7</sup>. Объектами медиареальности являются ее составляющие.

Под средствами медиареальности можно понимать методы преобразования информационной структуры жизни в медиаинформацию. Медiasредства являются системой операций и приемов, направленных на создание медиаинформации, т. е. одной из составляющих медиареальности.

**Логико-эпистемологические проблемы медиареальности.** Одним из компонентов медиареальности является медиазнание. Знание о медиареальности появилось вместе с ее возникновением и в настоящее время находится на стадии осмысления и формирования теории. Познание медиареальности составляет основу медиакартины мира и отражает законы ее развития. Границы медиазнания определяют характер и уровень развития материально-технической практики, т. е. деятельности по преобразованию медиареальности. Каким образом можно познать медиареальность?

В настоящее время складывается ситуация, когда медиазнание превращается в одну из форм отражения действительности. Но обладает ли медиазнание такими свойствами как объективность, предметность, системность, рациональность, обоснованность? Вот основные проблемы, стоящие в центре логико-эпистемологических проблем медиаэпистемологии.

В настоящее время происходит процесс формирования медиаэпистемологии. В целом, эпистемология – раздел философии, в котором анализируется природа и возможности знания, его границы и условия достоверности [5, с. 103]. В задачи эпистемологии входит исследование не научного знания, естественно-научного и социального познания в его ипостасях – социологического, мифического, художественного, теологического и обыденного [6, с. 13]. Исходя из понятия эпистемологии, медиаэпистемология – это теория познания, в

---

<sup>6</sup> Фортунатов А. Н. Взаимодействие субъектов социальной коммуникации в медиареальности. Автореф. дис. ... д-ра филос. наук. Нижний Новгород, 2009. 44 с. <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/filosof/2009/21-09/FortunatovAN.doc>.

<sup>7</sup> В. В. Савчук. Медиафилософия: формирование дисциплины: материалы междунар. науч. конф. «Медиа как предмет философии». <http://www.intelros.ru/pdf/mediafilosofia/01.pdf>.

которой анализируется медиареальность, предпосылки познания, границы и условия достоверности медиазнания, его строение, структура, функционирование и развитие, отношение медиазнания к реальности. Знание о медиареальности формируется на основе научного познания законов природы и общества. Медиаэпистемология анализирует не индивидуальные механизмы деятельности субъектов, а всеобщие основания, дающие возможность рассматривать медиазнание, выражающее реальное, истинное положение вещей. Развиваются философские, науковедческие, аналитические, операциональные, нормативные, структурно-функциональные приемы и методы исследования медиареальности.

**Социально-аксиологические проблемы медиареальности.** Медиареальность становится одним из значимых социокультурных феноменов современности и затрагивает все сферы общественной жизни: политическую, религиозную, экономическую, культурную. Интернет и медиаресурсы являются мощным информационным средством. Вместе с тем в настоящее время наблюдается методологическая недостаточность в осмыслении проблем, порождаемых медиавлиянием.

Именно медиареальность диктует сегодня правила жизни в социальной реальности, именно она становится властной машиной, манипулирующей многими реалиями и аспектами обывденной жизни: привычками, политическими пристрастиями.

Вопросы, связанные с природой ценностей, их место в медиареальности, структура ценностного мира медиа формируют социально-аксиологические проблемы медиареальности. Анализируя современные актуальные аксиологические проблемы медиареальности, важно отметить их множественность и бивалентность. Это проблемы ценностей, ценностных аспектов духовности, медиареальности в целом.

Необходимо отметить бивалентность медиареальности: она имеет как позитивную, так и негативную стороны.

Среди «плюсов» медиареальности можно выделить следующие:

- сокращение времени накопления и обработки знаний;
- увеличение объема информации;
- размытие национальных границ, преодоление языковых барьеров;
- появление возможности виртуального взаимодействия людей не только из разных городов, но и из разных стран и континентов и др.

Необходимо отметить также и «минусы» медиареальности. Прежде всего, появляется затруднение отбора значимой информации. Типичной становится ситуация, когда важная информация, размещенная на сайтах в Интернете, становится недоступной в связи с большими затратами времени на отбор научной информации среди огромного количества сайтов.

Медиареальность меняет этические координаты человека. И если первоначально медиатехнологии создавались с целью сохранения накопленной информации, культуры, то в настоящее время медиареальность решительно меняет наше отношение к смыслам, знаниям, ценностям.

Важно еще и то, что если раньше базовые аспекты личности, картина мира, ценности и установки формировались внутри самой социальной реальности, к которой они и относятся, то теперь их формирует или изменяет медиареальность.

Таким образом, проанализировав основные философские проблемы медиареальности, можно сделать вывод, что в настоящее время складывается специфическая область философии, которую можно назвать медиафилософией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Философский словарь / Под ред. И. Т. Фролова. 5-е изд. М.: Политиздат, 1987.
2. Котенко В. П. История и философия технической реальности: Учеб. пособие для вузов. М.: Академический проект; Трикта, 2009.
3. Франк С. Реальность и человек: Метафизика человеческого бытия. М.: АСТ; Хранитель, 2007.
4. Юсупов Р. М., Котенко В. П. История информатики и философия информационной реальности: Учеб. пособие для вузов. М.: Академический проект, 2007.
5. Лекторский В. А. Эпистемология классическая и неклассическая. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
6. Плахов В. Д. Западная социология XIX–XX вв. От классики до постнеклассической науки: Эпистемологическое обозрение. 2-е изд. испр. и доп. СПб.: Алетейя, 2006.

*E. A. Kanova*

*MEDIAREALITY: PHILOSOPHICAL ANALYSIS*

*Philosophical concepts of reality are analyzed as theoretical and methodological basis mediareality. The ontological, logical and epistemological, socio-axiological problems of mediareality are Reveals in this article.*

**Reality, social reality, information reality, mediareality, mediainformation, mediatechnologi**

### Сведения об авторах

*Агафонова Дарина Сергеевна*

Аспирант кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (905) 217-52-87. E-mail: william\_mccsiebe@mail.ru.

*Альмяшев Вячеслав Исакович*

Ассистент кафедры физической химии СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 797-00-39. E-mail: vac@mail.ru.

*Аммон Людвиг Юрьевич*

Студент гр. 4351 СПбГЭТУ.

E-mail: luds-a@yandex.ru.

*Анисимов Владимир Иванович*

Профессор кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: +7 (911) 744-82-28.

*Барашко Дарья Фёдоровна*

Ассистент кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ, аспирант.

Тел.: +7 (921) 563-87-95. E-mail: dariabarashko@gmail.com.

*Беналлал Н.*

Политехнический университет (Алжир), канд. техн. наук.

Тел.: +2 (1377) 774-20-93. Mail: BMNADJIB@hotmail.com.

*Ватаев Андрей Сергеевич*

Доцент кафедры электрических машин СПбГПУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (905) 012-70-14. E-mail: avataev@yandex.ru.

*Гареев Камиль Газинурович*

Студент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 759-40-32. E-mail: ctxpr500f@ya.ru.

*Грачева Ирина Евгеньевна*

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

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: IEGrachova@mail.ru.

*Доан Ань Туан*

Данангский политехнический институт (Вьетнам), канд. техн. наук.

Тел.: 0511-3-721-363. E-mail: datouan95@yahoo.com.ru.

*Зуев Владимир Александрович*

Доцент кафедры корабельных систем управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-28-57. E-mail: vazuev@mail.eltech.ru.

*Калмычков Виталий Анатольевич*

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

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: vakalmychkov@mail.eltech.ru.

*Каменьков Дмитрий Васильевич*

Системный администратор ЗАО «Масса-К».

E-mail: dkamenkov@gmail.com.

*Канова Екатерина Анатольевна*

Аспирант кафедры философии СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 095-63-89. E-mail: Kanova\_@mail.ru.

*Капитонова Ольга Владимировна*

Аспирант кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ.

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

*Котова Елена Евгеньевна*

Доцент кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-37-98. E-mail: apu\_kotova@mail.ru.

*Кривцова Галина Борисовна*

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН), ст. науч. сотр., канд. техн. наук.

Тел.: (812) 230-79-40. E-mail: g.b.krivtsova@ecosafety-spb.ru.

*Ламкин Иван Анатольевич*

Инженер кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: ialamkin@mail.ru.

*Лучинин Виктор Викторович*

Заведующий кафедрой микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: cmid@eltech.ru.

*Ляшенко Александр Леонидович*

Доцент кафедры процессов управления и информационных систем СЗТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 187-81-80. E-mail: akuna\_matata\_kmv@mail.ru.

*Матвеева Ирина Витальевна*

Старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: ir\_mat@mail.ru.

*Мошников Вячеслав Алексеевич*

Профессор кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: VAMoshnikov@mail.ru.

*Нахди Тарек*

Аспирант кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 377-61-33. E-mail: nahditarek@mail.ru.

*Новожилов Игорь Михайлович*

Доцент кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 752-47-58. E-mail: novozhilovim@list.ru.

*Патрина Татьяна Александровна*

Ассистент кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-29-17. E-mail: nessionok@yandex.ru.

*Пашков Максим Петрович*

Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 638-08-39. E-mail: magvays@yandex.ru.

*Пелевин Александр Евгеньевич*

Начальник сектора ОАО «Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"» (СПб.), д-р техн. наук.

Тел.: (812) 499-78-90. E-mail: office@eprib.ru.

*Попечителев Евгений Парфирович*

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

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

*Ремизов Иван Александрович*

Студент кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 872-45-70. E-mail: remizovivan@gmail.com.

*Сидоров Александр Иванович*

Профессор кафедры оптоинформационных технологий и материалов СПбГУИТМО, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

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

*Смелов Иван Николаевич*

Аспирант кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (905) 253-04-49. E-mail: insmelov@mail.ru.

*Степаненко Инна Сергеевна*

Ассистент кафедры иностранных языков СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 981-64-29. E-mail: lockhard@rambler.ru.

*Степанов Илья Владимирович*

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

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

*Тарасов Сергей Анатольевич*

Доцент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: SATarasov@mail.ru.

*Татаринов Юрий Станиславович*

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

Тел.: (812) 234-26-82.

*Федоров Виктор Викторович*

Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

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



*Феоктистов Александр Олегович*

Инженер кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 735-11-64. E-mail: feokt\_ao@mail.ru.

*Ходырев Иван Александрович*

Аспирант Управления информационных технологий при СПбГЭТУ.

E-mail: kivan.mih@yandex.ru.

*Шавров Андрей Викторович*

Аспирант кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 191-28-84.

## Правила представления рукописей авторами

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

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
  - рукопись статьи;
  - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
  - рукопись статьи (статья должна быть объемом 4–8 маш. с., обзорная статья – до 16 маш. с.);
  - сведения об авторе(ах);
  - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
  - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
  - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

*Сведения об авторах должны содержать:*

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

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

### *Правила оформления текста статьи*

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

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

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Times New Roman» 14 pt; межстрочный интервал одинарный); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

*Перечень авторов* разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Times New Roman» 12 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

*Название статьи* набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman» 14 pt; жирный; выравнивание по левому краю; отступы слева и справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него – 12 pt; межстрочный интервал одинарный).

*Аннотация* содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.75 см; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал одинарный).

*Ключевые слова* состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него 9 pt; межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

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

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

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

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 8 pt, «символ» 14 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив; интервалы: перед формулой 6 pt, после нее 6 pt.

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

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом; интервалы: перед таблицей 4 pt, после нее 4 pt.

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

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и

обозначения на рисунке даются шрифтом размером 10 pt, индексы 8 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок и номер рисунка даются курсивом. Буквенные обозначения фрагментов рисунка (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) ставятся внизу фрагмента; интервалы: перед рисунком 6 pt, после него 6 pt.

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

*Перечень основных тематических направлений журнала:*

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

*Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.*

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