Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Ежемесячный журнал

8' 2010

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Кольцов М. М. Разработка алгоритма восстановления трехмерной структуры сцен по их плоским изображениям *3*

Бабичев Д. А., Тупик В. А. Влияние протяженности границы излучения фрактальной микрополосковой антенны на ее характеристики. *7*

Земляков К. Н., Вендик И. Б. Перестраиваемые многополосные СВЧ-резонаторы и фильтры на комбинации отрезков искусственных длинных линий с положительной и отрицательной дисперсией..... *11*

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Гордюшенков О. Е., Комков О. С., Пихтин А. Н. Исследование InGaAs/GaAs квантовых колец методами фотолюминесценции и фотоотражения..... *18*

Землякова С. Ю. Особенности формирования нанообъектов из жидкой фазы с помощью атомно-силовой микроскопии..... *23*

Грачева И. Е., Карпова С. С., Мошников В. А., Пщелко Н. С. Сетчатые иерархические пористые структуры с электроадгезионными контактами..... *27*

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Маркин Н. А. Повышение отказоустойчивости автоматизированных систем без снижения производительности при помощи репликации данных *33*

Водяхо А. И., Жукова Н. А., Пантелеев М. Г., Пузанков Д. В. Совместное использование сервисно-ориентированных и многоагентных архитектур для построения интеллектуальных информационно-управляющих систем *38*

Кухарев Г. А., Щеголева Н. Л. Алгоритмы двумерного анализа главных компонент в приложении к распознаванию изображений лиц *43*

Лисс А. Р. Синтез инвариантных алгоритмов обнаружения многокомпонентных сигналов в шуме при наличии мешающих параметров *50*

Аяд Абдулазиз Али Мохсен. Использование web-ориентированной САПР для дистанционного обучения *56*

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Путов В. В., Путов А. В., Я. Н. Сколяров, Шелудько В. Н. Автоматически управляемые электромеханические устройства торможения транспортных колес..... *61*

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ваганов М. А., Пантюхов Д. С. Максимум энергетического КПД асинхронного двигателя 68

Редакционный совет

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

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

Учредитель:

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

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

***

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

Подписано в печать 13.10.10 г.
Формат 6084 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 15,25
Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)
Заказ 55
Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-45-23
Факс: (812) 346-28-56

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алексеев В. В., Орлова Н. В., Иващенко О. А.
ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок. *77*

Куракина Н. И., Микушина В. Н. Методика ведения мониторинга водных объектов на базе геоинформационных технологий *85*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Котова Е. Е., Шавыкин В. А.
Применение интерактивных технологий обучения для формирования профессиональных компетенций *89*

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Магомедов М. Н. Оптимизация организационной структуры управления на примере газодобывающего предприятия *96*

Виноградова Н. Ю. Инновационный аспект управления экосоциальной системой *101*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Калинина В. В. История становления и современные проблемы кибернетики: философский анализ *108*

Сведения об авторах *115*

Правила представления рукописей авторами *120*

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)

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 778.38.01:535

М. М. Кольцов

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ СЦЕН ПО ИХ ПЛОСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Представлена технология восстановления трехмерной сцены из двух или более проекций этой сцены. Алгоритм восстановления основан на обнаружении и выделении на каждом из плоских изображений одноименных областей, соответствующих одним и тем же объектам сцены, и поиске диспарантности этих областей.

Алгоритм восстановления трехмерных изображений, аксонометрия 3D-сцены, восприятие глубины, стереопара, глубина 3D-сцены, медианная фильтрация изображения, угловые ракурсы 3D-сцены

В обычном изображении трехмерного пространства информация о расстоянии до различных элементов сцены проявляется только в виде косвенных признаков: через относительные размеры объектов, затенение одних объектов другими, различную освещенность и т. д. Один из способов получения информации о глубине состоит в регистрации нескольких изображений сцены под различными ракурсами. В этом случае точки сцены дают изображения, относительное положение которых зависит от расстояния до точки наблюдения. Сопоставляя эти изображения, в ряде случаев можно реконструировать трехмерную структуру сцены. Основы теории определения положения объектов в пространстве по их перспективным изображениям были разработаны еще в средние века, а в XVIII в. перспективные рисунки стали использовать в топографических целях. Появление фотографии положило начало фотограмметрии – науке об определении формы, размеров и пространственного положения различных объектов посредством измерения их фотографических изображений. В начале XX в. был изобретен стереокомпаратор – прибор для измерения пространственного положения объектов по паре перекрывающихся фотографических изображений. Интерес к методам восстановления трехмерной структуры сцен по их плоским изображениям возобновился в середине XX в. в связи с исследованиями в области искусственного интеллекта, а практическая потребность в робототехнических устройствах, способных ориентироваться в трехмерном пространстве, постоянно поддерживает этот интерес в последние десятилетия [1].

Строго говоря, различные точки пространства предметов отображаются оптической системой камеры в пространстве изображений на различных расстояниях от фокальной плоскости. Однако, если расстояние между камерой и наблюдаемой сценой значительно превышает фокусное расстояние оптической системы, можно считать, что изображение строится в ее фокальной плоскости. В этом случае можно использовать проективную модель камеры, в которой изображение трехмерного объекта получается проектированием его в фокальную плоскость (плоскость изображения) через единственную точку, называемую оптическим центром. Прямая линия, перпендикулярная плоскости изображения и проходящая через эту точку, называется оптической осью камеры, а точка пересечения оптической оси с плоскостью изображения – главной точкой.

Опираясь на модель регистрирующей камеры [2] можно сделать вывод, что, зная геометрию съемки и измерив координаты проекций одной и той же точки в плоскостях изображения камер, можно вычислить глубину (координату Z) точки любого объекта стереопары или набора плоских ракурсов. При этом разность между координатами этой точки на стереопаре называют диспарантностью.

Назначение предлагаемого алгоритма – определение диспарантности для пары стереоизображений, представленных двумя плоскими ракурсами объекта или группы объектов. Третья координата (глубина) может быть найдена при известной диспарантности путем элементарных преобразований и исходя из собственных параметров стереоскопической системы.

Прежде всего необходимо построить математическую модель, на которую будет опираться рассматриваемый метод. Всего она содержит 3 логических блока, каждый из которых далее рассматривается в отдельности:

– медианная фильтрация изображения с целью повышения помехоустойчивости алгоритма;

– разбиение каждого изображения стереопары на области, условно принадлежащие одному объекту, т. е. выделение объектов или их частей из общего ландшафта изображения;

– обнаружение соответствующих друг другу областей на левом и правом изображениях стереопары, нахождение диспарантности.

Исходя из требований цифровой обработки, можно принять модель изображения в виде матрицы, элементы которой содержат яркости его отдельных точек (пикселей).

Вследствие помех, неизбежно возникающих при регистрации изображения, возможны ошибки при расчете диспарантности, вызванные неверным толкованием алгоритмом артефактов, вносимых этими помехами. Для борьбы с подобными нежелательными эффектами предлагается предварительно проводить медианную фильтрацию изображений.

Все линейные алгоритмы фильтрации приводят к сглаживанию резких перепадов яркости изображений, прошедших обработку. Этот недостаток принципиально не может быть устранен в рамках линейной обработки, поскольку линейные процедуры являются оптимальными при гауссовском распределении сигналов, помех и наблюдаемых данных. Реальные изображения, строго говоря, не подчиняются данному распределению вероятностей. Одна из основных причин этого состоит в наличии у изображений разнообразных границ, перепадов яркости, переходов от одной текстуры к другой и т. п. Поддаваясь локальному гауссовскому описанию в пределах ограниченных участков, многие реальные изображения в связи с этим плохо представляются как глобально гауссовские объекты. Именно это и служит причиной плохой передачи границ при линейной фильтрации.

Вторая особенность линейной фильтрации – ее оптимальность, как только что упоминалось, при гауссовском характере помех. Обычно этому условию отвечают шумовые помехи на изображениях, поэтому при их подавлении линейные алгоритмы имеют высокие показатели. Однако часто встречаются изображения, искаженные помехами других типов. Одной из них является импульсная помеха. При ее воздействии на изображении наблюдаются белые или (и) черные точки, хаотически разбросанные по кадру. Применение линейной фильтрации в этом случае неэффективно – каждый из входных импульсов (по сути дельта-функция) дает отклик в виде импульсной характеристики фильтра, а их совокупность способствует распространению помехи на всю площадь кадра.

Удачное решение перечисленных проблем – применение медианной фильтрации. Медианная фильтрация представляет собой эвристический метод обработки, ее алгоритм не является математическим решением строго сформулированной задачи. При применении медианного фильтра последовательно обрабатывается каждая точка кадра, в результате чего образуется последовательность оценок. В идейном отношении обработка в различных точках независима, но в целях ее ускорения целесообразно алгоритмически на каждом шаге использовать ранее выполненные вычисления. При медианной фильтрации используется двумерное окно (апертура фильтра), обычно имеющее центральную симметрию, при этом его центр располагается в текущей точке фильтрации. Чаще всего применяются окна в виде креста и в виде квадрата.

Размеры апертуры принадлежат к числу параметров, оптимизируемых в процессе анализа эффективности алгоритма. Отсчеты изображения, оказавшиеся в пределах окна, образуют рабочую выборку текущего шага. Двумерный характер окна позволяет выполнять по существу двумерную фильтрацию, поскольку для образования оценки привлекаются данные как из текущих строки и столбца, так и из соседних. Обычно число элементов выборки равняется размеру окна, а расположение этих элементов произвольно. Как правило, применяют окна с нечетным числом точек k (это автоматически обеспечивается при центральной симметрии апертуры и при вхождении самой центральной точки в ее состав). Если упорядочить последовательность значений элементов выборки по возрастанию, то ее *медианой* будет тот элемент выборки, который занимает центральное положение в этой упорядоченной последовательности. Полученное таким образом число и является продуктом фильтрации для текущей точки кадра. Понятно, что результат такой обработки не зависит от того, в какой последовательности представлены элементы изображения в рабочей выборке.

В рассматриваемом случае производится сканирование изображений (правого и левого) прямоугольной апертурой размерами ($m \times n$), после чего формируются две новые матрицы обработанных изображений, элементами которых будут, соответственно, элементы, полученные на выходе медианного фильтра. Размеры этих матриц – a/n и b/m (если эти числа не кратны, происходит усечение матриц, чтобы число их строк и столбцов делилось без остатка на размер апертуры фильтра).

Задача блока выделения областей алгоритма – выделение областей изображения независимо друг от друга на левой и правой половинах стереопары. Критерием для включения отдельного пикселя в какую-либо область является усредненная яркость этой области. Таким образом, в область входят соседние элементы строки, яркость каждого из которых не превышает усредненную яркость остальных на некоторый порог.

Задача определения диспарантности сводится к нахождению соответствующих друг другу (одноименных) областей (именованных фрагментов) на правом и левом изображениях стереопары. После этого диспарантность вычисляется как разность между горизонтальными координатами лидирующих (начальных) элементов одноименных областей.

Нахождение соответствующих областей сводится к поиску на правом изображении стереопары именованного фрагмента, средняя яркость элементов которого не превышает среднюю яркость фрагмента на левом изображении на определенное значение.

Поиск именованного фрагмента «справа» осуществляется не вдоль всей строки изображения, а лишь начиная с элемента, номер которого соответствует номеру лидирующего элемента в «левом» фрагменте, что вытекает из понятий о стереоизображениях.

Полученная диспарантность может быть использована для нахождения координаты глубины именованной области изображения путем элементарных преобразований и исходя из параметров стереоскопической системы (фокусного расстояния камеры, базы системы и т. д.). Как видно из приведенных описаний операций, все они могут быть целочисленными и включают в себя операции суммирования и сравнения с порогами. Для повышения эффективности алгоритма возможна замена операции сравнения с некоторым порогом вычислением корреляции со сдвигом левых и правых областей и нахождением максимума корреляционной функции. Тогда добавится операция перемножения. Операция нахождения средней яркости для цветного изображения может быть заменена суммированием по модулю. При этом в цветовом пространстве *RGB* получается окрестность не в виде окружности, а в виде квадрата, что лишь незначительно снизит эффективность алгоритма. Осуществлена программная реализация алгоритма и обработка изображений реальных стереоснимков не в реальном времени. Результирующий снимок с добавлением каждому пикселю координаты глубины выводится в виде аксонометрии 3D-сцены с помощью Open GL. На рис. 1 и 2 показаны две аксонометрии снимков с восстановленной координатой глубины под различными угловыми ракурсами при параметрах медианного фильтра $m = 16$, $n = 16$ и значении порога равном четырем.

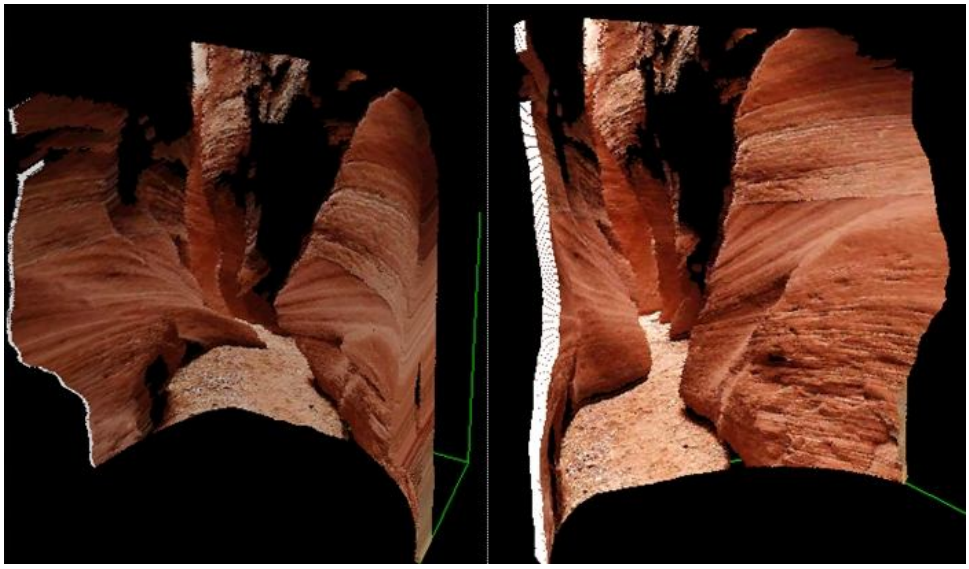


Рис. 1

Как видно из рисунков, качество изображения достаточно высокое и четко просматривается рельефность снимков, т. е. наличие формы по глубине. На рис. 2 даже заметно исчезновение и появление деталей при различных угловых ракурсах оглядывания снимка.

Рис. 2

Разработанный алгоритм может быть реализован аппаратно в виде цифровой БИС, что позволяет обрабатывать в реальном времени 2 потока видео от двух видеокамер, снимающих 2 угловых ракурса 3D-сцены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горелик С. Л., Кац Б. М., Киврин В. И.Телевизионные измерительные системы. М.: Связь, 1980.
2. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.

M. M. Koltsov

ALGORITHM DESIGN OF REBUILDING THREE-DIMENSIONAL SCENE BY IT'S FLAT IMAGES

The proposed technology of rebuilding three-dimensional scene in article is based on two or more flat angle projections of 3D scene. The visualization of 3D scene is based on searching and matching the same objects in whole flat images of this 3d scene.

3d images reconstruction algorithm, isometric view of 3d scene, depth perception, stereopair, 3d scene depth, median image filter, angular perspectives of 3D scene

УДК 520.628

Д. А. Бабичев, В. А. Тупик

ВЛИЯНИЕ ПРОТЯЖЕННОСТИ ГРАНИЦЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Описаны расчет микрополосковой антенны и моделирование ее электромагнитного поля. Рассматривается влияние геометрических факторов на характеристики излучения антенны. Приводятся результаты моделирования микрополосковой и фрактальной антенн.

Фрактальная антенна, коэффициент стоячей волны по напряжению, диаграмма направленности

Фрактальные антенны – относительно новый класс электрически малых антенн, принципиально отличающийся своей геометрией от известных решений. По сути, традиционная эволюция антенн базировалась на евклидовой геометрии, оперирующей объекта-

ми целочисленной размерности (линия, круг, эллипс, параболоид). Главное отличие фрактальных геометрических форм – их дробная размерность, что внешне проявляется в рекурсивном повторении в возрастающем либо уменьшаемом масштабе исходных детерминированных или случайных шаблонов. Фрактальные антенны могут иметь различную конструкцию и форму. Прообразом современных фрактальных антенн явились предложенные в середине 60-х гг. XX в. логопериодические и спиральные конструкции. Усилиями энтузиастов антенны на основе фрактальных композиций перестали быть экзотикой. Разумеется, они не решают все проблемы миниатюризации антенных устройств, но, несомненно, это направление создания электрически малых антенн достаточно эффективно и занимает вполне авторитетные позиции в современной технике.

В статье [1] было показано, что поле прямоугольной микрополосковой антенны имеет фрактальный характер, так как удаление участков антенны, на которых отсутствует напряженность электрического поля, не изменяет резонансную частоту антенны. Однако кремниевый диэлектрик, используемый в [1], не позволяет достичь хороших характеристик согласования антенны с фидером и высокого коэффициента полезного действия. Связано это с тем, что у кремния достаточно велика диэлектрическая проницаемость $(\varepsilon = 11{,}9)$, ввиду чего в такой антенне довольно высокие дисперсия и потери, а следовательно, волна квази-Т. Чем меньше диэлектрическая проницаемость используемого диэлектрика, тем ближе волна к Т-волне. В антеннах, выполненных на кремниевом диэлектрике, из-за потерь предельно низкий коэффициент полезного действия, а следовательно, высокий нагрев антенны, что также побуждает использовать другой диэлектрический материал. Кроме того, помимо использования другого диэлектрика для улучшения характеристики $|S_{11}|$, повышения коэффициента полезного действия необходимо использовать копланарное согласование антенны с фидером.

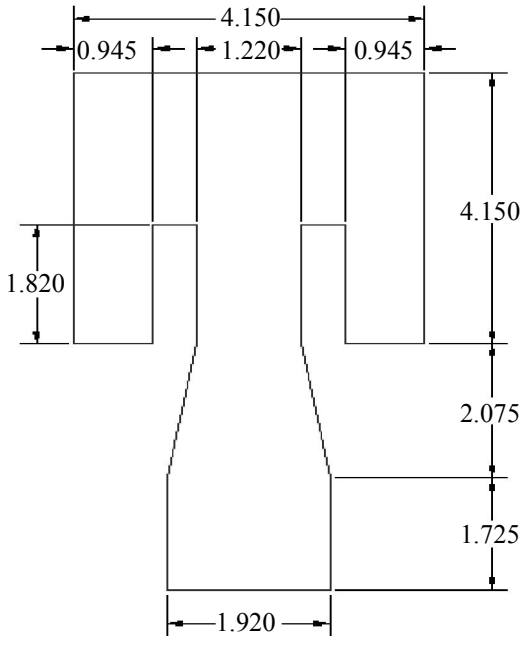


Рис. 1

Рассчитав параметры микрополосковой антенны [2] аналогично [1], но с использованием диэлектрика Rogers Ultralam ($\varepsilon = 2{,}17$) на частоту 38.2 ГГц, была получена антенна, изображенная на рис. 1.

Для того чтобы ввести фрактальность, необходимо напомнить, что расчет антенны выполняется таким образом, чтобы в пределы одной боковой стороны антенны вмещалось 3/2 длины волны [3]. Следовательно, для получения фрактальной антенны необходимо разорвать линии электромагнитного поля согласно рис. 2.

Исходя из данной картины поля, можно сделать следующий вывод: если весь периметр $L = 4l$, где l – длина одной стороны антенны, то всего 10 % периметра используется неэффективно. Это очень мало, однако, если правильно задействовать эту длину, то можно получить выигрыш в коэффициен-

те усиления, по теоретическим подсчетам, в 1.66 раза (если посчитать периметр излучающей поверхности). Такого результата можно добиться, вырезав фрактальную антенну по белой линии. Длина элемента такой фрактальной антенны: $\varepsilon = (8/6)^{\grave{o}} l_1$, тогда фрактальная размерность будет $D = \ln 8 / \ln 6 = 1.16$ [4].

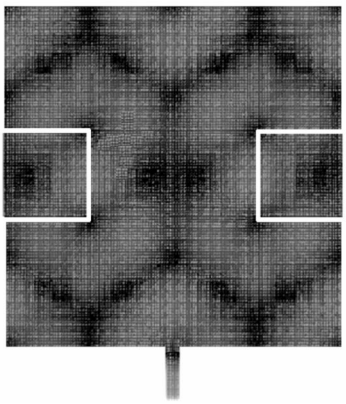


Рис. 2

Чтобы понять как влияет фрактальность на характеристики антенны (рис. 3), вначале был проведен эксперимент с увеличением изрезанности только на боковых сторонах антенны (рис. 4, 5), затем только на верхней части антенны (рис. 6, 7) и в итоге на всех сторонах (рис. 8).

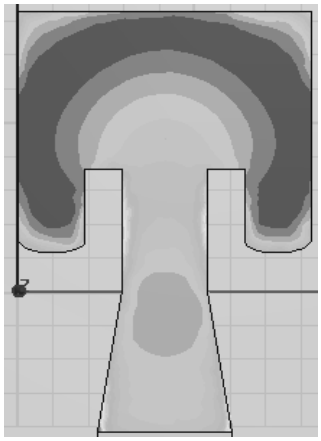


Рис. 3

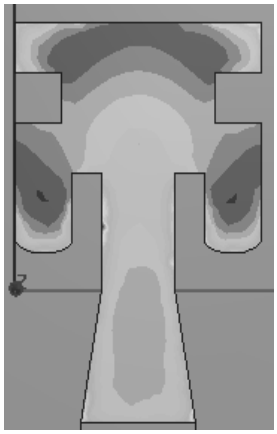


Рис. 4

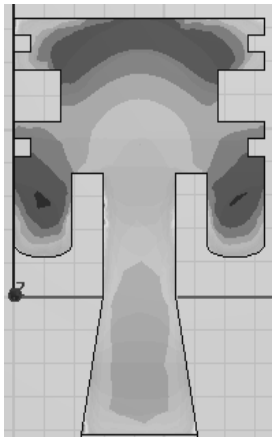


Рис. 5

В процессе работы был сделан вывод, что фрактальный характер только тех частей антенны, на которых не происходит разрыва силовых линий электромагнитного поля, вносит незначительный вклад в рабочие характеристики антенны. Введение фрактальности на всей антенне (рис. 9, 10), а не только на верхней стороне или только на боковых сторонах, приводит к увеличению коэффициента стоячей волны по напряжению, улучшению согласования, а задний мешающий лепесток остается ослабленным (рис. 11, 12). Это позволяет утверждать, что для улучшения рабочих характеристик антенн необходимо вводить в них фрактальность.

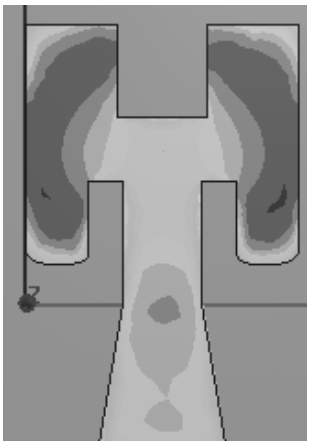


Рис. 6

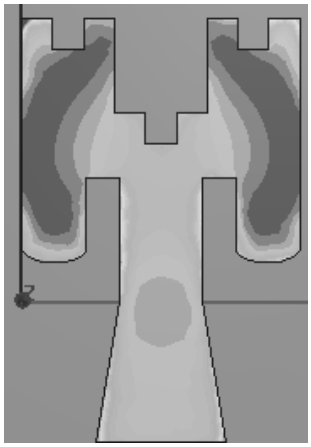


Рис. 7

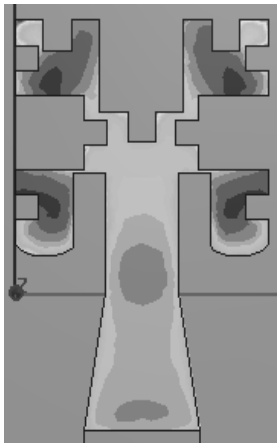


Рис. 8

Подводя итоги, сравним характеристики антенн на рис. 9 и 10 (см. таблицу).

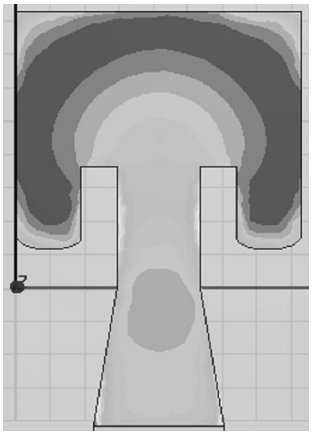


Рис. 9

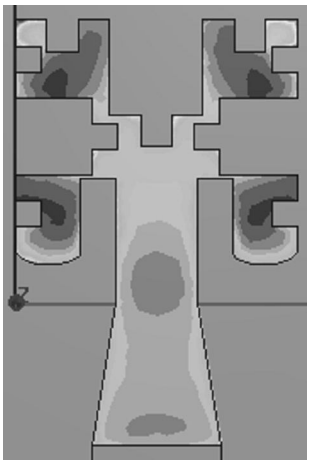


Рис. 10

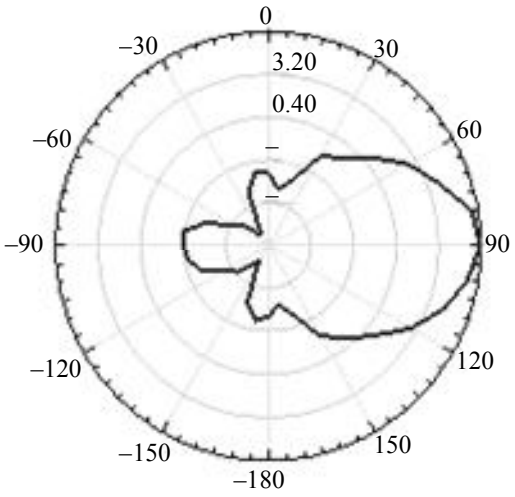


Рис. 11

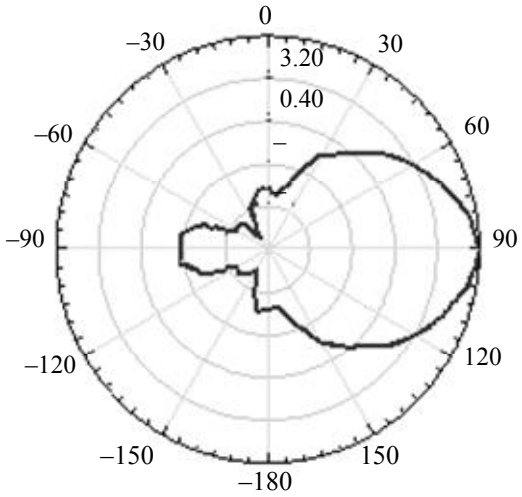


Рис. 12

Характеристика	Рис. 9	Рис. 10
Резонансная частота F, ГГц	39.4	38.5
Коэффициент отражения $\|S_{11}\|$, дБ	– 18.93	– 43.1
Коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН	1.26	1.01
Коэффициент усиления	6.73	7.38
Коэффициент направленного действия	7.37	8.04
Коэффициент полезного действия	0.91	0.92
Полоса частот по уровню $\|S_{11}\| = –12$ дБ, ГГц	6.1	4.5
Протяженность границы излучения, мм	26.05	40.65

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы: излучение антенны прямо пропорционально протяженности границы излучения. Важнейшим определяющим фактором характеристик антенн является протяженность излучающей поверхности. В химии и нанотехнологии для подобных систем введено понятие межфазного слоя – слоя с особыми характеристиками [5]. В данном случае, чем выше фрактальная размерность антенны, тем больше межфазный слой. При использовании простой геометрии антенн есть только две фазы: металлическая и воздушная. Если использовать большую изрезанность или, другими словами, фрактальность, то четкая граница между этими двумя фазами пропадает. Появляется некая промежуточная область, использование которой и позволило при проектировании антенны получить хороший результат. Одна из центральных проблем – рассмотреть изменение излучающих свойств антенны по мере увеличения этого межфазного слоя. Дело в

том, что расчет параметров данных антенн в соответствии с обычной теорией антенн весьма затруднен. Так, например, проблематично вычислить даже такой параметр, как сопротивление антенны. Кроме того, отдельные части данной антенны требуется представлять в виде микрополосковых линий, а некоторые – только как копланарные линии. Необходимо также учитывать такие явления, как дифракция и интерференция. В связи с этим новым подходом к вычислению характеристик описываемых антенн является представление их с точки зрения фрактальной геометрии. Характеристики данных антенн, как уже отмечалось, прямо пропорциональны протяженности излучающей поверхности. Однако использовать фрактальный подход всегда необходимо с учетом теории электромагнитных полей и волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев Д. А., Тупик В. А. Моделирование формы фрактальной антенны на основе электромагнитного расчета характеристик микрополосковой прямоугольной антенны. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.

2. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986.

3. Collin R. E. Foundations for Microwave Engeneering. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

4. Gianvittorio J. Fractal antennas: Design, Characterization, and Applications. Los Angeles: University of California, 2000.

5. Марголин В. И. Основы нанотехнологии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.

D. A. Babichev, V. A. Tupik

INFLUENCE EXTENSION OF RADIATION BOUNDARY FRACTAL MICROSTRIP ANTENNA BY ITS CHARACTERISTICS

It is executed calculation of the microstrip antenna and is conducted modeling its electromagnetic field. It is carried out the creating of the fractal antenna with increasing iterations. The influence of geometric factor is considered on distribution the field. The results are showed of the modeling microstrip and fractal antennas.

Fractal antenna, voltage standing wave ratio, directional diagram

УДК 621.3.013.62

К. Н. Земляков, И. Б. Вендик

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ МНОГОПОЛОСНЫЕ СВЧ-РЕЗОНАТОРЫ И ФИЛЬТРЫ НА КОМБИНАЦИИ ОТРЕЗКОВ ИСКУССТВЕННЫХ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

Обсуждается новый подход к синтезу многополосных СВЧ-резонаторов и фильтров с возможностью управления положением резонансных откликов с использованием перестраиваемых конденсаторов. Многомодовые резонаторы в составе фильтра реализованы в виде различных комбинаций каскадно включенных отрезков искусственных длинных линий передачи с положительной и отрицательной дисперсией. На основе анализа их характеристик предложен новый тип ячейки искусственной длинной линии на сосредоточенных элементах для синтеза многомодовых резонаторов. Выполнено моделирование структуры многомодовых перестраиваемых резонаторов и многополосных фильтров и получены их характеристики. Разработана структура перестраиваемого двухполосного резонатора, выполненная по технологии многослойной керамики с низкой температурой обжига (КНТО).

Многополосный, фильтр, резонатор, КНТО, перестраиваемый

Резонаторы на отрезках линий передачи обладают бесконечным числом резонансных откликов высших порядков по отношению к фундаментальной моде [1]. В большинстве случаев при проектировании фильтров резонансы высших порядков являются пара-

зитными. Подавить их можно за счет реализации резонаторов в виде комбинации отрезков искусственных длинных линий передачи с различными дисперсионными законами, а также за счет конечной частоты среза при использовании искусственных длинных линий на сосредоточенных элементах. В этих линиях традиционно используются Т- или П-ячейки (рис. 1). В данной статье представлена обобщенная эквивалентная схема нового типа элементарной ячейки, а также рассмотрена комбинация отрезков искусственной длинной линии с положительной (*R*) и отрицательной (*L*) дисперсией в различных сочетаниях: *R*-*L*-*R* и *L*-*R*-*L* (рис. 2). Такие ячейки обладают резонансными откликами, соответствующими резонансам с номером *n*, причем *n* = +1, +2, +… для *R*-*L*-*R*-ячейки и *n* = –1, –2, –… для *L*-*R*-*L*-ячейки. Метод синтеза многомодовых резонаторов и многополосных фильтров основан на условиях равенства эффективной электрической длины резонатора целому числу полупериодов *n*, включая ноль и ±*n*. Анализ резонатора симметричной структуры позволяет получить заданное количество резонансных откликов на выбранных резонансных частотах. Этот подход, основанный на использовании концепции отрезков искусственных длинных линий со структурой *R*-*L*-*R*/*L*-*R*-*L*, может быть эффективно использован для разработки многополосных СВЧ-устройств с требуемым количеством резонансов и широкими возможностями перестройки. Предложенные структуры могут быть реализованы с использованием многослойной керамической технологии.

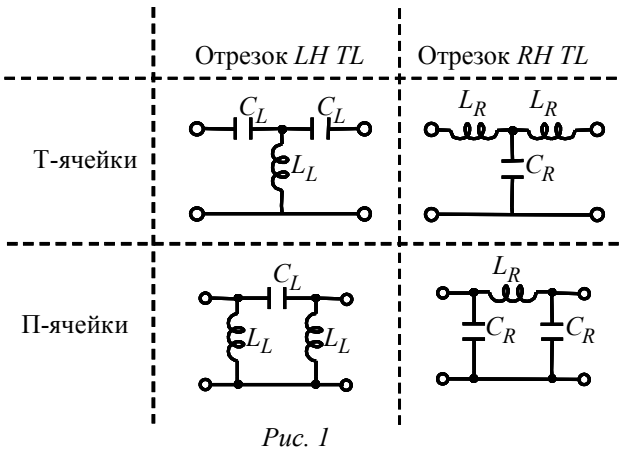


Рис. 1

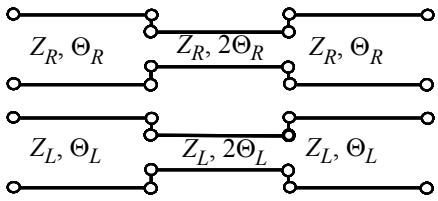


Рис. 2

Многомодовый резонатор на отрезках искусственных длинных линий с положительной и отрицательной дисперсией (отрезки ЛОД и ЛПД). Выполним анализ резонаторов на комбинации отрезков искусственных длинных ЛПД и ЛОД в случае симметричного резонатора (рис. 2) [2]. Резонанс нулевого порядка на частоте $f = f_0$ соответствует нулевому значению эффективной электрической длины резонатора и определяется следующими условиями:

$$\cos^{-1}\left[\cos 2\theta_R \cos 2\theta_L + 0.5\left(Z_{RL}^{-1} - Z_{RL}\right)\sin 2\theta_R \sin 2\theta_L\right] = 0\,, \qquad (1)$$

$$\sin^{-1}\left[\frac{2\sin\theta_R \cos\theta_L}{\left(Z_{RL} - Z_{RL}^{-1}\right) + \left(Z_{RL} + Z_{RL}^{-1}\right)\cos\theta_R}\right] - \theta_L = 0, \qquad (2)$$

где θ_R и θ_L — электрические длины отрезков ЛПД и ЛОД на частоте $f = f_0$, $Z_{RL} = Z_R / Z_L$.

Для резонансов высших порядков с резонансной частотой $f_{\pm n}$

$$\cos^{-1}\left[\cos\left(2\theta_R\frac{f_{+n}}{f_0}\right)\cos\left(2\theta_L\frac{f_0}{f_{+n}}\right)+\right.$$

$$\left.+0.5\left(Z_{RL}^{-1}-Z_{RL}\right)\sin\left(2\theta_R\frac{f_{+n}}{f_0}\right)\sin\left(2\theta_L\frac{f_0}{f_{+n}}\right)2\theta_L\right]=n\pi, \quad (3)$$

$$\cos^{-1}\left[\cos\left(2\theta_R\frac{f_{-n}}{f_0}\right)\cos\left(2\theta_L\frac{f_0}{f_{-n}}\right)+\right.$$

$$\left.+0.5\left(Z_{RL}^{-1}-Z_{RL}\right)\sin\left(2\theta_R\frac{f_{-n}}{f_0}\right)\sin\left(2\theta_L\frac{f_0}{f_{-n}}\right)2\theta_L\right]=-n\pi, \quad (4)$$

причем (3) верно для $f_{+n} > f_0$, а (4) – для $f_{-n} < f_0$.

Решив систему уравнений (1), (2), (3) либо (1), (2), (4), можно найти θ_R, θ_L и Z_{RL} для любой выбранной комбинации n = 0 и ± n. По известным значениям θ_R, θ_L и Z_{RL} могут быть найдены номиналы сосредоточенных *L*-*C*-элементов Т- либо П-ячеек эквивалентной схемы [2].

Был выполнен анализ симметричных резонаторов на сочетании отрезков искусственных длинных линий с положительной и отрицательной дисперсией. Количество резонансных откликов резонатора зависит от его структуры. Так, в случае использования n элементарных Т-ячеек количество резонансных откликов будет n – 1. Если же используются только П-ячейки, резонатор будет иметь n + 1 резонансных откликов. Примеры эквивалентных схем резонаторов, содержащих 3 ячейки, и соответствующие частотные зависимости коэффициентов передачи представлены на рис. 3, *а* – отрезки ЛОД реализованы в виде

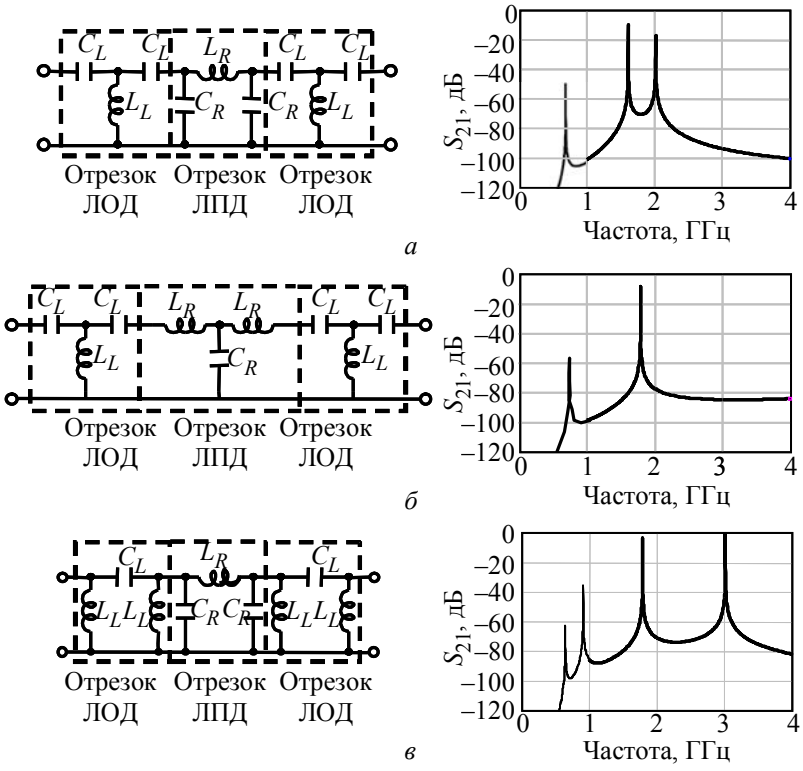


Рис. 3

Т- ячеек и ЛПД – П-ячеек; *б* – все отрезки искусственной длинной линии передачи выполнены на эквивалентных Т-ячейках; *в* – все отрезки искусственной длинной линии передачи выполнены на эквивалентных П-ячейках. Использование комбинации элементарных Т- и П-ячеек дает в результате резонансы $n = 0, +1, -1$, только Т-ячеек – $n = 0$ и $n = -1$, только П-ячеек – $n = -1, 0, +1, +2$. Таким образом, число резонансных откликов может контролироваться изменением количества элементарных Т- или/и П-ячеек в составе резонатора.

Характеристики резонатора на отрезках искусственных длинных линий с использованием в центре структуры резонатора k элементарных П-ячеек искусственной длинной линии с положительной дисперсией представлены на рис. 4 для $k = 1, 2, 3$: $k = 1$ (сплошная), 2 (штриховая), 3 (пунктирная). В этом случае количество положительных резонансов увеличивается: для $k = 3$ помимо $n = -1$ и $n = 0$ резонансов присутствуют $n = +1, +2, +3$ резонансы. Дуальный результат может быть получен для случая, когда в центре структуры резонатора расположен отрезок ЛОД, состоящий из k-ячеек. В этом случае будет возрастать соответственно количество отрицательных резонансов.

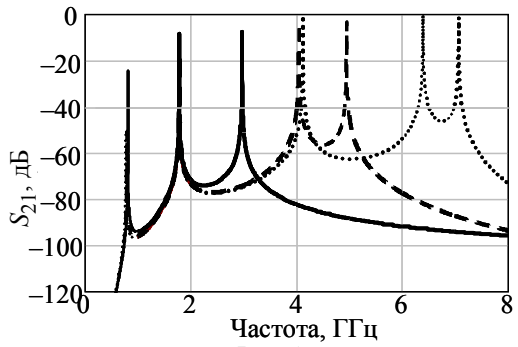


Рис. 4

Дополнительные возможности могут быть получены при изменении структуры резонатора *R-L-R-* или *L-R-L*-схемы: крайние отрезки длинных линий реализованы в виде элементарных Т-ячеек, а в качестве центрального элемента использована П-ячейка. Полные структуры (рис. 5, *а*, *в*) могут быть заменены усеченными (рис. 5, *б*, *г*), которые обладают двумя резонансными откликами с подавлением $n = -1$ резонанса для случая *R-L-R*-схемы

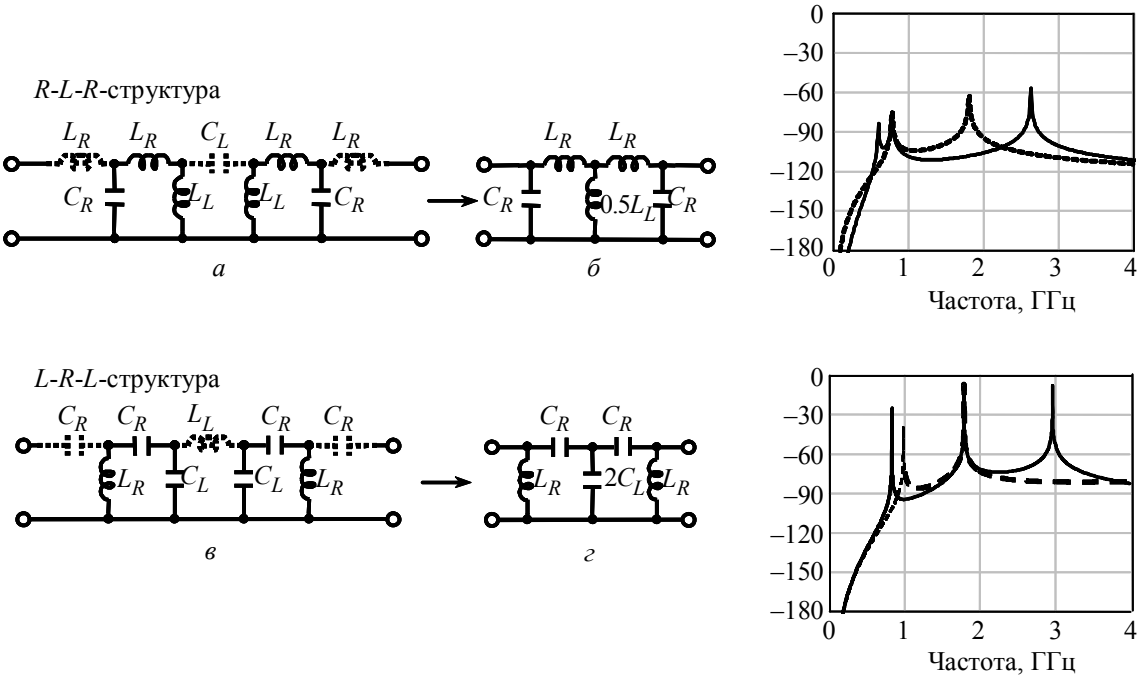


Рис. 5

и $n = +1$ – для *L-R-L*-схемы. В результате получена новая структура на основе отрезков искусственных длинных линий на элементарных ячейках, которая обеспечивает требуемое число резонансов. Наиболее интересна с точки зрения реализации усеченная *L-R-L-*

схема (рис. 5, *г*), содержащая 3 емкостных элемента, которые могут быть заменены перестраиваемыми конденсаторами для получения многомодового перестраиваемого резонатора с широкими возможностями перестройки резонансных откликов по частоте. *L-R*-ячейка искусственной длинной линии новой структуры (рис. 6) описывается *ABCD*-матрицей:

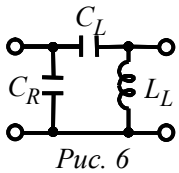


Рис. 6

$$A_{ABCD} = \begin{pmatrix} 1+\dfrac{Y_{2R}}{Y_{3R}} & \dfrac{1}{Y_{3R}} \\ Y_{1R}+Y_{2R}+\dfrac{Y_{1R}Y_{2R}}{Y_{3R}} & 1+\dfrac{Y_{1R}}{Y_{3R}} \end{pmatrix},$$

где $Y_{1R} = \dfrac{1}{i\omega L_L}$, $Y_{2R} = i\omega C_R$ и $Y_{3R} = i\omega C_L$.

Перестраиваемые многомодовые резонаторы и фильтры на их основе. Методика, описанная ранее, была использована для синтеза двухполосного резонатора на заданные резонансные частоты f_0 = 1.8 ГГц и f_{-1} = 0.75 ГГц. Из условий резонанса были получены электрические длины отрезков ЛОД и ЛПД, пересчитанные затем в эквивалентные Т- и П-схемы (см. рис. 1) с элементами соответствующих номиналов. Таким образом, был получен резонатор традиционной структуры, содержащий 9 элементов (рис. 3, *а*) и обладающий тремя резонансными откликами n = +1, 0, –1. Такая схема была преобразована исключением центрального элемента L_L и концевых элементов C_R с соответствующей корректировкой номиналов элементов, обеспечивающей резонансный отклик на выбранных частотах. Полученная эквивалентная схема резонатора с центральными частотами f_0 = 1.8 ГГц и f_{-1} = 0.75 ГГц представлена на рис. 5, *г*. Также на рис. 5 показаны *R-L-R*- и *L-R-L*-структуры комбинации отрезков искусственных длинных ЛПД и ЛОД и усеченных резонаторов. Коэффициент передачи для обоих вариантов: сплошная линия соответствует полной структуре (*а*, *в*), а штриховая – структурам усеченных резонаторов (*б*, *г*).

Конденсаторы C_R и $2C_L$ могут использоваться для перестройки резонансной частоты такого резонатора. В качестве переменных конденсаторов были использованы полупроводниковые варакторные диоды (Aeroflex Metelics Silicon Abrupt Tuning Varactors). В результате моделирования было выявлено различие между управлением номиналами крайних и центрального конденсаторов (рис. 7): при изменении номинала крайних конденсаторов C_R оба резонансных отклика перестраиваются по частоте (*а*), а при перестройке центральной емкости $2C_L$ – только второй резонансный отклик (*б*).

Данный факт может быть использован при проектировании перестраиваемых двухполосных фильтров с требованиями к управлению второй полосой в широком диапазоне без изменения частоты первой.

Многослойная структура резонатора, выполненная по технологии КНТО, представлена на рис. 8: реализация неперестраиваемого (*а*) и перестраиваемого (*б*) резонаторов по технологии КНТО (LTCC): 6 слоев Dupont Green Tape 951, d = 95 мкм с ε_r = 7,8, размеры: L = 5,7 мм, W = 4,5 мм для неперестраиваемой структуры; L = 7,2 мм, W = 6,3 мм для перестраиваемого варианта.

Структура обладает малыми размерами, что позволяет применять ее в мобильных устройствах телекоммуникационных систем.

Для проектирования двухполосного перестраиваемого фильтра необходимо использовать перестраиваемые инверторы проводимости. В качестве простейшего инвертора проводимости могут служить емкостные элементы связи. Однако емкостные элементы определенного номинала будут являться инвертором лишь на одной центральной частоте и при этом подавлять вторую полосу пропускания, а значит, пригодны для синтеза только однополосных устройств. Другим типом инвертора является четвертьволновый трансформатор на отрезке линии передачи, но он также будет обладать требуемой электрической длиной только на одной центральной частоте. Четвертьволновый отрезок ЛПД может быть заменен элементарной ячейкой (см. рис. 1) с заданной электрической длиной. На рис. 9, *а* представлены характеристики фильтра с классическим четвертьволновым инвертором проводимости на основе отрезка искусственной

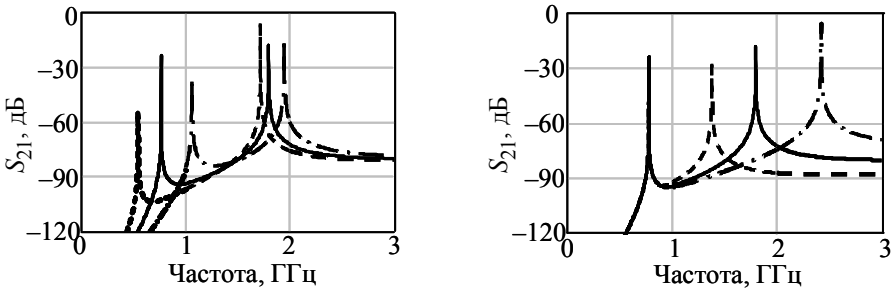


Рис. 7

длинной линии в виде ЛПД. Данный способ не является универсальным, поскольку возможность реализации фильтра с таким инвертором будет зависеть от частотного положения полос пропускания. Для обеспечения работы фильтра с двумя полосами пропускания стоит воспользоваться двухполосным инвертором проводимости [4], состоящим из отрезка линии передачи и шлейфов. Элементы такого инвертора рассчитываются на среднюю частоту и позволяют получить двухполосный фильтр, характеристики которого представлены на рис. 9, *б*.

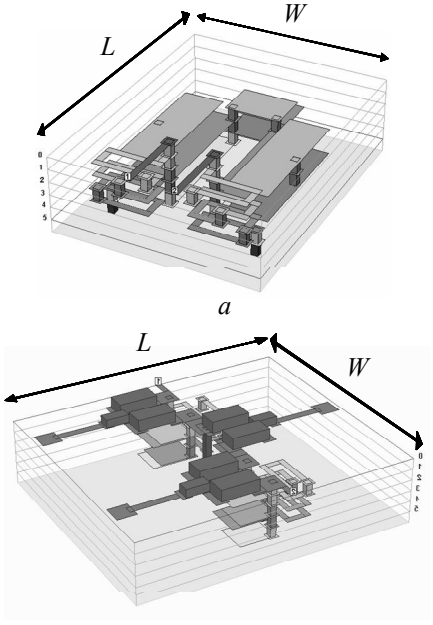


Рис. 8

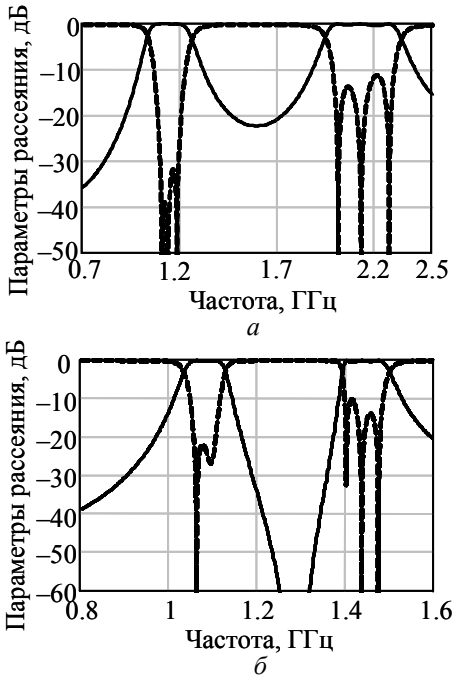


Рис. 9

Таким образом, предложен новый подход к синтезу многополосных перестраиваемых фильтров и резонаторов. Описанный метод позволяет синтезировать резонатор, обладающий требуемым количеством резонансных откликов, а также не имеющий паразитных резонансов высших гармоник. Предложена новая структура резонатора на основе элементарных ячеек, синтезированных в виде комбинации отрезков искусственных длинных линий – ЛОД и ЛПД. Резонаторы такой структуры выгодно отличаются от традиционной конфигурации меньшим числом элементов (соответственно меньшими вносимыми потерями) и более широкими возможностями перестройки. Перестройка обеспечивается заменой емкостных элементов отрезков искусственных длинных линий варакторными диодами. Такие резонаторы могут эффективно использоваться для синтеза многополосных перестраиваемых фильтров. Были разработаны структуры двухполосных резонаторов и фильтров, получены их характеристики. Предложенные структуры могут быть эффективно выполнены в виде миниатюрных СВЧ-устройств с применением технологии КНТО и использованы в мобильных устройствах телекоммуникационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multiband tuneable microwave resonators and filters on a combination of right/left-handed transmission line sections / I. Vendik, D. Kholodnyak, P. Kapitanova, K. Zemlyakov // Proc. Metamaterials'2009, London, UK, 02-05 September 2009. P. 1-3.

2. Digital Phase Shifters Based on Right- and Left-Handed Transmission Lines / I. B. Vendik, O. G. Vendik, D. V. Kholodnyak et al. // Proc. of the EuMA, March 2006. Vol. 2. P. 30–37.

3. Right- and Left-Handed Transmission Line Resonators and Filters for Dual Band Application / P. Kapitanova, D. Kholodhyak, S. Humbla et al. // Microwave and Optical Technology Letters, 2009. Vol. 51, No. 3. P. 629-633.

4. Anita Yim H.-Y., Michael Cheng K.-K. Novel dual-band planar resonator and admittance inverter for filter design and applications // IEEE MTT-S Int. Dig. 2005. P. 2187–2190.

K. N. Zemlyakov, I. B. Vendik

TUNABLE MULTIBAND MICROWAVE RESONATORS AND FILTERS ON RH AND LH TL COMBINATION

A novel approach to the design of multiband resonators and filters controlled by variable capacitors is described. A symmetrical resonator structures (L-R-L and R-L-R) based on different combinations of cascaded right- and left-handed transmission line sections were analyzed. Tunable multiband resonator with a novel metamaterial structure and filter are simulated, the LTCC structure of tunable dual-band resonator is presented..

Multiband, filter, resonator, LTCC, tunable

УДК: 621.382

О. Е. Гордюшенков, О. С. Комков, А. Н. Пихтин

ИССЛЕДОВАНИЕ InGaAs/GaAs КВАНТОВЫХ КОЛЕЦ МЕТОДАМИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ФОТООТРАЖЕНИЯ

Исследован новый вид наноструктур – самоорганизованные InGaAs/GaAs квантовые кольца. Приведены результаты измерения их энергетического спектра двумя различными методами оптической спектроскопии. Показана эффективность метода фотоотражения по сравнению с традиционной низкотемпературной фотолюминесценцией. Установлена зависимость энергии межзонных оптических переходов от температуры формирования квантовых колец.

Квантовые кольца, фотоотражение, фотолюминесценция, наноструктуры, квантово-размерные эффекты, оптическая спектроскопия

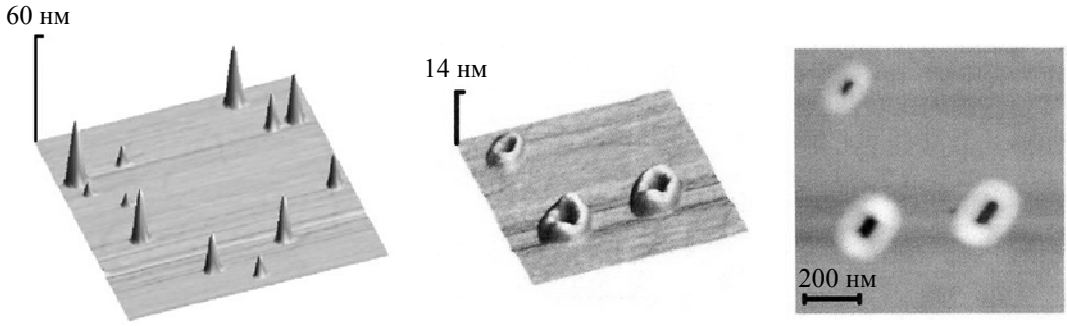
С момента первого получения [1] самоорганизованные квантовые кольца (КК) представляют значительный интерес с точки зрения исследования их фундаментальных свойств. Практический интерес к этим структурам обусловлен их особыми электронными, оптическими и магнитными свойствами [2]–[4]. Кроме того в КК экспериментально наблюдались эффект Ааронова–Бома [5] и незатухающие токи [6] – эффекты, интересные с точки зрения их использования в новых приборах наноэлектроники.

Определение энергетического спектра новых квантово-размерных структур и выявление возможности управления этим спектром являются важными задачами как с фундаментальной, так и прикладной точки зрения. В качестве объектов исследования авторами настоящей статьи были выбраны InGaAs/GaAs квантовые кольца, сформированные при различных температурах. Образцы были выращены методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений в горизонтальном реакторе при атмосферном давлении (в лаборатории оптоэлектроники Технологического университета города Хельсинки). В качестве подложки использовался полуизолирующий GaAs(100). На нем при температуре 650 °C выращивался буферный слой GaAs толщиной 100 нм. Последующее нанесение 1.7 монослоя InAs вело к образованию квантовых точек (КТ) по механизму Странского–Крастанова. Затем КТ трансформировались в КК путем осаждения 2 нм GaAs и последующего отжига. Время отжига составляло 60 с, а температура равнялась температуре осаждения КТ и со-

ставляла для разных образцов от 500 до 600 °С [7]. Для оптических измерений образцы заращивались слоем GaAs толщиной 50 нм.

На рис. 1, *а* представлено полученное при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ) изображение поверхности образца с КТ, выращенными при температуре 550 °С (размер участка – 2×2 мкм). Рис. 1 *б*, и *в* иллюстрируют изменения, которые произошли в результате частичного заращивания и отжига (размер участка – 1×1 мкм). На них отчетливо видны объекты, имеющие форму колец. Данные АСМ для других образцов показывали, что с ростом температуры получения КК их диаметр увеличивался, а высота и количество на единицу площади уменьшались [7].

Предпринятые ранее попытки измерения энергетического спектра КК методом низкотемпературной экситонной фотолюминесценции (ФЛ) (T = 10 К) дали лишь ограниченную информацию. Было установлено, что после трансформации КТ в КК длинноволновый максимум ФЛ сдвигался в область больших энергий. То же самое происходило и при увеличении температуры отжига [7]. Более подробные сведения об энергетическом спектре КК получить не удалось из-за принципиальных ограничений, присущих методу ФЛ. Так как при тепловом равновесии населенность уровней экспоненциально убывает с ростом энергии, то данный метод является наиболее чувствительным лишь к низко расположенным энергетическим уровням.



а *б* *в*

Рис. 1

Данного недостатка лишены методы модуляционной оптической спектроскопии. Основная идея этих методов заключается в модуляции свойств исследуемого объекта при помощи внешнего воздействия с определенной частотой. Изменения, происходящие в зонной структуре, а значит, и в оптических параметрах, регистрируются фазочувствительной техникой на частоте, соответствующей частоте модуляции. По сути дела ведется регистрация производной измеряемой величины по модулирующему воздействию. В результате вблизи межзонных критических точек появляются резкие пики, что значительно облегчает их выявление на фоне шума.

Для исследования образцов КК была выбрана бесконтактная разновидность модуляционной оптической спектроскопии – метод фотоотражения (ФО). В качестве модулирующего воздействия использовалось излучение He–Ne-лазера (λ = 633 нм) мощностью до 5 мВт. После прохождения механического модулятора, прерывавшего луч лазера с частотой 35 Гц, он попадал на поверхность образца, в область падения зондирующего луча из монохроматора. Отраженный зондирующий луч регистрировался детектором на основе кремниевого *p–i–n*-фотодиода с пре-

дусилителем. Фотоприемник был подключен к фазочувствительному усилителю, на выходе которого возникал сигнал, пропорциональный разности коэффициентов отражения образца ΔR с лазерной подсветкой и без. Регистрация спектра ФО велась в диапазоне от 1.12 до 1.80 эВ. Измерения проводились при комнатной температуре и температуре жидкого азота.

Кроме измерения спектров ФО были также проведены контрольные измерения методом ФЛ при температуре 80 К. Увеличение температуры образцов с 10 до 80 К позволило снизить интенсивность сигналов фотолюминесценции, вызванных экситонами и примесями в GaAs, которые препятствовали наблюдению энергетического спектра КК. В качестве источника возбуждения ФЛ использовалась вторая гармоника мощного (до 10 Вт) сфокусированного (100×100 мкм) Nd:YVO_4-лазера с диодной накачкой (λ = 532 нм). Образцы помещались в гелиевый криостат замкнутого цикла, позволявший устанавливать необходимую температуру. Регистрация спектра ФЛ велась при помощи охлаждаемого Ge-детектора стандартным методом синхронного детектирования.

Типичный спектр ФО образца с КК, измеренный при комнатной температуре, изображен на рис. 2. Спектр приведен для образца, представленного на рис. 1, *б* и *в* (температура выращивания 550 °С). В области энергий вблизи ширины запрещенной зоны GaAs ($E_g^{GaAs}(T = 295) =$ = 1.42 эВ) наблюдается спектральная особенность, переходящая в затухающие осцилляции Франца–Келдыша (ОФК). По периоду данных осцилляций с помощью известной методики [8] была оценена напряженность приповерхностного электрического поля. Ее значение составило от 30 до 40 кВ/см для различных образцов, что является типичным для подобных гетероструктур.

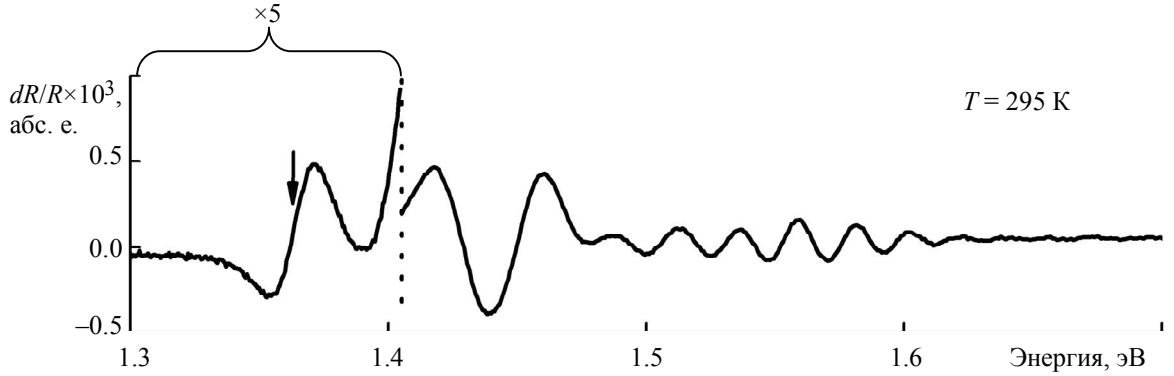


Рис. 2

В длинноволновой области спектра наблюдалась спектральная особенность, характерная для переходов между уровнями размерного квантования. Подобный сигнал был обнаружен также и у других образцов. Для определения точного значения энергии этих переходов спектры ФО преобразовывались с использованием интегральных соотношений Крамерса–Кронига [9]. Длинноволновая особенность (на рис. 2 отмечена стрелкой) имела энергию 1.363 эВ. Она сдвигалась в коротковолновую область с ростом температуры формирования образцов. В спектре ФО образца, полученного при 500 °С, длинноволновая особенность накладывалась на сигнал от GaAs. Проведение низкотемпературных измерений (T = 85 К) снизило тепловое уширение и позволило разделить эти сигналы.

На рис. 3 представлен типичный низкотемпературный спектр ФО. Измерялся тот же образец, что и на рис. 2. Помимо значительного уменьшения полуширины наблюдаемых ранее сигналов и их температурного сдвига в область больших энергий, можно обнаружить появление новой особенности при энергии 1.486 эВ (отмечена стрелкой 2). При ком-

натной температуре данный сигнал выявить было невозможно. Аналогичные сигналы также присутствуют в спектрах ФО образцов, выращенных при других температурах.

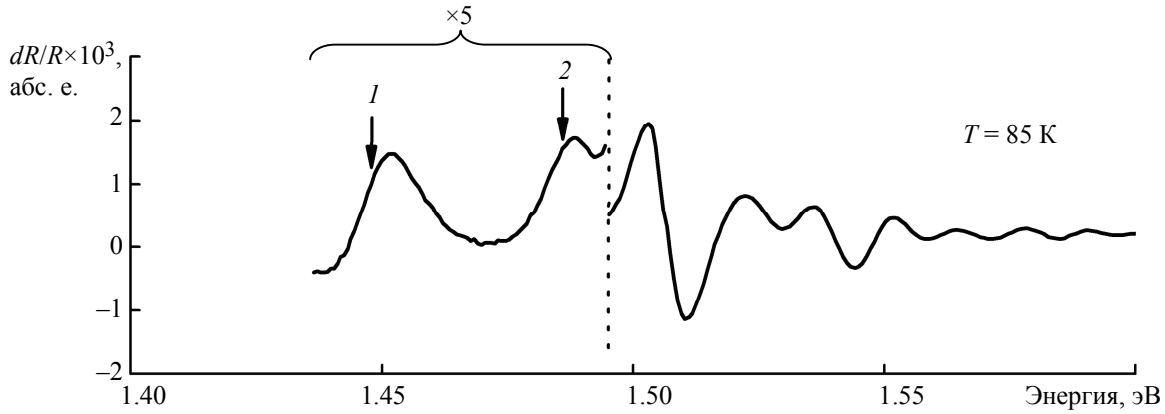


Рис. 3

С ростом температуры формирования образцов положение обнаруженных длинноволновых особенностей сдвигается в область меньших энергий. Это сопровождается увеличением диаметра КК по данным АСМ. Также из квантовой механики известно, что увеличение ширины квантовой ямы ведет к сдвигу уровней размерного квантования в сторону меньших энергий. На основании этого было сделано заключение, что наблюдаемые сигналы обусловлены оптическими переходами между уровнями размерного квантования в КК.

Для проверки результатов, полученных из спектров ФО, были проведены контрольные измерения традиционным методом ФЛ при близкой температуре 80 К. На рис. 4 изображен спектр ФЛ рассматриваемого образца. Наиболее интенсивный пик вблизи 1.505 эВ является суперпозицией от рекомбинации экситонов и близкраевого излучения в GaAs, а пик с энергией 1.490 эВ вызван донорно-акцепторной рекомбинацией [10]. На рис. 4 стрелками показаны значения энергий, полученных из спектров низкотемпературного ФО этого образца (рис. 3). Стрелка 1 хорошо совпадает с пиком ФЛ при 1.447 эВ. Сигнал, обозначенный стрелкой 2, либо отсутствует в спектре фотолюминесценции по вышеприведенной причине, либо неразличим на фоне сигнала от донорно-акцепторной рекомбинации в GaAs.

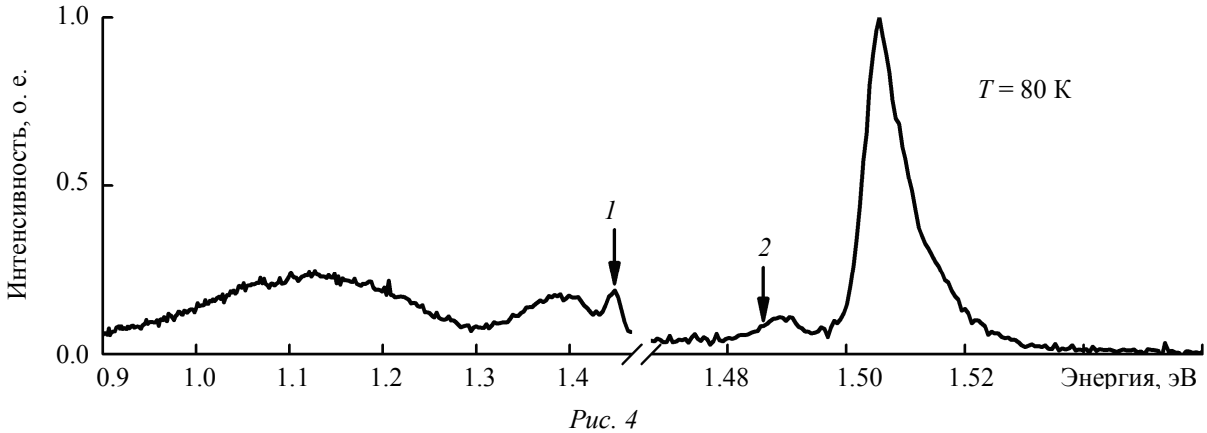


Рис. 4

Максимум фотолюминесценции КТ, на основе которых был получен рассматриваемый образец, наблюдался при энергии 1.04 эВ (T = 10 К) [7]. Также известно, что кратковременный температурный отжиг InAs/GaAs КТ приводит к встречной диффузии атомов индия и галлия и, как следствие, увеличению энергии основного состояния и сдвигу ФЛ в область больших

энергий [11]. На основании этого сделано предположение, что широкий максимум с энергией 1.12 эВ является сигналом от КТ, не трансформировавшихся в КК после отжига.

В работе [12] для идентичных образцов наблюдался сигнал ФЛ от смачивающего слоя с энергией 1.35 эВ (T = 10 К). Максимум с энергией 1.39 эВ имеет, по всей видимости, ту же природу.

Спектры ФЛ-образцов, выращенных при других температурах, аналогичны изображенному на рис. 4. В них также наблюдались слабые максимумы, совпадающие по положению с первой длинноволновой особенностью из спектров ФО. У образца, синтезированного при 500 °С, подобный сигнал не наблюдался. Нужно отметить, что на снимке АСМ этого образца КК были сформированы не полностью, однако методом низкотемпературного ФО необходимые данные получить удалось [13].

Сравнение результатов изучения энергетического спектра КК показало, что метод фотоотражения является более эффективным для этой цели по сравнению с традиционной низкотемпературной ФЛ. С помощью ФО удалось получить информацию как об основном, так и о возбужденном энергетических уровнях. Кроме того анализ ОФК, наблюдавшихся в измеренных спектрах ФО, позволил оценить напряженность встроенного электрического поля, что является важной информацией для теоретического расчета подобных структур. Кроме того было замечено, что энергия оптических переходов между уровнями размерного квантования в исследованных InGaAs/GaAs КК зависит от условий получения образца. Изменяя температуру роста КТ и их отжига, можно управлять положением энергетических уровней КК.

Авторы благодарны проф. Харри Липсанен и сотрудникам исследовательских групп оптоэлектроники и нанотехнологии Технологического университета города Хельсинки за предоставленные образцы.

Работа выполнена при частичной поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт 02.740.11.0213 от 07.07.2009 г.) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., а также Федерального агентства по образованию в рамках проекта 2.1.2/652 аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Intermixing and shape changes during the formation of InAs self-assembled quantum dots / J. M. García, G. Medeiros-Ribeiro, K. Schmidt et al. // Appl. Phys. Lett. 1997. Vol. 71. P. 2014.

2. Filikhin I., Suslov V. M., Vlahovic B. Electron spectral properties of the InAs/GaAs quantum ring // Physica E. 2006. Vol. 33. P. 349.

3. Magneto-optical properties of ring-shaped self-assembled InGaAs quantum dots / D. Haft, C. Schulhauser, A. O. Govorov et al. // Physica E. 2002. Vol. 13. P. 165.

4. Planelles J., Jaskólski W., Aliaga J. I. Energy structure of quantum rings in a magnetic field // Phys. Rev. B. 2001. Vol. 65. P. 033306.

5. Aharonov–Bohm effect in nanoscale quantum rings fabricated from compensating-layer GaAs/AlGaAs heterostructures / D. Kähler, U. Kunze, D. Reuter et al. // Physica E. 2003. Vol. 17. P. 284.

6. Orellana P. A., Pacheco M. Persistent current magnification in a double quantum-ring system // Phys. Rev. B. 2005. Vol. 71. P. 235330.

7. Transformation of InAs islands to quantum ring structures by metalorganic vapor phase epitaxy / A. Aierken, T. Hakkarainen, J. Riikonen et al. // Nanotechnology. 2008. Vol. 19. P. 245304.

8. Пихтин А. Н., Комков О. С. Базаров К. В. Влияние внешнего электрического поля на вероятность оптических переходов в квантовых ямах InGaAs/GaAs // ФТП. 2006. № 40. С. 608.

9. Hosea T. J. C. Estimating critical-point parameters of modulated reflectance spectra // Phys. Stat. Sol. B. 1995. Vol. 189. P. 531.

10. Оптические свойства полупроводников: Справ. / В. И. Гавриленко, А. М. Грехов, Д. В. Корбутяк и др. Киев: Наукова думка, 1987.

11. Le Ru E.C., Fack J., Murray R. Temperature and excitation density dependence of the photoluminescence from annealed InAs/GaAs quantum dots // Phys. Rev. B. 2003. Vol. 64. P. 245318.

12. InAs island-to-ring transformation by a partial capping layer / A. Aierken, T. Hakkarainen, J. Riikonen et al. // J. of Cryst. Growth. 2008. Vol. 310. P. 5077.

13. Self-assembled InGaAs/GaAs quantum rings: Correlation of formation temperature and energy spectrum / O. S. Komkov, O. E. Gordyushenkov, A. N. Pikhtin et al. // 18th Int. Symp. «Nanostructures: Physics and Technology». 2010. C. 90–91.

O. E. Gordyushenkov, O. S. Komkov, A. N. Pikhtin

INVESTIGATION OF INGAAS/GAAS QUANTUM RINGS WITH PHOTOLUMINESCENCE AND PHOTOREFLECTANCE TECHNIQUES

A new type of nanostructures – self-assembled InGaAs/GaAs quantum rings was investigated. The results of their energy spectrum measurements with optical spectroscopy techniques are presented. Efficiency of photoreflectance technique in comparison with traditional low-temperature photoluminescence was shown. Dependence of interband transition energy on formation temperature was found out.

Quantum rings, photoreflectance, photoluminescence, nanostructures, quantum-dimensional effect, optical spectroscopy

УДК 621.382

С. Ю. Землякова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Ключевым моментом развития микро- и наноэлектроники является увеличение разрешающей способности литографии. Наиболее перспективными методами нанолитографии являются методы, использующие возможности атомно-силового микроскопа. Одним из таких методов является метод dip-pen-нанолитографии. Метод базируется на формировании рельефа зондом атомно-силового микроскопа.

Нанолитография, атомно-силовой микроскоп, dip-pen-нанолитография, кантилевер

Ключевым моментом развития микроэлектроники является уменьшение минимального характеристического размера или увеличение разрешающей способности. Современные методы литографии обеспечивают возможность формирования структур микронных размеров [1]. Перспективной задачей является продвижение в нанометровую область. В оптической литографии переход в нанометровую область довольно сложен и дорог. К примеру, для реализации нанолитографа в экстремально дальнем ультрафиолете (ЭУФ) необходимы соответствующие источники излучения, определенные шаблоны и фоторезисты. Но и в этом случае разрешающая способность ниже 50 нм. Специалисты корпорации «Intel» считают возможным достижение рубежа 0.065 мкм с использованием эксимерных лазеров с длиной волны 193 нм. Однако продвижение в сторону уменьшения данного размера требует новых решений [1].

Наиболее перспективными методами нанолитографии являются методы, основанные на применении атомно-силового микроскопа (АСМ), например: метод dip-pen-нанолитографии (ДПН); метод создания структур с помощью локального анодного окисления; наноимпринтинг. Зондовые методы литографии, а в частности ДПН, обладают разрешающей способностью до 10 нм, а в потенциале, даже большей, – 1…10 нм, чего не может позволить ни один из ныне используемых способов фотолитографии.

Метод ДПН базируется на использовании зонда АСМ в качестве «перьевой ручки», заправленной чернилами [2]. Зонд атомно-силового микроскопа играет роль «кончика пера», твердотельная подложка (поверхность металла или полупроводника) – роль «бумаги», а молекулы, химически сходные с молекулами подложки, – роль «чернил». Молекулы закрепляются на поверхности за счет явления хемосорбции и образуют стабильную структуру [2]. Капиллярный транспорт молекул от зонда АСМ к твёрдой подложке используется в ДПН для непосредственного нанесения рисунков, образованных относительно малым количеством молекул в субмикронных областях, делая ДПН пригодной для формирования разнообразных микро- и нанометрических структур и устройств [3]. Данный метод позволяет нанести слой в виде любой плоской структуры с достаточным разрешением [4].

Для ДПН подходит любой зонд АСМ, хотя могут использоваться и другие устройства, например, зонды, использующиеся в сканирующей туннельной микроскопии, ближнепольной оптической микроскопии, и устройства, имеющие подобные свойства, включая устройства, разработанные специально для ДПН.

Зонды, используемые в АСМ, формируют на кремниевом кантилевере прямо- или треугольного сечения или на треугольной проволочной петле. Сами зонды представляют собой острые иглы с радиусом закругления от единиц до десятков нанометров. Зонд на кончике кантилевера обычно формируется из кремния методами фотолитографии и травления, хорошо отработанными в планарной технологии полупроводников. Иногда для лучшего удержания наносимого вещества на зонде последний покрывают тонким (меньше 10 нм) адгезионным слоем, незначительно меняющим геометрию зонда. Адгезионный слой должен быть также достаточно твёрдым, чтобы допустить выполнение операций АСМ (сила порядка десятков нанонъютонов). На эту роль хорошо подходят тонкие слои титана и хрома.

Выбор растворителя, используемого для приготовления «чернил», зависит от наносимого вещества, от того, используется ли зонд с адгезионным покрытием или без него и от материала этого покрытия. Также при гелеобразовании растворитель частично захватывается в структуру геля и образует капсулированные агрегаты [5].

Если для достижения лучших результатов в качестве растворителя используется вода, необходимо улучшить гидрофильность поверхности зонда, к примеру, путём зачистки или окисления поверхности [6].

Целью работы, результаты которой представлены настоящей статьей, являлось создание технологии нанолитографии чувствительных элементов газовых датчиков. Принцип действия адсорбционно-полупроводниковых газовых сенсоров основан на эффекте изменения проводимости приповерхностного слоя широкозонных полупроводниковых оксидов *n*-типа электропроводности SnO_2, ZnO, In_2O_3 и других за счет адсорбции и десорбции различных газов. Тип материала влияет на чувствительность, которая зависит от температуры, на времена отклика и восстановления [7]. Особое влияние на чувствительность образца, характеризующую изменение проводимости материала при изменении зарядового состояния поверхности, оказывает число поверхностных состояний. Влияние размеров чувствительного элемента, а следовательно, и числа поверхностных состояний на газочувствительность учитывалось с помощью расчета поверхностного потенциала. Расчеты показали, что оптимальный размер элемента, при котором чувствительность материала прини-

мает максимальное значение, равен двойной ширине области объемного заряда (ООЗ) (*w*). В этом случае наблюдается наибольшая модуляция проводимости [8].

Эксперименты проводились на атомно-силовом микроскопе «НТ-МДТ ИНТЕГРА ТЕРМА». В качестве зондов были выбраны стандартные кремниевые зонды с радиусом закругления 10 нм. В качестве исходного материала чернил для формирования газочувствительного слоя диоксида олова использовался кристаллогидрат хлорида олова $SnCl_4 \cdot 5H_2O$. Зонд опускался в раствор хлористого олова в спирте, который затем в процессе литографии реагировал с водой, адсорбированной на подложке. В результате образовывался слой твёрдого SnO_2 необходимой толщины, а HCl улетучивался в атмосферу. Процесс можно описать с помощью химической реакции: $SnCl_4 + 2H_2O = SnO_2 + 4HCl$. При этом свойства полученных слоев сильно зависят от параметров нанесения: скорости нанесения, силы прижима зонда к поверхности, температуры и влажности окружающей среды. Оптимальными параметрами были выбраны: прижимная сила 0.5 нН; время выдержки зонда в капле 20…30 с при комнатной температуре; эксперименты проводились без строгого контроля условий окружающей среды, влажность воздуха поддерживалась в пределе 40–50 %.

Для анализа особенностей погружения зонда в раствор наносимого вещества были получены и рассмотрены зависимости, иллюстрирующие поведение зонда при подводе к твёрдой подложке (рис. 1) и подложке, на поверхности которой нанесён тонкий слой жидкости (рис. 2). На рисунках обозначены основные этапы подведения зонда к сухой поверхности подложки (рис. 1): 0–1 – фототок равен нулю, кантилевер не деформирован; 1–2 – скачкообразный захват зонда поверхностью подложки; 2–3 – изгиб прижимаемого к поверхности подложки кантилевера вверх; 3–4 – контролируемый управляющей схемой

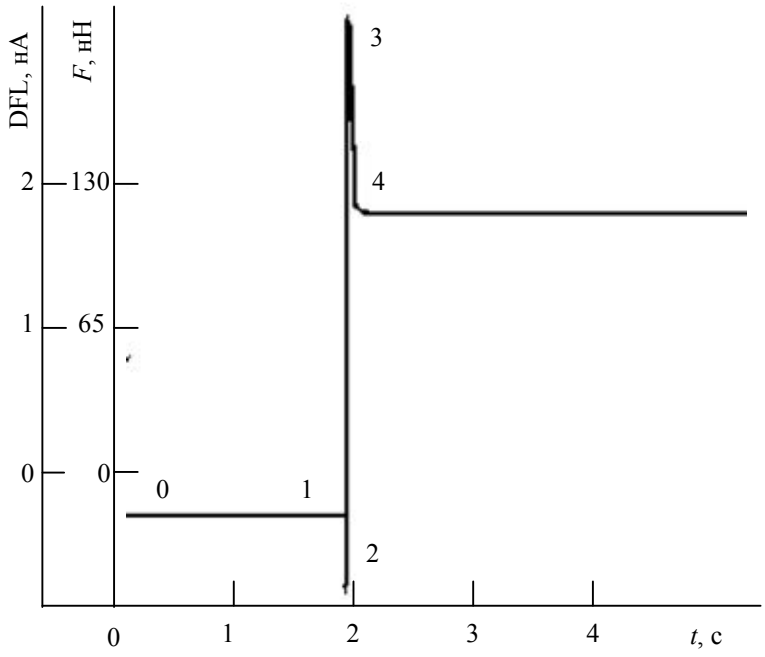


Рис. 1

АСМ выход на заданную прижимную силу; в каплю (рис. 2): 0–1 – кантилевер не деформирован; 1–2 – захват зонда каплей жидкости; 2–3 – выравнивание кантилевера, а затем его изгиб вверх, вследствие сопротивления плоскости кантилевера поверхностному натя-

жению жидкости капли; 3–4 – погружение в каплю и захват зонда поверхностью подложки; 4–5 – изгиб кантилевера вверх; 5–6 – на заданную прижимную силу. Разностный сигнал координатно-чувствительного фотодиода (DFL – выходной сигнал датчика) пропорционален изгибу кантилевера и может быть пересчитан в силу взаимодействия зонда с образцом. При подведении зонда в чернильницу необходимо стремиться избегать попадания наносимой жидкости на балку кантилевера, так как попавшая на него жидкость влияет на ход лучей лазера, которые отражаются от верхней грани, покрытой золотом, и принципиален для работы АСМ. Смоченный жидкостью кантилевер может стать тяжелее, что также приведёт к необъективной работе устройства, позиционирующего зонд. Учитывая эти соображения целесообразно прекратить движение зонда к подложке раньше достижения участка 3–4 (рис. 2). Но так как зонд проходит в каплю целиком за доли секунд (рис. 2), точно остановить зонд при подходе к капле можно, только уменьшив скорость подвода зонда к поверхности.

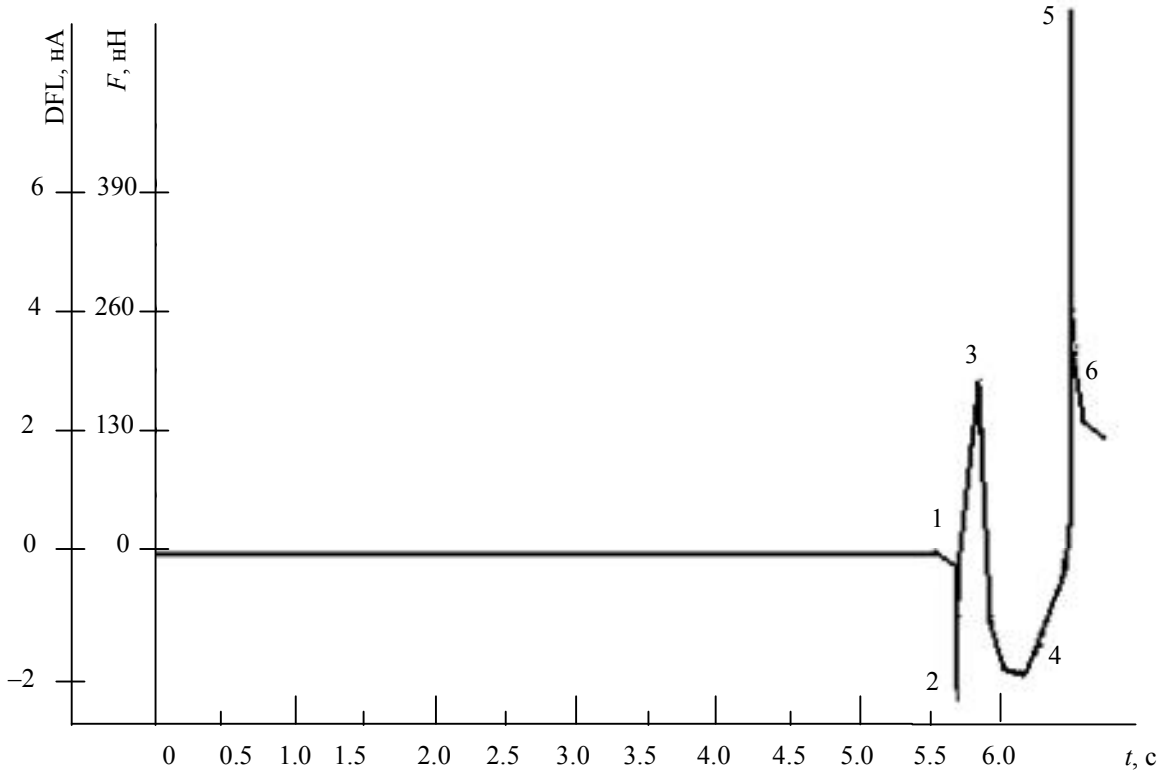


Рис. 2

Производительность такого «письма нанопером» ограничивается максимально допустимой скоростью латерального движения зонда (~100 мкм/с), т. е. ~10^3 элементов/с. Значительно увеличить производительность можно с помощью матриц, содержащих 10^3…10^4 зондов, работающих одновременно [9]. Также привлекателен метод нанопресс-литографии или наноимпринтинг [6]. Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК № П 399 от 30.07.09, № П2279 от 13.11.09.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворзобова Н. Д., Денисюк И. Ю. Оптические методы формирования микроэлементов информационных систем / СПбГУ ИТМО. СПб., 2008.

2. Мошников В. А., Федотов А. А., Румянцева А. И. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и наноэлектронике: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.

3. Mirkin Chad A., Piner Richard, Hong Seunghun. Methods utilizing scanning probe microscope tips and products therefor or products thereby: patent; B05D 500. Northwestern University (US), 2001.

4. Dip-Pen Nanolithography / R. D. Piner, J. Zhu, F. Xu et al. // Science. 1999. Vol. 283. P. 661–663.

5. Внутреннее трение в полупроводниковых тонких пленках, полученных методом золь-гель-технологии / А. С. Ильин, А. И. Максимов, В. А. Мошников, Н. П. Ярославцев // Физика и техника полупроводников. 2005. Т. 39, вып. 3. С. 300–304.

6. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007.

7. Грачева И. Е., Мошников В. А., Плех М. Е. Автоматизированная установка для измерения газочувствительности сенсоров на основе полупроводниковых нанокомпозитов // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 3. С. 143–146.

8. Землякова С. Ю., Максимов А. И. Влияние размеров зерен на газочувствительность нанокристаллического диоксида олова // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 1. С. 16–21.

9. Dip Pen Nanolithography: A Maturing Technology for High-Throughput Flexible Nanopatterning / J. R. Haaheim, E. R. Tevaarwerk, J. Fragala, R. Shile // Wiley Periodicals, Inc. 2007. № 15. P. 89–95.

S. U. Semlyakova

FORMATION SPECIFICS OF NANO-OBJECTS FROM THE LIQUID PHASE BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

The key point of micro- and nanoelectronics evolution is lithography resolution increasing. The methods of nanolithography using the possibility of an atomic force microscope are the most promising ones. A dip-pen nanolithography is one of such methods. The method is based on the relief forming by an atomic force microscope probe.

Nanolithography, atomic force microscope, dip-pen nanolithography, cantilever

УДК 621.315.592

И. Е. Грачева, С. С. Карпова,
В. А. Мошников, Н. С. Пщелко

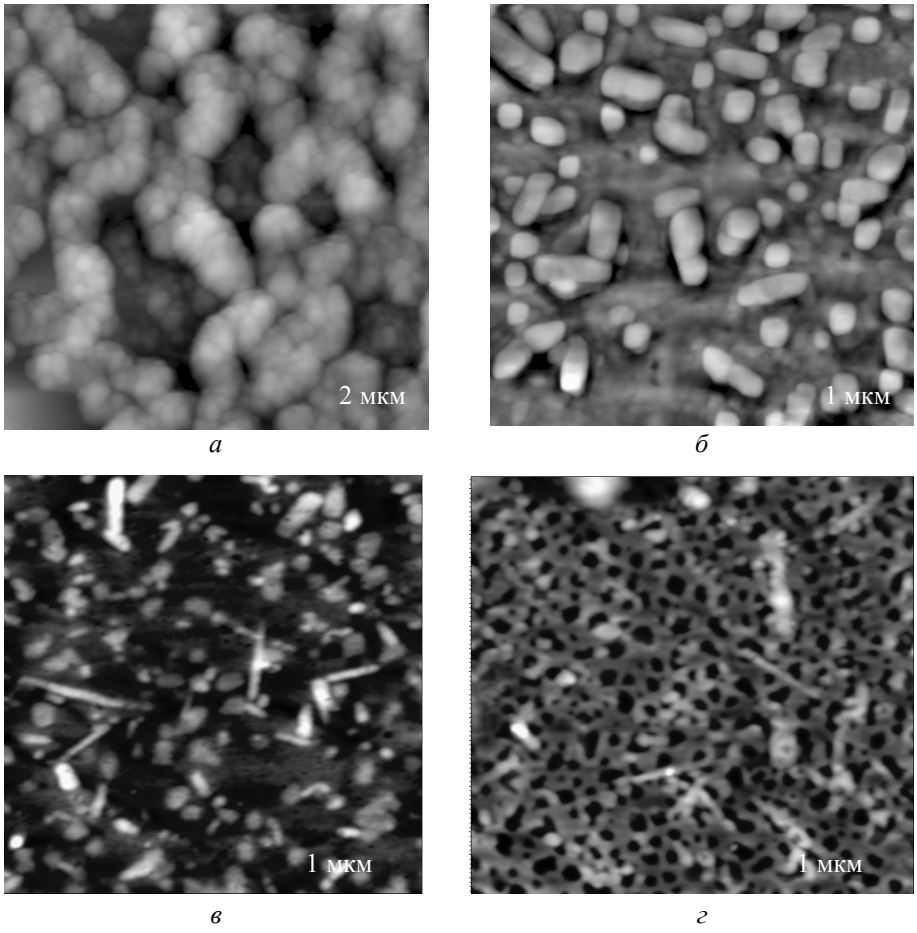
СЕТЧАТЫЕ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ПОРИСТЫЕ СТРУКТУРЫ С ЭЛЕКТРОАДГЕЗИОННЫМИ КОНТАКТАМИ

Сетчатые нанокомпозиты на основе системы «диоксид олова – диоксид кремния» синтезированы золь-гель-методом. С помощью методов атомно-силовой микроскопии и тепловой десорбции установлена иерархическая пористая структура полученных нанокомпозитов. Предложен новый способ формирования металлических контактов без разрушения иерархии пористой структуры по электроадгезионной технологии. Обсуждаются преимущества данного способа и рассматриваются теоретические представления о процессах, протекающих при создании адгезионных контактов.

Электроадгезионная технология, пористые нанокомпозиты, иерархия пор

Наноматериалы с многоуровневой иерархией пор являются основой для создания приборов нового поколения и устройств различного функционального назначения. Для сенсорики особый интерес представляют технологические приемы получения сетчатых наноструктурированных композитов с управляемыми и воспроизводимыми размерами пор. Большая площадь поверхности может быть эффективно использована в полупроводниковых газовых сенсорах. В работах [1]–[3] представлены результаты исследования морфологии газочувствительных полупроводниковых пористых нанокомпозитов на основе системы «диоксид олова–диоксид кремния». В [4] показана возможность создания сетчатых 3D-структур на основе нанокомпозитов SiO_2–SnO_2 методами золь-гель-нанотехнологии. Методика получения структур подробно опи-

сана в [5], [6]. Экспериментально методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) установлено, что ветви сетчатых структур представляют собой матрицу диоксида кремния с включенными в нее кристаллитами диоксида олова. На рис. 1 представлены изображения рельефа поверхности пленочной структуры на основе: SnO_2 (рис. 1, *а*, диапазон высот по оси $z \approx 871$ нм, размер изображения 10×10 мкм) и SiO_2 (рис. 1, *б*, диапазон высот по оси $z \approx 27.6$ нм, размер изображения 3×3 мкм); изображение поверхности нанокомпозита состава: $60\ SiO_2 - 40\ SnO_2$ (мол. %) (рис. 1, *в*, размер области сканирования 2×2 мкм, диапазон высот по оси $z \approx 12.1$ нм), $50\ SiO_2 - 50\ SnO_2$ (мол. %) (рис. 1, *г*, размер области сканирования 2×1.8 мкм, диапазон высот по оси $z \approx 27.4$ нм). Проводящий стягивающий перколяционный кластер на сетчатой структуре образуется при содержании SnO_2 более 50 %. Значение порога протекания зависит от условий синтеза и прежде всего от размеров фрактальных агрегатов диоксида олова, их эволюции и степени капсулированности диоксидом кремния.



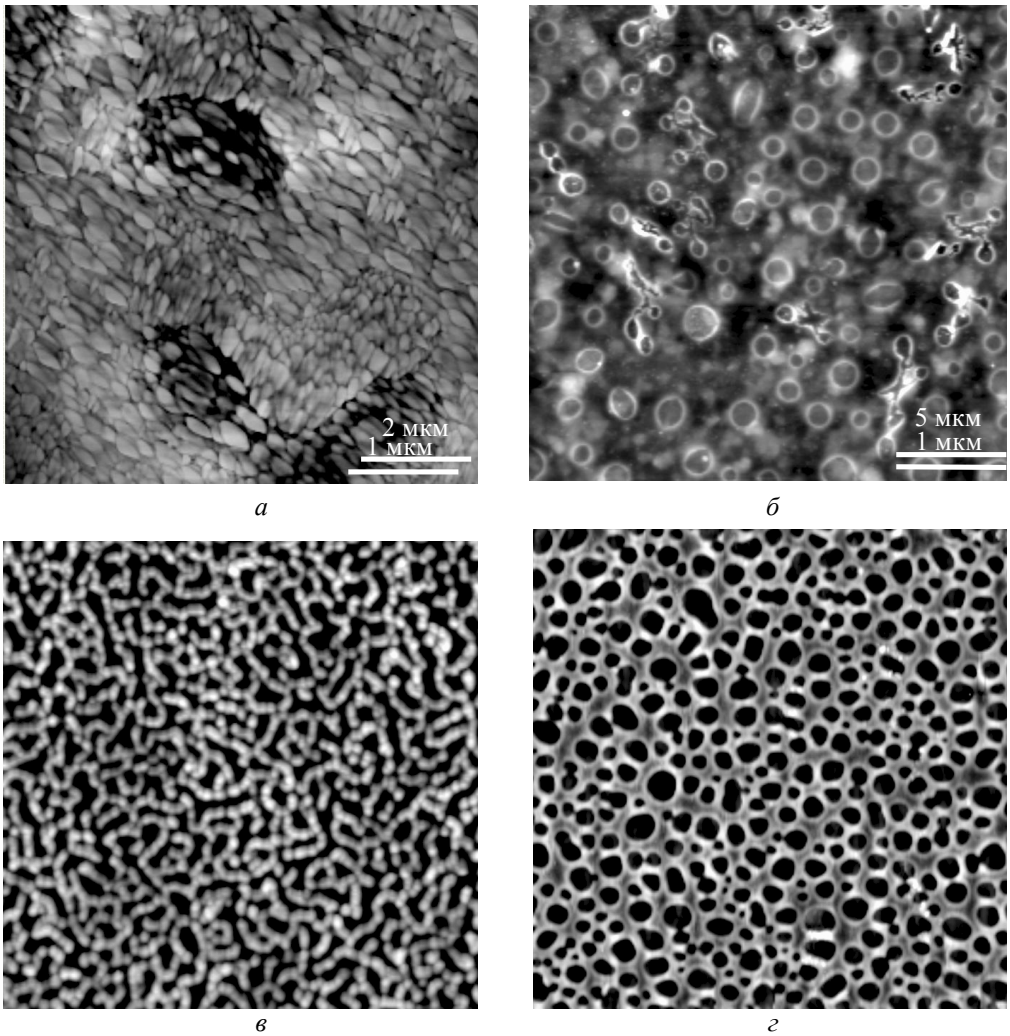
а *б* *в* *г*

Рис. 1

На рис. 2 представлены результаты АСМ-исследований процессов формирования и эволюции фрактальных объектов, включая этапы перехода фрактальных агрегатов в лабиринтные и сетчатые структуры. Рис. 2, *а* (диапазон высот по оси $z \approx 29.9$ нм, размер изображения 5×5 мкм) иллюстрирует одновременное протекание диффузионно-лимитируемой и кластерно-кластерной агрегации. На рис. 2, *б* (диапазон высот по оси $z \approx 219$ нм, размер изображения 25×25 мкм) изображено формирование сферических форм. На рис. 2, *в* (диапазон высот по оси

$z \approx 48.3$ нм, размер изображения 10×10 мкм) приведено развитие лабиринтных структур. Образование перколяционных сетчатых структур иллюстрирует рис. 2, *г* (диапазон высот по оси $z \approx 66.4$ нм, размер изображения 5×5 мкм).

В режиме фазового контраста в «tapping mode» впервые зарегистрированы иерархические системы зерен с характерными «уровневыми» размерами пор (вплоть до 10 нм). Оценена фрактальность поверхности и проведен расчет площади с учетом данных АСМ при использовании созданного программного продукта в среде LabVIEW. Вклад открытых пор низших иерархических уровней с размерами менее 10 нм оценивался методом тепловой десорбции азота в рамках модели Брунауэра–Эммета–Теллера (БЭТ). Обнаружено, что основной вклад в суммарную развитую площадь вносят иерархические уровни открытых пор с размерами, находящимися за пределами аналитических возможностей АСМ.



а *б*

в *г*

Рис. 2

Необходимо отметить, что достоинства структур с иерархией пор в значительной степени снижаются при создании контактов. Поэтому актуальной задачей является поиск твердотельных способов формирования металлических контактов без разрушения иерархии пористой структуры. Принципиально новые технические решения возникают при развитии электроадгезионного подхода. Существует два пути: 1) создание на первой стадии системы контактов с последующим формированием газочувствительных пористых слоев,

2) второй путь основан на особенностях состава и свойств нанокомпозитов, а конкретно на наличии в них диэлектрических компонентов SiO_2. Разработка новых технологий соединения разнородных материалов и теоретических представлений о протекающих при этом процессах являлась основными целями данного исследования. Соединение ионного диэлектрика и проводника (полупроводника) по электроадгезионной технологии осуществляется под действием электростатических сил притяжения, возникающих между соединяемыми деталями при приложении к ним электрического напряжения. При правильно подобранных режимах соединение имеет прочность на уровне соединений, полученных при диффузионной сварке. Рассматриваемая технология имеет ряд достоинств: скрепляемые материалы могут быть соединены в твердом состоянии при температуре существенно ниже температуры плавления без промежуточных слоев (клеев, припоев и т. д.), тянущее электрическое поле воздействует на детали «изнутри» соединительного шва (что позволяет соединять хрупкие детали), для реализации способа не требуется специальное дорогостоящее оборудование [7]. Физически процессы, приводящие к появлению больших сил притяжения между соединяемыми телами, связаны с образованием электрических полей больших напряженностей на границе контакта [8]. Электроадгезия является результатом электростатического (пондеромоторного) притяжения электризованных тел, при котором заряды разных знаков разделены зазором между контактирующими поверхностями или тонким слоем одного из скрепляемых объектов, обедненным носителями заряда и имеющим поэтому повышенное сопротивление, примыкающее к поверхности раздела контакта. Большая часть приложенной разности потенциалов поэтому падает на этот узкий слой, что и является причиной появления больших электростатических полей и сил.

Наличие воздушного зазора, обусловленного фрактальной шероховатостью соединяемых поверхностей, играет двоякую роль: с одной стороны, именно благодаря этому зазору возможно появление больших сил притяжения между соединяемыми деталями. Связано это с тем, что электрическое сопротивление воздушного зазора существенно больше сопротивления соединяемых деталей, так что большая часть приложенного электрического напряжения падает на этот тонкий зазор, приводя к появлению там электрических полей большой напряженности и, следовательно, электростатических сил притяжения. С другой стороны, наличие этого зазора не позволяет развиваться на границе раздела необратимым процессам, приводящим к установлению прочной связи, сохраняющейся и после отключения напряжения. Вместе с тем ясно, что если удастся достичь больших значений пондеромоторного давления не только в воздушном зазоре, но и в точках фактического контакта, то при наличии благоприятствующих условий (например, повышенная температура) можно ожидать образования прочного электроадгезионного соединения. Контакт сохраняется и после отключения напряжения благодаря взаимной диффузии и электрохимическим процессам на границе раздела, приводящим к «склеиванию» деталей. Такое соединение и представляет собой электроадгезионный контакт. Для получения большего притяжения в точках фактического контакта можно использовать миграционную поляризацию. Явление миграционной поляризации заключается в том, что под действием сил электростатического поля свободные заряды в диэлектрике дрейфуют к соответствующему электроду. В случае ионного диэлектрика носителями заряда являются обыч-

но положительные ионы, поэтому при включении напряжения они начнут перемещаться (мигрировать) к катоду. При этом в месте, которое занимал положительный ион до подачи напряжения, у анода останется нескомпенсированный отрицательный заряд вакансий. Таким образом, у анода скапливается отрицательный заряд и, следовательно, разность потенциалов между этим слоем и катодом уменьшается. Через некоторое время переходного процесса (обычно десятки минут) эта разность потенциалов становится практически равной нулю, поэтому напряженность электрического поля по толщине диэлектрика оказывается распределена неравномерно: между анодом и рассматриваемым слоем заряда она приобретает большое значение (порядка 10^8 В/м), а в остальной части диэлектрика оказывается близкой к нулю. В результате образуется тонкий (единицы микрометров) приповерхностный слой отрицательного заряда диэлектрика у анода с большой напряженностью поля. Этот слой образуется под действием приложенного извне электрического поля, вынуждающего слабосвязанные ионы покидать места их закрепления (в стекле, например, это могут быть положительные ионы натрия, калия и т. п.), в результате чего прианодный слой «очищается» от носителей тока и, следовательно, приобретает большое сопротивление. Поэтому в точках фактического контакта приложенное напряжение будет падать не на всю толщину диэлектрика, а на узкий прианодный слой, тем самым будет обеспечено большое пондеромоторное давление не только в воздушном зазоре, но и в точках фактического контакта. При одновременном воздействии повышенной температуры происходит электроадгезионное соединение («склейка» за счет электростатических сил) данной пары материалов, т. е. формируется электроадгезионный контакт. Электроадгезионную технологию можно успешно использовать при получении неразъемных прочных вакуумноплотных соединений из таких материалов, как керамика, ситаллы, стекла, кварц и других ионных диэлектриков с различными металлическими проводниками и полупроводниковыми кристаллами в различных сочетаниях.

К настоящему времени проведены эксперименты на ряде пар материалов, основными из которых являлись пленки алюминия и меди на стекле С47-1. С помощью электроадгезионной технологии удалось увеличить адгезию пленок меди в четыре раза, алюминия – в 12 раз по сравнению с исходной. Адгезия пленок на контрольных образцах (к которым напряжение приложено не было) практически не изменялась. На данной стадии выполнения поисковых исследований накоплены и систематизируются экспериментальные данные о влиянии технологических режимов (значения электрического напряжения, температуры, времени выдержки, фрактальности поверхностей) и характеристик нанокомпозитов (состава, соотношения фаз SiO_2 – SnO_2, степени развития перколяционных сетей, диэлектрической проницаемости, плотности и др.). Основным расчетным параметром развиваемой модели является давление электростатических сил. В упрощенной модели учитывается также накопление заряда в прианодной области и сложный профиль контакта, обусловленный фрактальным характером соединяемых поверхностей. Расчетное значение пондеромоторного давления может достигать десятков мегапаскалей. При этом расчетные значения давления как функции температуры получения соединения, шероховатости соединяемых поверхностей, приложенного электрического напряжения, электрофизических характеристик ма-

териала подложки в рамках упрощенной модели хорошо коррелируют с экспериментальными данными по прочности полученных соединений [9].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», «Золь-гель-методы создания керамических нанокомпозитов с иерархией пор и диагностика их свойств» (ГК № П399 от 30.07.2009 г.), «Разработка методов создания и формирование электрокаталитических слоев для портативных водород-воздушных топливных элементов» (ГК № 2279 от 13.11.2009 г.) и мероприятия 1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук» по направлению «Создание и обработка композиционных керамических материалов», а также проектов № 6634 р/8712 от 2.03.2009 г., № 11233 от 12.04.2010 г. и № 12649 по программе «У.М.Н.И.К.».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачева И. Е., Мошников В. А. Анализ газочувствительных фрактальных структур на основе диоксида олова методом атомно-силовой микроскопии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. Вып. 5. С. 3–10.

2. Gracheva I. E., Spivak Y. M., Moshnikov V. A. AFM techniques for nanostructures materials used in optoelectronic and gas sensors // Eurocon-2009. International IEEE Conference, May 18–23, 2009. Saint-Petersburg, Russia, 2009. P. 1250–1253.

3. Грачева И. Е., Максимов А. И., Мошников В. А. Анализ особенностей строения фрактальных нанокомпозитов на основе диоксида олова методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновского фазового анализа // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. Вып. 10. С. 16–23.

4. Мошников В. А., Грачева И. Е. Сетчатые газочувствительные нанокомпозиты на основе диоксидов олова и кремния // Прил. к жур. «Вестник РГРТУ». Рязань. 2009. № 4. С. 92–98.

5. Синтез и исследование газочувствительных слоев на основе нанокомпозитов системы SnO_2–SiO_2–In_2O_3 / И. Е. Грачева, О. Ф. Луцкая, А. И. Максимов и др. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Физика твердого тела и электроника. 2005. Вып. 2. С. 18–23.

6. Фазовые и структурные превращения в нанокомпозитах на основе SnO_2–SiO_2–In_2O_3 / И. Е. Грачева, А. И. Максимов, В. А. Мошников, О. Ф. Луцкая // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Физика твердого тела и электроника. 2006. Вып. 2. С. 40–44.

7. Пщелко Н. С. Поляризация приповерхностных слоев диэлектриков на границе электроадгезионного контакта с проводником // Цветные металлы. 2005. № 9. Наноструктурированные металлы и материалы. С. 44–50.

8. Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973.

9. Озолс А. Р., Пщелко Н. С., Таиров В. Н. Физические основы, расчет и применение необратимого электроадгезионного соединения твердых тел / Ин-т орган. синтеза АН Латв. ССР. Рига, 1989.

I. E. Grachova, S. S. Karpova, V. A. Moshnikov, N. S. Pshchelko

NETTING HIERARCHICAL POROUS STRUCTURES WITH ELECTROADHESION CONTACTS

Netting nanocomposites based on tin dioxide – silicon dioxide system were synthesized by sol-gel technique. The hierarchical porous structure was detected by atomic-force microscopy and thermal desorption methods. New approach of metal contacts formation based on anodic bonding technology is proposed. The designed contacts do not destroy the hierarchical porous structure. The advantages of this technique and the theoretical conception of anodic bonding processes in netting nanocomposites are discussed.

Electroadhesion technology, porous nanocomposites, hierarchy of pores

УДК 004.075

Н. А. Маркин

ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ БЕЗ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ РЕПЛИКАЦИИ ДАННЫХ

Рассматриваются основные модели непротиворечивости, ориентированные на данные и не использующие блокирующие методы синхронизации. Приводятся способы их реализации и описываются основные проблемы, возникающие при проектировании отказоустойчивых распределенных автоматизированных систем обработки данных на базе этих моделей.

Распределенные системы, отказоустойчивость, производительность, данные, репликация, модель непротиворечивости

Вопросы репликации изучаются во многих областях, но особенно глубоко они рассматриваются при проектировании распределенных систем. Репликация данных используется для достижения двух целей: повышения отказоустойчивости и роста производительности. При этом возникает проблема поддержания реплик в непротиворечивом состоянии. Другими словами, если в одну из копий данных вносятся изменения, то эти же изменения должны быть внесены и во все остальные копии – в противном случае реплики перестанут быть одинаковыми.

В общем случае реплики считаются синхронизированными, если операция чтения данных возвращает одинаковые результаты для каждой из копий. При этом подразумевается, что данные на всех репликах обновляются в рамках одной атомарной операции. Здесь возникает проблема: с одной стороны, репликация позволяет увеличить производительность, а с другой – требуются большие затраты на поддержание реплик в актуальном состоянии [1].

Выходом может стать снятие требования атомарности операции обновления и введение допущения о возможности рассинхронизации копий данных. На степень этих допущений в первую очередь влияют задачи, которые решаются распределенной системой.

Для определения степени непротиворечивости хранилища данных, или *модели непротиворечивости*, вводятся следующие понятия:

- операция записи – операция, в результате которой изменяются данные в хранилище;
- операция чтения – все остальные операции, совершаемые над хранилищем данных.

Модель непротиворечивости – это некоторое «соглашение» между процессами, имеющими доступ к данным, и самим хранилищем данных. Соглашение подразумевает, что если процессами соблюдаются некоторые правила, то и хранилище работает правильно.

Далее будут рассмотрены основные модели непротиворечивости и способы их реализации в распределенных автоматизированных системах.

Элементарная непротиворечивость (atomic consistency). Данная модель непротиворечивости является самой строгой из всех существующих (отсюда другое название модели – строгая непротиворечивость). В этой модели подразумевается, что *операция над данными возымеет действие во всей распределенной системе за операционный интервал* [2]. Иными словами, если в данные одного из узлов системы вносятся изменения, то всем остальным узлам эти изменения сразу же становятся доступны.

Очевидно, что такая непротиворечивость всегда соблюдается в однопроцессорных системах. Для распределенных систем такая модель подразумевает существование абсолютного глобального времени, так как предполагается, что все узлы понимают, какая операция была последней.

На рис. 1 представлена последовательность событий, которая должна соблюдаться в распределенной АС при использовании элементарной модели непротиворечивости.

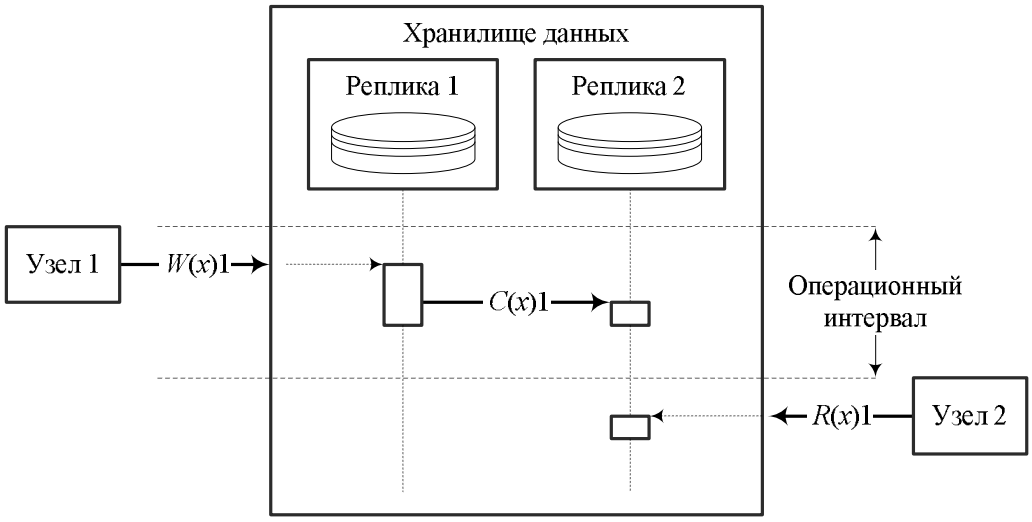


Рис. 1

Предполагается, что система должна обеспечить выполнение операции чтения ($R(x)$) после внесения изменений в одну из реплик ($W(x)$) и копирования этих изменений на другие реплики ($C(x)$). Однако из-за распределенности системы с одной из реплик может быть выполнена операция $R(x)$ до того, как эта реплика получит информацию об изменяющихся данных (рис. 2).

Таким образом, модель строгой непротиворечивости практически не применима в распределенных системах. Рассмотрим модель, в которой снимаются некоторые ограничения.

Последовательная непротиворечивость (sequential consistency). Эта модель впервые была описана Лэсли Лэмпортом в 1979 г. следующим образом: *результат выполнения любого действия такой же, как если бы операции всех узлов были выполнены в какой-либо последовательности, а операции каждого отдельного узла выполнялись бы в порядке, определяемом его программой* [3]. Фактически, в системе с последовательной непротиворе-

чивостью все узлы должны «договориться» о порядке, в котором они видят чередование операций, при этом нет зависимости от глобального времени.

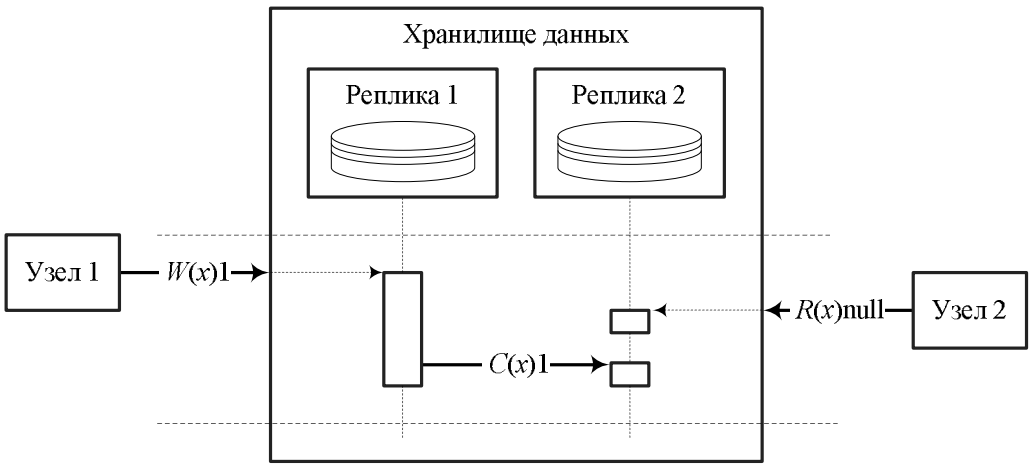


Рис. 2

При реализации системы на базе модели последовательной непротиворечивости исключается необходимость блокирования операций при внесении изменений в данные хранилища, что значительно повышает производительность системы. Для корректной работы хранилища в системе должна быть предусмотрена возможность распределения операций чтения до момента синхронизации всех реплик (рис. 3).

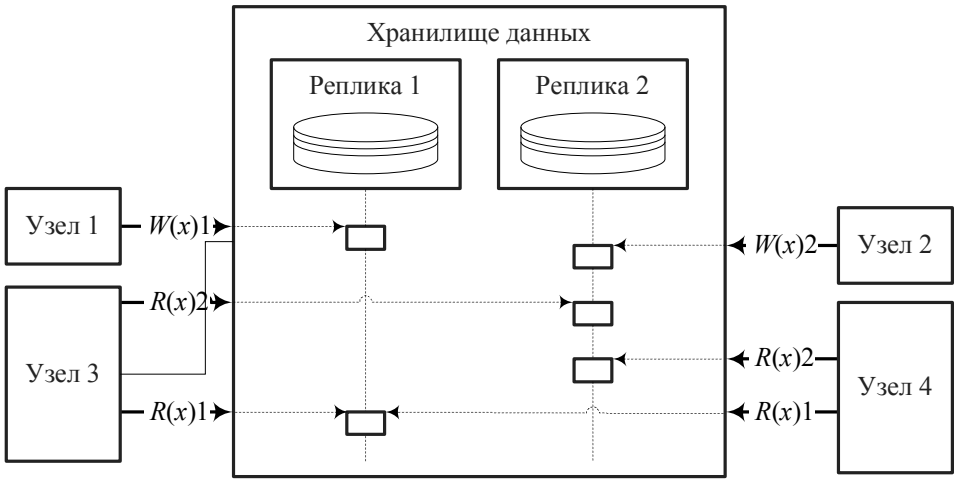


Рис. 3

При реализации такой модели также возможен вариант с использованием координатора, упорядочивающего операции записи, но очевидно, что при масштабировании системы координатор становится узким местом.

Модель последовательной непротиворечивости долгое время считалась канонической, однако многие системы обработки данных реализуют еще более слабые модели.

Причинная непротиворечивость (causal consistency). Изначально идея использования потенциальной причинности для отслеживания обмена информацией в распределенных системах принадлежит также Лэмпорту [4]. Модель данных считается причинно непротиворечивой, если все узлы наблюдают одинаковый порядок операций с причинно-следственной связью. При этом операции, не обладающие такой связью (параллельные

операции), могут наблюдаться в разном порядке. Рассмотрим организацию хранилища данных, представленную на рис. 4.

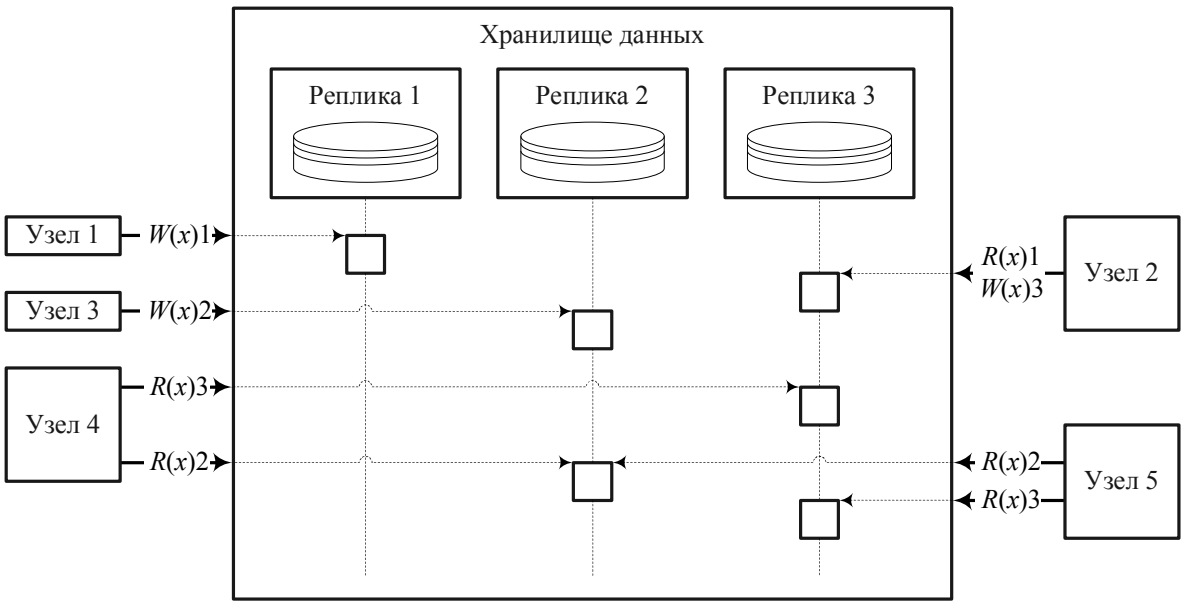


Рис. 4

Предполагается, что Узел 2 выполняет запись с учетом данных, записанных Узлом 1, при этом Узел 3 осуществляет независимую операцию записи. В дальнейшем, при чтении данных остальными узлами не допускается чтение устаревшей информации, записанной Узлом 1. Для того чтобы система отвечала правилам причинной непротиворечивости, требуется отслеживать взаимную зависимость операций друг от друга. Возможный способ реализации модели – построение графа зависимости между операциями каждой из реплик, согласно которому до синхронизации данных на репликах будет исключаться чтение устаревшей информации.

Непротиворечивость FIFO (FIFO consistency). В распределенных системах с разделяемой памятью такая модель носит название непротиворечивости PRAM (Pipelined RAM). К ней приводят следующие рассуждения: рассматривается распределенная система, каждый из узлов которой имеет свою локальную реплику данных. Для масштабируемости доступ к своим данным не должен зависеть от времени, требующегося для доступа к данным другого узла. Было сделано предположение, что при выполнении операции чтения узел должен возвращать значение, хранящееся в локальной реплике. При выполнении операции записи узел должен сначала изменить локальную реплику, а затем разослать изменения на все остальные узлы. Таким образом, при условии постоянного времени, требующегося для начала рассылки, достигается цель сделать постоянными затраты на операции чтения или записи. Это эквивалентно следующему требованию: *все узлы наблюдают операции записи единичного узла в одинаковом порядке, при этом у них могут быть расхождения в наблюдении операций записи, выполняющихся в различных узлах* [5].

Организация хранилища данных распределенной системы, отвечающего правилам модели FIFO, представлена на рис. 5.

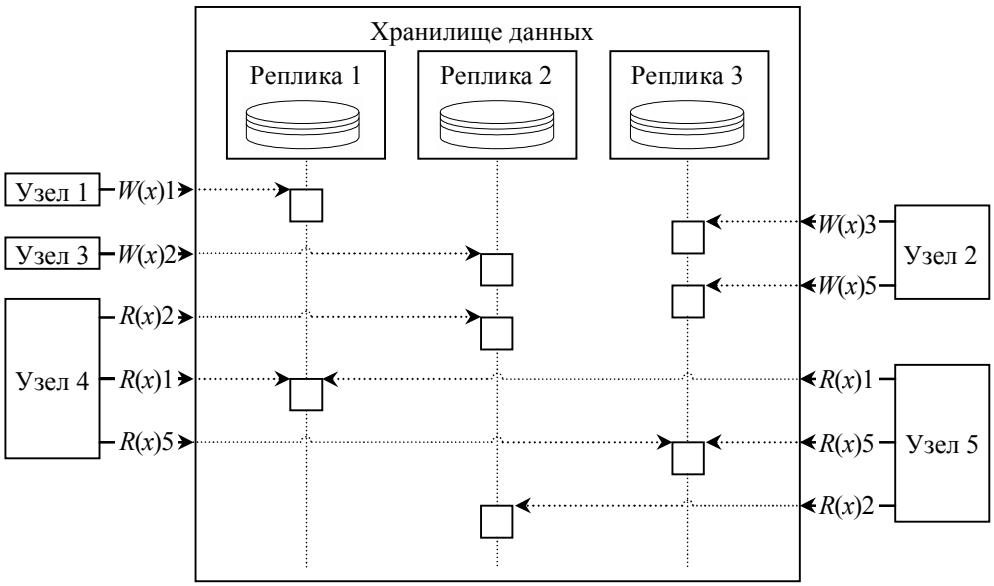


Рис. 5

Самым примитивным способом реализации непротиворечивости FIFO может быть сопоставление каждому из узлов своей реплики данных (по крайней мере, до момента синхронизации изменений, внесенных последней операцией записи узла). В общем случае данная модель обладает существенно меньшими накладными расходами по поддержанию непротиворечивости, что увеличивает производительность системы в целом.

Выводы. Репликация данных в целом решает проблему масштабируемости и, как следствие, отказоустойчивости распределенных систем, однако требует значительных ресурсов на поддержание синхронности между репликами. Выходом может стать построение хранилища данных на базе модели непротиворечивости, снижающей затраты на синхронизацию. Тем не менее, при выборе модели нужно учитывать задачи, решаемые системой, степень ее распределенности и масштабируемости, среду, в которой осуществляется взаимодействие между узлами системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Understanding Replication in Databases and Distributed Systems / M. Wiesmann, , F. Pedone, A. Schiper et al. // Proc. 20th Int'l Conf on Distributed Computing Systems, Taipei, Taiwan, 10–13 april, 2000. P. 464–474.

2. Mosberger D. Memory consistency models // Operating Systems Review. 1993. 17(1). P 19–26.

3. Lamport L. Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system // Communications of the ACM. 1978. 21(7). P. 558–565.

4. Lamport L. How to make a multiprocessor computer that correctly executes multiprocess programs // IEEE Transactions on Computers. 1979. C-28(9). P. 690–697.

5. Lipton R. J., Sandberg J. S. PRAM: A scalable shared memory. Technical Report CS-TR-180-88, Princeton University, September 1988. P. 1–13.

6. Memory consistency and event ordering in scalable shared-memory multiprocessors / K. Gharachorloo, D. Lenoski, J. Laudon et al.// Computer Architecture News. 1990. 18(2). P 15–26.

N. A. Markin

USING REPLICATED DATA IN DISTRIBUTED AUTOMATED SYSTEMS FOR IMPROVING FAULT TOLERANCE WITHOUT PERFORMANCE DEGRADATION

Basic data-oriented consistency models without blocking synchronization methods are considered. The article contains ways of implementation of these models and description of basic problems arised while designing fault-tolerant data-processing distributed automated systems based on these models.

Distributed systems, fault tolerance, performance, data, replication, consistency model

УДК 007:681.512.2

А. И. Водяхо, Н. А. Жукова,
М. Г. Пантелеев, Д. В. Пузанков

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ И МНОГОАГЕНТНЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Рассматриваются возможные подходы к построению интеллектуальных информационно-управляющих систем, основанные на совместном использовании сервисно-ориентированных и многоагентных технологий. Описывается эталонная 3-уровневая архитектура.

Интеллектуальные информационно-управляющие системы, сервисно-ориентированные архитектуры, многоагентные системы

Интеллектуальные информационные технологии находят все более широкое применение при создании информационных систем (ИС) различного назначения. К интеллектуальным принято относить ИС, использующие механизмы извлечения, преобразования, накопления или использования знаний. Одной из быстро развивающихся информационных технологий являются многоагентные системы (МАС), обладающие мощным потенциалом с точки зрения создания ИС с высоким и очень высоким уровнем интеллекта. Однако, несмотря на очень значительные успехи, достигнутые в области теории и практики построения МАС, по уровню инструментальной поддержки они существенно отстают от повсеместно используемых сервисно-ориентированных архитектур (СОА), которые активно поддерживаются практически всеми основными производителями программного обеспечения. Сильной стороной МАС является возможность реализовывать сложные модели поведения, в свою очередь СОА обладают мощной инструментальной поддержкой и возможностью работы с бизнес-процессами (БП). При этом БП могут формироваться как в статическом режиме средствами bpel, так и в динамике (динамические ассемблеры, семантические веб-сервисы). В этом плане представляется целесообразным рассматривать данные технологии как взаимодополняющие.

Можно выделить 2 основных альтернативных подхода к построению комбинированных архитектур: агентно-сервисные и сервисно-агентные архитектуры. В первом случае на верхнем уровне работают агенты (АГ), а на нижнем располагаются веб-сервисы (ВС). Во втором случае на верхнем уровне работают ВС, а на АГ возлагается решение отдельных задач, и они работают на нижнем уровне. Следует отметить, что технические проблемы, связанные с сопряжением ВС и АГ, отсутствуют. Эта задача решается посредством использования мостов, к которым, с одной стороны, можно обращаться как к ВС, а с другой – через эти шлюзы можно посылать сообщения АГ [1].

Информационно-управляющие системы (ИУС). Одним из важных подклассом ИС являются ИУС, которые обеспечивают выдачу консолидированных данных и используются в качестве систем поддержки принятия решений и формирования отчетов на основе данных из различных независимых источников [2]. К ИУС можно, в частности, отнести информационно-телеметрические системы (ИТС) [3], предназначенные для решения задач, связанных с получе-

нием, преобразованием, передачей по каналам связи, приемом, обработкой и регистрацией измерительной информации о событиях с целью контроля на расстоянии состояния и функционирования технических и биологических систем и изучения явлений природы. С точки зрения назначения ИТС подразделяются на оперативные, регистрирующие и комбинированные. Оперативные ИТС входят в состав системы телеуправления в качестве информационного звена, при этом информация, поступающая от ИТС, используется для формирования команд управления. Можно выделить следующие типовые области применения ИТС: системы управления производственными процессами, системы испытаний сложных технических систем (ракетно-космические комплексы, авиационные комплексы, автоматизированные системы проведения научных исследований). Регистрирующая ИТС служит для регистрации большого числа разнообразных параметров, характеризующих работу различных подсистем.

Типовая ИТС состоит из трех основных подсистем: информационно-телеметрического комплекса (ИТК), подсистемы первичной обработки данных (ППО) и подсистемы вторичной обработки данных. Основными операциями первичной обработки являются дешифровка данных, отбраковка ошибок, усреднение отсчетов, выделение экстремальных значений параметров, контроль за отклонением от номинальных значений и др. Вторичной обработкой, или анализом телеметрической информации (ТМИ), называется часть обработки ТМИ, связанная с формированием данных, необходимых оператору или системе для принятия решения о состоянии объекта.

Типовой алгоритм функционирования системы обработки ТМИ. Типовая система обработки обычно содержит многие сотни и даже тысячи датчиков, данные от которых могут обрабатываться параллельно. Можно выделить 5 этапов обработки для каждого из сигналов.

Этап 1. Предварительная обработка данных. На данном этапе проводится предварительная обработка и анализ данных, в частности исключаются выбросы, шумы.

Этап 2. Сегментация данных. Этот этап предполагает разбиение сигнала на участки, обладающие постоянными свойствами.

Этап 3. Кластерный анализ. Кластерный анализ полученной последовательности сегментов для быстроменяющихся параметров решает задачу автоматической группировки выделенных сегментов с целью выделения групп схожих сегментов.

Этап 4. Секвенциальный анализ. Этап предусматривает формирование на основе полученной последовательности классов стандартных (характерных для сигнала) последовательностей (шаблонов). При анализе эталонных сигналов заполняется библиотека шаблонов. В процессе анализа тестовых сигналов полученные последовательности классов сопоставляются с эталонными шаблонами. При несоответствии шаблонов принимается решение о наличии аномальной ситуации.

Этап 5. Визуализация результатов. В режиме анализа эталонных сигналов визуализируются исходные данные. При анализе тестовых данных отображаются сигналы, в которых была найдена разладка, и указывается момент ее возникновения.

Этапы 1–4 по существу являются процессом извлечения знаний (data mining), а этап 5 – это система поддержки принятия решений. Все изложенное позволяет рассматривать ИТС как интеллектуальную.

Типовые архитектурные решения для ИТС. В качестве базовой архитектуры ИТС можно рассматривать 3-слойную архитектуру (рис. 1), которая содержит следующие слои (уровни): уровень элементарных ВС и бизнес-сервисов, уровень агентного управления и уровень бизнес-процессов верхнего уровня.

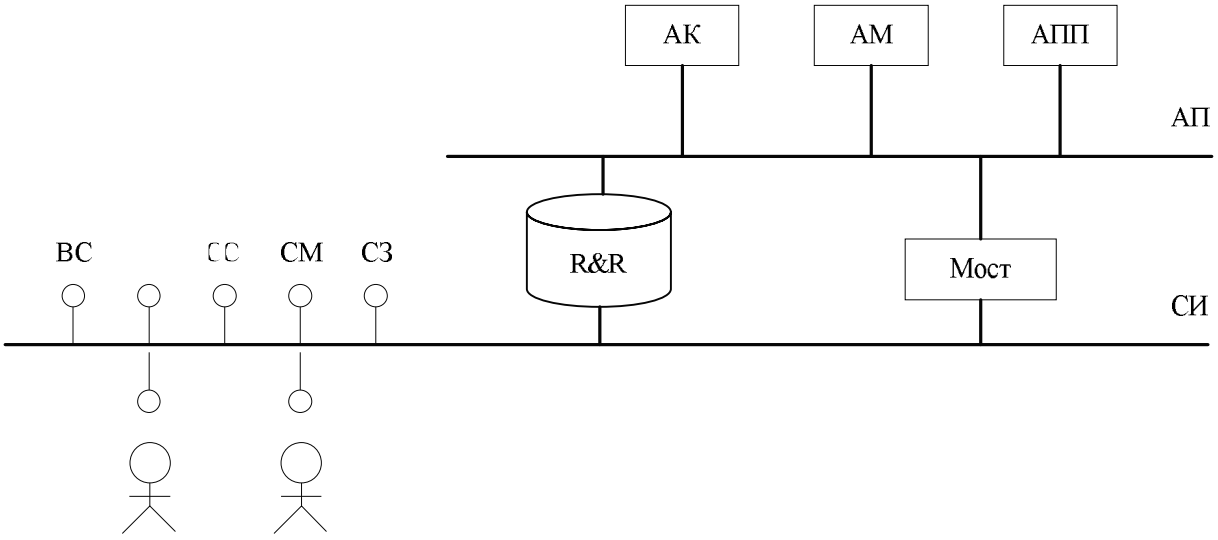


Рис. 1

Идея предлагаемого подхода состоит в следующем. Основные усилия в области стандартизации и унификации направляются на стандартизацию ВС и бизнес-сервисов, работающих на нижнем уровне. Разделение БП на БП нижнего и верхнего уровней позволяет упростить разработку БП за счет разделения их на относительно стабильную и переменную части. Стандартные механизмы и инструменты работы с бизнес-правилами могут использоваться как на нижнем, так и на верхнем уровнях. АГ работают на промежуточном уровне. Настройка поведения АГ может выполняться либо с помощью встроенной системы работы с правилами, реализованной, например, средствами Jess, либо посредством редактирования онтологии, хранящей описания поведений.

В зависимости от специфики используемых алгоритмов управления процессом обработки могут использоваться как реактивные, так и BDI АГ [1].

Архитектура на рис. 1 включает в себя 2 сегмента, соединенных с помощью моста. Кроме того, имеется централизованное хранилище данных и метаданных – реестр и репозитарий R&R. Доступ к R&R осуществляется через ВС доступа к данным.

Первый сегмент формируется на базе некоторой среды интеграции СИ, в качестве которой может выступать, например, корпоративная сервисная шина или сервер интеграции, которая реализует функции оркестровки БП и работы с бизнес-правилами [4].

На первом (нижнем) уровне работают элементарные ВС, реализующие собственно обработку, которые компонуются посредством bpel и могут быть доступны как бизнес-сервисы БС. Кроме того, на этом уровне располагаются сервисы визуализации СВ, сервисы мониторинга СМ и сервисы работы со знаниями СЗ. В качестве примера ВС могут выступать сервисы предварительной обработки, сервисы сегментации, сервисы кластеризации, сервисы классификации, сервисы поддержки принятия решений. Примерами БС могут служить сервисы обработки данных от того или иного типа датчиков или сервисы об-

работки данных конкретной подсистемы, например подсистемы подачи топлива или подсистемы управления рулями. СВ обеспечивают доступ к средствам визуализации, в качестве которых могут использоваться, в частности, порталы. СМ ориентированы на поддержку мониторинга состояния процесса обработки. СЗ делятся на две группы. К первой группе относятся сервисы доступа к знаниям, обеспечивающие работу с онтологиями, а ко второй – сервисы преобразования знаний, которые представляют собой процессоры логического вывода и могут быть использованы, в частности, для работы с семантическими ВС.

На втором уровне работают АГ, управляющие процессом обработки данных преимущественно посредством вызова бизнес-функций, хотя при необходимости могут иметь доступ к ВС. Можно выделить следующие типы АГ: агенты-координаторы АК**;** АГ, выполняющие функции персональных помощников АПП**;** АГ, отвечающие за мониторинг БП, АМ. АГ ставится в соответствие набор поведений. Если используются реактивные агенты, то их поведением можно управлять с помощью правил, реализованных, например, средствами Jess. Если используются BDI АГ, то их поведения можно корректировать за счет редактирования онтологии поведений. АГ, принадлежащие агентному слою, реализуют свое поведение посредством обмена сообщениями и вызова бизнес-функций через один или несколько мостов.

Бизнес-логика реализуется преимущественно в ВС, которые объединяются в стандартные бизнес-сервисы [4]. ВС и бизнес-сервисы являются основным объектом стандартизации.

Пользователи могут получать доступ к системе с помощью разных механизмов, однако предпочтительными представляются портальные технологии [4].

На третьем (верхнем) уровне работают БП верхнего уровня. На верхнем уровне для оркестровки бизнес-процессов целесообразно использовать статические БП (bpel). На нижнем уровне можно применять как статические, так и динамические механизмы формирования БП. Возможность использования динамического ассемблера не вызывает сомнения. Применение семантических веб-сервисов на основе, например, OWL-S [5], ориентированных, прежде всего, на работу в открытых мирах, на первый взгляд, не имеет смысла. Однако при наличии доступной инструментальной поддержки семантические методы композиции ВС могут оказаться полезными. Основным преимуществом динамических методов компоновки ВС является возможность оперативно добавлять или удалять ВС. При большом количестве ВС отслеживать их использование вручную достаточно сложно.

Типовая структура ИТС. Структура типовой системы обработки ТМИ (рис. 2) представляет собой локальную сеть ЛС, к которой подключены рабочие станции РС, выполняющие функции рабочих мест пользователей. Выделяются следующие типовые группы пользователей: эксперты ЭК; бизнес-администраторы БА, отвечающие за отдельные подсистемы исследуемого объекта; координатор КО; руководитель, отвечающий за проведение всего эксперимента; системный администратор СА; разработчик. Система может работать в следующих режимах: проведение глобального эксперимента в режиме реального времени, проведение глобального эксперимента в режиме повтора, проведение локальных экспериментов.

ЭК имеет право запускать локальные БП и наблюдать за ходом их выполнения. БА обладает правом настройки параметров БП и поведения агентов с помощью бизнес-правил, может редактировать фрагменты онтологий, относящихся к конкретным подсис-

темам. КО наделен правами эксперта и, кроме того, имеет право: запускать глобальные БП, настраивать параметры всех БП и поведения агентов с помощью бизнес-правил, редактировать онтологии, назначать права экспертам. СА наделен обычными правами СА, а также имеет права ЭК, КО и, кроме того, может назначать права КО, инсталлировать и деинсталлировать сервисы. Разработчик наделен правом изменять код приложений (обычно изменение кода связано с необходимостью повторной его сертификации).

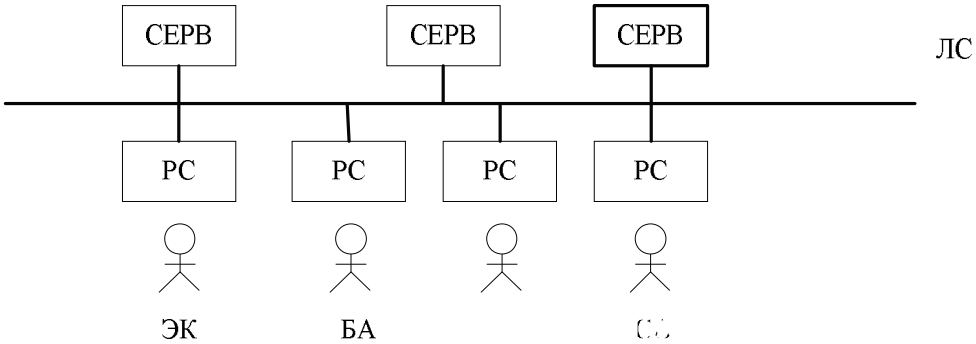


Рис. 2

При проведении глобального эксперимента в режиме реального времени данные от объекта после первичной обработки заносятся в R&R и обрабатываются параллельно всеми РС. Если мощности РС недостаточно, то можно использовать выделенные серверы обработки СЕРВ и серверы баз данных. ЭК могут наблюдать за ходом обработки данных, поступающих от отдельных подсистема, а КО – за ходом всего эксперимента.

Исходные данные запоминаются в R&R, поэтому эксперимент или его фрагменты могут повторяться многократно, например с целью отладки алгоритмов и БП.

В режиме проведения глобального эксперимента система работает следующим образом. КО запускает глобальный БП. БП верхнего уровня через шлюзы посылает сообщения агентам о начале эксперимента. При выполнении глобального эксперимента запускаются все агенты, при проведении локального эксперимента – один или несколько АГ. АГ отвечает за обслуживание одной или нескольких подсистем. Для сложных систем АГ может создавать АГ более низкого уровня. АГ могут координировать свои действия.

Предлагаемая архитектура может быть отнесена к классу гибких (agile). В качестве основных механизмов обеспечения гибкости можно рассматривать следующие: возможность оперативно изменять состав и функциональность ВС нижнего уровня; возможность реализовывать разумное поведение за счет использования интеллектуальных, например BDI, АГ, при этом остается возможность стандартизации на трех уровнях – на уровне ВС низкого уровня, на уровне бизнес-сервисов, на уровне библиотек поведений АГ.

Описанная архитектура по существу является эталонной реализацией (framework). В максимальной конфигурации система может быть использована при работе с очень сложными системами, такими, как, например, системы запуска космических аппаратов. Архитектура легко сжимается и расширяется. Можно, например, полностью или частично исключить агентный слой и (или) отказаться от использования бизнес-сервисов. Можно также отказаться от применения динамических механизмов генерации БП нижнего уровня. Портальные технологии полезны, прежде всего, в случаях, когда ИУС интегрирована в состав корпоративной ИС или по-

строена по принципу виртуальной организации. Следует отметить, что предлагаемая архитектура позволяет наращивать функциональность и уровень интеллекта ИУС практически без перепрограммирования за счет программирования на уровне бизнес-процессов, настройки бизнес-правил и редактирования онтологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. NJ: John Wiley & Sons, 2007.

2. Duffy D. Domain Architectures: Models and Architectures for UML Applications. John Wiley & Sons, 2004.

3. Automatic control system of complex dynamic objects state on the base of telemetering information analysis / A. Vasiljev, V. Geppener, N. Zhukova et al. // 8th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies, 2007. Vol. 2, No.4. P. 376-379.

4. Iyengar A., Jessani V., Chilanti M. WebSphere business integration primer: Process server, BPEL, SCA, and SOA. NJ: IBM Press, 2008.

5. Studer R.,·Grimm S., Abecker A. Semantic Web Services. Concepts, Technologies, and Applications. Berlin: Springer, 2007.

A. I. Vodyaho, N. A. Zhukova, M. G. Panteleev, D. V. Puzankov

JOINT USAGE OF SERVICE-ORIENTED AND MULTI-AGENT ARCHITECTURES IN INTELLIGENT MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS

The paper discusses possible approaches to intelligent management information systems development based on joint usage of service-oriented and multi-agent architectures. Reference 3-tier reference architecture is described.

Intelligent management information systems, service-oriented architecture, multi-agent systems

УДК 303:722.8(075)

Г. А. Кухарев, Н. Л. Щеголева

АЛГОРИТМЫ ДВУМЕРНОГО АНАЛИЗА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ В ПРИЛОЖЕНИИ К РАСПОЗНАВАНИЮ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ

*Обсуждается метод двумерного анализа главных компонент (Two-dimensional **P**rincipal **C**omponent Analysis – 2D PCA), ориентированный на обработку цифровых изображений. Метод основан на представлении изображений как совокупности строк и столбцов и выполнении анализа по этим совокупностям. Представлены два способа выполнения 2D PCA, соответствующие параллельной и каскадной формам его реализации. Оценены характеристики рассмотренных методов.*

Двумерный анализ главных компонент (2D PCA), распознавание изображений лиц

В задачах распознавания изображений лиц исходными являются 3 базовых параметра: $\{M, N, K\}$, где M и N – число строк и столбцов исходных изображений, а K – количество изображений [1]–[4]. Первые 2 параметра определяют размерность исходного пространства признаков DIM = $M \times N$, и обычно рассматриваемым задачам сопутствует проблема малой выборки (Small Sample Size – SSS или S3 [4], [5]), когда

$$\text{DIM} >> K. \quad (1)$$

Размерность исходного пространства признаков DIM определяет вычислительную сложность реализуемых алгоритмов, а условие (1) – невозможность использования некоторых методов обработки. Анализ главных компонент (**P**rincipal **C**omponent **A**nalysis –

PCA [1]–[5]) является одним из важнейших методов, используемых в распознавании изображений, поскольку на нем основаны процедуры редукции размерности исходного пространства признаков так, чтобы выполнялось условие

$$\mathrm{DIM}_{\mathrm{new}} \le K, \tag{2}$$

где $\mathrm{DIM}_{\mathrm{new}}$ – размерность нового пространства признаков.

Результат редукции используется в задачах компактного представления изображений (их компрессии), в распознавании изображений и/или выявлении их существенных характеристик. При этом эффективное применение PCA в указанных задачах возможно только в случае выполнения условия (2). В связи с этим методология использования PCA основана на двух подходах, связанных, с одной стороны, с обеспечением выполнения условия (2), а с другой – с возможностью использования базового метода PCA [1], [2], изначально ориентированного на обработку векторных данных.

Первый подход [2] основан на преобразовании исходного изображения в новое изображение меньшего размера (например, размера $m \times n$), преобразовании его в одномерный вектор признаков размерности $\mathrm{DIM}_{\mathrm{new}} = mn \le K$ и использовании базовой процедуры PCA в приложении к полученным векторным данным.

Второй подход [3] основан на представлении отдельных изображений как совокупности строк и столбцов и реализации PCA по этим совокупностям на основе базовой (векторной) процедуры PCA. Этим и достигается реализация двумерного PCA.

В работах [4], [5] метод 2D PCA был исследован в приложении к распознаванию изображений лиц при больших размерах M и N и малых значениях параметра K ($\max\{M, N\} > 100$ и $K \ge 2$). Здесь же впервые была представлена векторно-матричная процедура, позволяющая непосредственно реализовать 2D PCA в алгоритмических языках, поддерживающих матричные операции. Представленный в [4], [5] метод 2D PCA определен как PCArc/KLTrc, поскольку и этап анализа, и отдельно выраженный этап проекции исходных данных в новое пространство признаков реализуются по строкам (row – «r») и столбцам (column – «c») исходных изображений.

Целью настоящей статьи является представление двух методов реализации 2D PCA: параллельного – в версии PCArc/KLTrc и нового метода, который реализуется по каскадной схеме вычислений. Идея аналогичного подхода рассматривались в работе [6]. Однако допущенные в [6] упрощения и ошибки в представлении базовой процедуры 2D PCA и отсутствие ее точного описания не позволяют выделить характеристики этого метода, а эклектика в выполненных экспериментах не позволяет использовать результаты этой работы в рамках метаанализа.

Идея и реализация методов 2D PCA. Пусть задан набор X, состоящий из K центрированных и нормированных к «1» изображений $X^{(k)}$ размером $M \times N$:

$$X = [X^{(1)} X^{(2)} \ldots X^{(K)}] \ , k = 1, \ldots, K.$$

Целью 2D PCA является определение двух матриц проекции W_1, W_2, трансформирующих исходные данные в новое пространство признаков так, чтобы выполнялось условие

$$\left\| X^{(k)} - W_1^T X^{(k)} W_2 \right\| \to \min, \ \forall k = 1, \ldots, K,$$

где W_1, W_2 – ортогональные матрицы порядков M и N соответственно.

Параллельный метод 2D PCA в версии PCArc/KLTrc. Здесь анализ главных компонент выполняется ***независимо*** по строкам и столбцам исходных данных и реализуется *по параллельной схеме* на основе базовых процедур PCA. При этом определяются 2 *независимых собственных базиса*.

Проекция исходных изображений в новое пространство признаков реализуется на основе двумерного преобразования Карунена–Лоэва (Karhunen-Loeva Transform – KLT) в этих базисах.

Двумерный анализ главных компонент реализуется в 2 этапа:

$$\begin{aligned} &1.0.\ \{X\} \xrightarrow{\text{R}} (X_1)\}; \quad 1.2.\ \{X_1\} \xrightarrow{\text{PCAr}} \{W_2\}; \\ &1.1.\ \{X\} \xrightarrow{\text{PCAr}} \{W_1\};\ 2.\ Y^{(k)} = W_1^T X^{(k)} W_2, \forall k = 1,\ 2,\ ...,\ K. \end{aligned} \tag{3}$$

На этапе 1.0 структура исходных данных реорганизуется транспонированием изображений $X^{(k)}\ \forall\ k$ на 90°. Операция реализуется блоком R как транспонирование всех матриц размером $M \times N$ в наборе X и составление нового набора данных X_1. На этапе 1.1 выполняется базовая процедура PCA относительно строк исходных данных (PCAr), а на этапе 1.2 – относительно строк (PCAr) данных, входящих в набор X_1, или, что то же самое, относительно столбцов исходных данных. Результат второго и третьего этапов – вычисление двух матриц проекции W_1 и W_2. Этапы 1.1 и 1.2 могут быть выполнены параллельно, поскольку здесь процедура PCAr применяется для независимых наборов данных X и X_1. Наконец, этап 2 – это трансформация всех исходных изображений из набора X в новое пространство признаков Y. С учетом этого на рис. 1 представлена схема параллельного способа (3) реализации 2D PCA. Блок R реализует транспонирование всех матриц размером $M \times N$ в наборе X. Блоки, обозначенные как «⊗», реализуют процедуру проекции исходных данных. Штрихами выделен блок, определяющий двумерное преобразование Карунена–Лоэва, который реализует этап 2 в (3) или этап двумерной проекции.

Заметим, что в представленном методе двумерное KLT реализуется по каскадной схеме: сначала исходное изображение обрабатывается по строкам, а затем полученный результат обрабатывается по столбцам (или наоборот). Аналогично выполняются любые двумерные дискретные ортогональные преобразования изображений [7], что, однако, противоречит способу получения собственных базисов в (3).

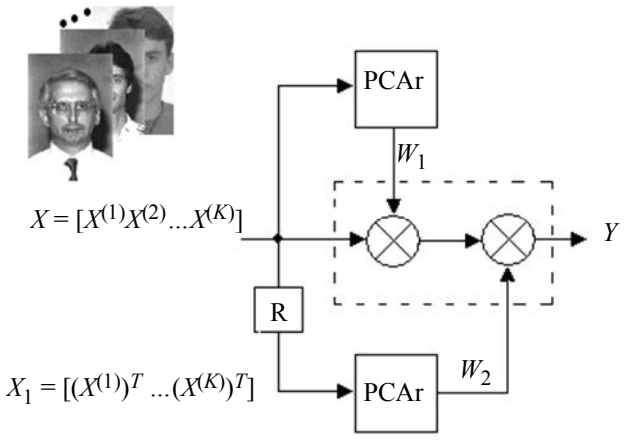


Рис. 1

Каскадный способ реализации 2D PCA. Здесь в первом каскаде выполняется PCA *строк*, а во втором – PCA *столб-*

цов результата первого каскада (или наоборот – сначала столбцов, а затем строк результата). При этом определяются 2 *взаимосвязанных собственных базиса*, и двумерное преобразование Карунена–Лоэва реализуется также по каскадной схеме во взаимосвязанных базисах.

Модель каскадного метода 2D PCA запишем следующим образом:

$$\{X\} \xrightarrow{\text{PCAr}} \{W_1; X_1\} \xrightarrow{\text{R}} \{\tilde{X}_1\} \xrightarrow{\text{PCAr}} \{W_2; \tilde{Y}\} \xrightarrow{\text{R}} \{Y\} \qquad (4)$$

Схема вычислений, соответствующая модели (4), представлена на рис. 2. Здесь в явной форме выражен каскадный способ реализации 2D PCA.

На первом этапе базовая процедура PCA выполняется относительно строк исходных изображений, входящих в набор X. Этап заканчивается вычислением матрицы проекции W_1, выполнением проекции исходных данных и формированием набора переменных X_1. При этом в наборе X_1 каждый блок переменных размером $M \times N$ представляет собой результат проекции каждого отдельного изображения из исходного набора данных:

$$X_1^{(k)} = W_1^T X^{(k)}, \ \forall\, k = 1, 2, \ldots, K.$$

Второй этап начинается с реорганизации переменных X_1 в новый набор данных $\widetilde{X}_1$. Операция реализуется блоком R как транспонирование всех отдельных матриц-результатов $X_1^{(k)}$ размером $M \times N$. Далее выполняется базовая процедура PCA также относительно строк реорганизованных данных $\widetilde{X}_1$. При этом вычисляется новая матрица проекций W_2, с помощью которой выполняется проекция $\widetilde{X}_1$ в новое пространство признаков $\widetilde{Y}$. Результат проекции определяется следующим образом:

$$\tilde{Y}_1^{(k)} = W_2^T \tilde{X}_1^{(k)}, \ \forall\, k = 1, 2, \ldots, K.$$

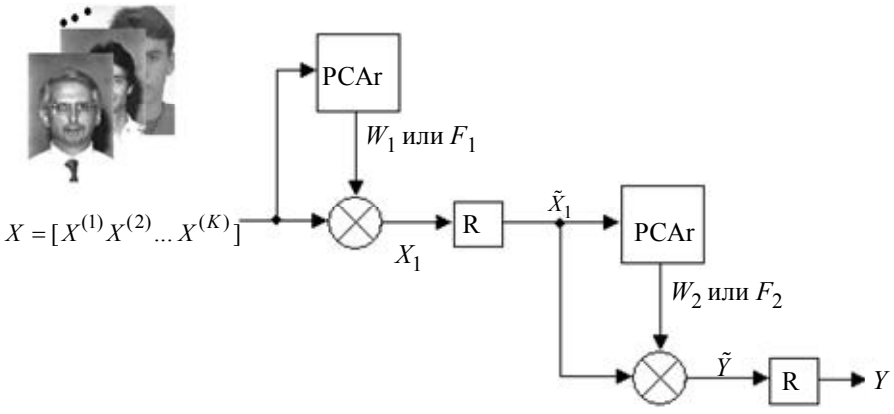


Рис. 2

Поскольку данные в $\widetilde{Y}$ реорганизованы процедурой транспонирования, то фактически PCA на этом этапе выполняются для столбцов матриц-результатов первой проекции. Этап заканчивается процедурой реорганизации переменных $\widetilde{Y}_1^{(k)}$ и получением наборов $Y = [Y^{(1)} Y^{(2)} \ldots Y^{(K)}]$, в которых каждая матрица-результат будет представлена в системе координат, соответствующей исходным данным – набору X.

Отдельную матрицу-результат можно получить следующим образом:

$$Y^{(k)} = W_1^T X^{(k)} W_2, \ \forall\, k = 1, 2, \ldots, K, \tag{5}$$

что аналогично этапу 2 в (3), если не учитывать способы получения матриц W_1, W_2.

Редукция размерности исходного пространства признаков. Изменим (5) так, чтобы в дальнейших преобразованиях участвовали только те собственные векторы, которые соответствуют «*d*» главным компонентам ($d < \max\{M, N\}$). Для этого из выбранных собственных векторов формируются две прямоугольные матрицы редукции следующим образом: из матрицы W_1^T выбирается «*d*» строк, а из матрицы W_2 – «*d*» столбцов, соответствующих «*d*» наибольшим собственным числам, и на их основе формируются две матрицы редукции F_1 и F_2. Теперь выполним «сокращенное» двумерное преобразование Карунена–Лоэва:

$$Y^{(k)} = F_1 X^{(k)} F_2 \ ; \ Y^{(k)} = \begin{bmatrix} y(1,1) \ldots y(d,1) \\ y(2,1) \ldots y(d,2) \\ \vdots \quad \ldots \quad \ldots \\ y(d,1) \ldots y(d,d) \end{bmatrix}, \ \forall\, k = 1, 2, \ldots, K, \tag{6}$$

что отражено в схеме на рис. 2.

Характеристики методов двумерного анализа главных компонент.

1. Итак, в результате двумерного анализа главных компонент (2D PCA) получаем две матрицы проекции: W_1 и W_2, а по окончании процедуры двумерного преобразования Карунена–Лоэва – набор признаков *Y* со структурой, соответствующей исходным данным.

Параллельный и каскадный способы реализации 2D PCA/2D KLT можно представить в следующих компактных формах записи:

$$\{X\} \to \frac{\text{PCArc}}{\{W_1, \ W_2\}} \to \xrightarrow{\text{KLTrc}} \{Y\}\,; \ \{X\} \to \frac{\text{cascade} \quad \text{2D PCA/2D KLT}}{\{W_1, \ \tilde{Y}, \ W_2\}} \to \{Y\}.$$

2. На реализацию полного ПКЛ (этап 2 в (3) или в (5)) потребуется ($NM^2 + MN^2$) операций, а на реализацию «сокращенного» ПКЛ по схеме (6) – ($Md^2 + MNd$) операций. При этом сокращение вычислений можно приблизительно оценить как величину $(M + N) / p$, поскольку

$$\frac{NM^2 + MN^2}{Md^2 + MNd} = \frac{MN(M+N)}{M(d+N)d} \approx \frac{M+N}{d}.$$

Например, для $M = 112$, $N = 92$ (база лиц ORL) и $d = 10$ сокращение вычислений составит примерно 20 раз(!) на каждое изображение.

3. Матрица $Y^{(k)}$ в (6) содержит d^2 элементов, что меньше первоначального размера исходного изображения в MN/d^2 раза. Например, для $M = 112$, $N = 92$ и $d = 10$ редукция размерности пространства признаков составит более чем 100 раз(!) на каждое изображение.

4. Наибольший порядок матриц ковариации при реализации PCA равен $\max\{M, N\}$, что предопределяет практическую возможность решения задач на собственные значения в 2D PCA и стабильность этого решения [1], [5], [6].

5. При представлении исходных изображений как совокупности строк и столбцов общее число изображений составляет величину $K(M + N)$, а размерность исходного пространства признаков определяется как $\mathrm{DIM} = \max\{M, N\}$. Поэтому в данном случае при любых значениях M и N соотношение «размерность/число изображений» всегда будет отвечать условию $\max\{M, N\} << K \times (M + N)$, «обходя» таким образом проблему SSS (или S3).

Эксперименты. Цель эксперимента – сравнение двух представленных методов 2D PCA при решении задачи поиска изображений лиц по заданному тестовому образу. Эксперименты выполнены на базе изображений лиц ORL[*], где каждое изображение имеет размер 112 × 92 пикселя. Поиск осуществляется для 40 классов базы с выбором только одного образа из каждого класса в базу системы поиска и девяти других образов в каждом классе для теста. Таким образом, в формулировке задачи поиска база системы поиска содержала 40 образов-эталонов (по одному на класс), а в качестве тестовых были использованы 360 образов (по 9 образов на каждый из 40 классов).

Для обеспечения репрезентативности результатов эксперимента дважды использована процедура перекрестной проверки (Cross Validation): в каждом эксперименте изменялся номер образа-эталона, а внутри каждого эксперимента – параметр редукции d (d = 3, 4, …, 10). Всего, таким образом, выполнено $10 \cdot 8 = 80$ экспериментов, результаты которых представлены в таблице.

Здесь в первой колонке – номера экспериментов (что соответствует номерам изображений, выбранных в базу системы поиска из каждого класса). В остальных колонках приведены результаты правильной классификации тестовых образов. Результат считался правильным, если на первом месте находился образ из того же класса, что и тестовый образ. Текущие результаты в каждом эксперименте оценивались как отношение количества правильно классифицированных тестовых образов к общему их числу 360. Как видно, наилучший результат достигнут для эксперимента № 9 при значениях d = 6, причем каскадный способ показывает лучшие результаты в сравнении с параллельным способом реализации 2D PCA.

Номер образа	Метод реализации «Параллельный»								Метод реализации «Каскадный»							
	Параметр редукции d								Параметр редукции d							
	3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	63	66	70	69	69	66	66	66	64	66	69	68	69	65	65	66
2	58	61	69	68	68	69	68	68	57	63	67	68	68	68	68	67
3	58	64	70	71	68	68	68	67	57	64	71	70	69	68	69	69
4	54	61	63	64	64	65	64	63	53	60	64	64	63	66	65	64
5	53	59	62	63	65	64	65	63	53	59	63	63	65	65	65	65
6	53	57	62	64	60	60	59	59	54	57	64	63	61	60	61	59
7	54	66	69	68	65	65	66	66	54	65	68	69	66	66	66	67
8	57	63	70	69	69	66	66	68	53	66	70	71	70	67	66	68
9	55	68	71	69	71	70	68	66	53	66	70	71	70	67	66	68
10	50	60	66	64	64	65	63	64	50	62	65	65	64	64	63	63
Среднее	**56**	**63**	**66**	**67**	**66**	**66**	**65**	**65**	**55**	**63**	**67**	**68**	**67**	**66**	**65**	**65**

На рис. 3 показаны 20 наибольших собственных значений (собственные значения, вычисленные по строкам для обоих способов, одинаковы по определению). При этом главные компоненты ограничены значением $d \approx 6$, поскольку далее собственные значения становятся близки к «0», что и было подтверждено результатами выполненного эксперимента.

[*] The ORL database. – www.uk.research.att.com/pub/data/att_faces.zip.

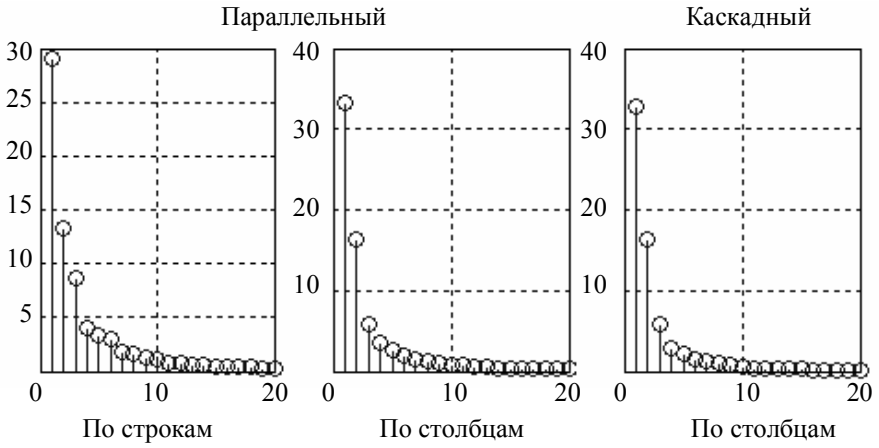


Рис. 3

На рис. 4 представлены текущие результаты распознавания тестовых образов для значения $d = 6$ в эксперименте № 9.

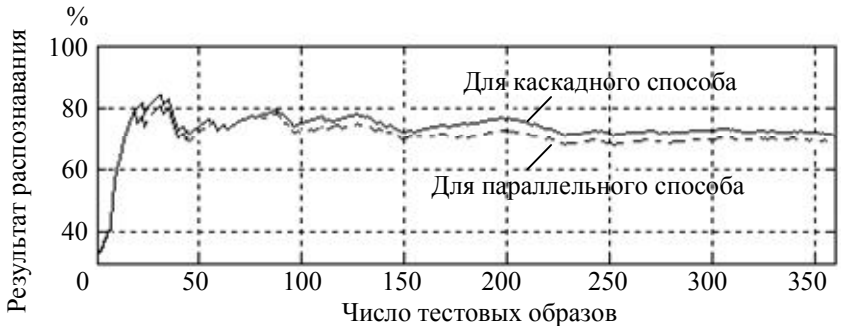


Рис. 4

На рис. 5 представлены результаты поиска наилучшего значения параметра редукции. Им оказалось значение $d = 6$. Степень редукции размерности пространства признаков составила при этом значение $103 = 112 \cdot 92 / 100$.

Рис. 5

В заключение отметим, что рассмотренный метод двумерного анализа главных компонент 2D PCA ориентирован на обработку и распознавание изображений. Метод основан на представлении изображений как совокупности строк и столбцов и анализе этих совокупностей.

Представлены 2 способа выполнения 2D PCA, соответствующие параллельной и каскадной формам его реализации. Оценены характеристики рассмотренных методов. Проведенные эксперименты подтвердили полученные оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. / М.: Мир, 1982.

2. Turk M., Pentland A. Eigenfaces for Face Detection/Recognition // Journ. of Cognitive Neuroscience. 1991. Vol. 3, №. 1. P. 71–86.

3. Tsapatsoulis N., Alexopoulos V., Kollias S. A. Vector Based Approximation of KLT and Its Application to Face Recognition // Proc. of the IX European Signal Processing Conf. EUSIPCO-98, September 8-11, 1998, Rodos Palace, Island of Rhodes, Greece. Vol.III. P. 1581–1584.

4. Кухарев Г. А. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека. СПб.: Политехника, 2001.

5. Кухарев Г. А., Щеголева Н. Л. Системы распознавания человека по изображению лица. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.

6. Zuo W., Wang K., Zhang H. Subspace Methods for Face Recognition: Singularity, Regularization, and Robustness // State of the Art in Face Recognition / Edited by: Dr. Mario I. Chacon M. Austria.

7. Дагман Э. Е., Кухарев Г. А. Быстрые дискретные ортогональные преобразования. Новосибирск: Наука, 1983.

G. A. Kukharev, N. L. Schegoleva

TWO-DIMENSIONAL PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN THE APPLICATION TO FACE RECOGNITION

Two-dimensional Principal Component Analysis – 2D PCA oriented processing of digital images. The method is based on the representation of images as a set of rows and columns and performance analysis of these aggregates. We present two ways to do 2D PCA, corresponding to parallel and cascade forms of its realization. Evaluated the above methods.

Two-dimensional Principal Component Analysis, Face Recognition

УДК 681.883.21:681.3.06

А. Р. Лисс

СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИГНАЛОВ В ШУМЕ ПРИ НАЛИЧИИ МЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрены вопросы синтеза алгоритмов обнаружения многокомпонентного сигнала в шуме при наличии мешающих параметров. Задача сводится к проверке линейной статистической гипотезы и решается в классе инвариантных алгоритмов на основе метода отношения правдоподобия.

Инвариантный алгоритм, многокомпонентный сигнал, полигармонический сигнал, вероятность ложной тревоги, вероятность обнаружения, дискретное преобразование Фурье

Цифровая обработка сигналов является основным и важнейшим элементом при проведении широкого спектра геофизических, океанографических и гидроакустических исследований. Методы и алгоритмы цифровой обработки базируются на хорошо развитом аппарате теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов и полей, методах обработки экспериментальных данных, получивших дальнейшее развитие с массовым внедрением вычислительных средств новых поколений.

Синтез алгоритмов обнаружения сигналов предполагает обязательное создание математической модели исследуемого процесса или явления, выбор и обоснование метода синтеза и критерия оптимальности и, наконец, собственно синтез алгоритма на основе выбранных модели, метода и критерия. В простейших случаях обнаружение полностью известного сигнала в шуме сводится к задаче проверки простой гипотезы против простой альтернативы. Для решения такой задачи может быть применен тот или иной статистический подход, основанный на априорных сведениях о сигнале и помехе.

При решении практических задач информация о принимаемом сигнале и шуме не является полной и сведение задачи обнаружения к проверке простой гипотезы против простой альтернативы не представляется возможным. К тому же решение некоторых задач, связанных с обнаружением сигнала в шуме и измерением их параметров, кроме априорной неопределенности о параметрах сигнала и шума осложняется наличием в принимаемом сигнале наряду с «полезными» параметрами одного или нескольких «мешающих» параметров. В таких случаях целесообразно строить правила, или алгоритмы, обнаружения в классе так называемых несмещенных или инвариантных правил, особенностью которых является полное исключение влияния априорной неопределенности и мешающих параметров на принимаемые решения.

В настоящей статье ограничимся рассмотрением инвариантных решающих правил. Под инвариантностью понимается свойство независимости правила (алгоритма) от тех или иных мешающих параметров, т. е. параметров, значения которых априори неизвестны и которые не могут быть использованы в процессе принятия решения о наличии или отсутствии сигнала в шуме.

Проиллюстрируем изложенное на примере задачи выявления многокомпонентных сигналов в шуме при наличии априорной неопределенности и мешающих параметров. Такая задача довольно часто возникает в геофизике и гидроакустике. При этом многокомпонентные модели сигналов описывают достаточно широкий класс физических процессов и явлений в различных областях науки и техники [1].

Модель многокомпонентных сигналов с базисными функциями (компонентами) $\Theta_k(t)$ общего вида представим в виде

$$y(t) = \sum_{k=1}^{m} a_k \Theta_k(t) + n(t), \qquad (1)$$

где компоненты $\Theta_k(t)$ являются некоторыми представителями класса ортогональных функций, например вейвлетами или гармоническими сигналами, применяемыми при построении моделей и анализе сигналов в геофизических и гидроакустических приложениях, а $n(t)$ – аддитивный шум. В простейших случаях коэффициенты являются математическими ожиданиями некоторых случайных величин; $n(t)$ – гауссовский шум с нулевым средним значением, ковариационной функцией $R(t,\tau) = \sigma^2 r(t,\tau)$ и неизвестной дисперсией σ^2. При этом предполагается, что корреляционная функция шума $r(t,\tau)$ известна.

Например, в гидроакустических приложениях часто применяются модели так называемых полигармонических сигналов, в которых присутствуют несколько гармонических составляющих с частотами, связанными определенными соотношениями, например соотношениями кратности:

$$y(t) = \sum_{k=1}^{m} a_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) + n(t), \qquad (2)$$

где m – максимальное число гармоник, которые могут присутствовать в сигнале; k – номер гармоники; a_k – амплитуды, ω_k – частоты, φ_k – начальные фазы гармоник; t – текущее время.

В моделях (1) и (2) часть компонент (гармоник) с номерами $k_1, k_2, \ldots, k_l$ выступает в роли полезных, а остальные – в роли мешающих параметров.

Задача состоит в обнаружении заданного набора из l полезных компонент с номерами $k_1, k_2, \ldots, k_l$, причем $l \le m$. Остальные $(m - l)$ компонент $\Theta_k(t)$, не входящие в данный набор, выступают в роли мешающих. Рассматриваемая задача является, таким образом, задачей проверки простой гипотезы H: $a_{k_1} = a_{k_2} = \cdots a_{k_l} = 0$ (сигнала нет) против сложной альтернативы K: хотя бы одно из значений $a_{k_i} \neq 0, i = 1, 2, \ldots, l$ (сигнал есть). Как известно [2], [3], для решения такой задачи не существует оптимального в смысле критерия Неймана–Пирсона (равномерно наиболее мощного) решающего правила (алгоритма). В этом случае продуктивным является подход, основанный на применении метода отношения правдоподобия для построения решающего правила, оптимального в более узком классе правил, инвариантных к некоторым группам мешающих преобразований. На основе таких правил и строятся соответствующие инвариантные алгоритмы.

Задача обнаружения сигнала вида (2) для частного случая полигармонического сигнала при $m = 1$ (т. е. обнаружения гармонического сигнала без мешающих параметров) рассмотрена в работе [4], в которой доказано существование равномерно наиболее мощного (РНМ) инвариантного к коэффициенту усиления алгоритма и приведен его вид.

Как установлено в [5], существует эффективный алгоритм обнаружения полигармонического сигнала, осуществляющий «режекцию» мешающих гармоник и, что более важно, обладающий свойствами инвариантности не только к коэффициенту усиления сигнала, но и к другим группам мешающих преобразований – в частности, к преобразованиям сдвига начальных фаз гармоник и ортогональным преобразованиям амплитуд гармоник полезного сигнала. Это обеспечивает, в частности, независимость показателей эффективности алгоритма от распределения энергии по гармоникам.

В настоящей статье результаты [2] распространяются на более общую многокомпонентную модель сигнала вида (1). Предполагается, что шум в общем случае коррелирован, однако при синтезе алгоритмов удобнее оперировать с некоррелированными величинами. Этого можно добиться с помощью преобразования Карунена–Лоэва, являющегося наиболее известным аппаратом для перехода к некоррелированным величинам:

$$Y_j = \int_0^T y(t)\Phi_j(t)\,dt, \quad j = 1, 2, \ldots, N, \tag{3}$$

где $\Phi_j(t)$ – собственные функции интегрального уравнения

$$\lambda_j \Phi_j(t) = \int_0^T r(t, \tau)\Phi_j(\tau)\,d\tau,$$

а $\lambda_j > 0$ – собственные числа этого уравнения.

Собственные функции $\Phi_j(t)$ образуют систему ортогональных нормированных функций, т. е.

$$\int_0^T \Phi_k(t)\Phi_j(t)\,dt = \begin{cases} 0, & k \neq j; \\ 1, & k = j. \end{cases}$$

Обозначим: $n_j = \int_0^T n(t)\Phi_j(t)\,dt$,

$$Y_j^{(k)} = \int_0^T \Theta_k(t)\Phi_j(t)\,dt,\ k = 1, 2, \ldots, m, j = 1, 2, \ldots, N.$$

Тогда справедливо следующее выражение:

$$Y_j = \sum_{k=1}^m Y_j^{(k)} + n_j,\ \ j = 1, 2, \ldots, N.$$

В силу линейности преобразования (3) Y_j являются независимыми одинаково распределенными величинами со средним значением $\sum_{k=1}^m a_k Y_j^{(k)}$ и дисперсией $\lambda_j\sigma^2$. Нормированные величины $Y_j' = \frac{Y_j}{\sqrt{\lambda_j}}$, $n_j' = \frac{n_j}{\sqrt{\lambda_j}}$ имеют нормальное распределение вида:

$$Y_j' \in \mathrm{N}\left\{\sum_{k=1}^m a_k Y_j'^{(k)}, \sigma^2\right\},\quad n_j' \in \mathrm{N}\left\{0, \sigma^2\right\}.$$

Рассмотрим векторы:

$$\mathbf{Y} = \left(Y_1', Y_2', \ldots, Y_N'\right),\quad \mathbf{Y}^{(1)} = \left(Y_1'^{(1)}, Y_2'^{(1)}, \ldots, Y_N'^{(1)}\right), \ldots,\quad \mathbf{Y}^{(m)} = \left(Y_1'^{(m)}, Y_2'^{(m)}, \ldots, Y_N'^{(m)}\right).$$

В этих обозначениях $\mathbf{Y} \in \mathrm{N}\left\{\sum_{k=1}^m a_k \mathbf{Y}^{(k)}, \sigma^2\mathbf{I}\right\}$, где $\mathbf{I}$ – единичная матрица.

В рассматриваемом случае система векторов является линейно независимой, т. е. ни один из векторов $\mathbf{Y}^{(k_1)}, \mathbf{Y}^{(k_2)}, \ldots, \mathbf{Y}^{(k_l)}$ не является линейной комбинацией векторов $\mathbf{Y}^{(i)}$ при $i \neq k_1, k_2, \ldots, k_l$. Обозначим математическое ожидание вектора $\mathbf{Y}$ через $\bar{\mathbf{Y}}$, т. е. $\bar{\mathbf{Y}} = \sum_{k=1}^m a_k \mathbf{Y}^{(k)}$, а затем рассмотрим пространства вида:

$$\mathfrak{A}_1 = \left\{a_1\mathbf{Y}^{(1)} + a_2\mathbf{Y}^{(2)} + \cdots + a_m\mathbf{Y}^{(m)}\right\};$$

$$\mathfrak{A}_2 = \left\{a_1\mathbf{Y}^{(1)} + \cdots + a_{k_1-1}\mathbf{Y}^{(k_1-1)} + a_{k_1+1}\mathbf{Y}^{(k_1+1)} + \cdots + a_{k_l-1}\mathbf{Y}^{(k_l-1)} + a_{k_l+1}\mathbf{Y}^{(k_l+1)} + \cdots + a_m\mathbf{Y}^{(m)}\right\}.$$

Пусть размерность пространства $\mathfrak{A}_1$ равна $m_1 \le m$, тогда размерность m_2 пространства $\mathfrak{A}_2$ удовлетворяет неравенствам: $m_1 - l \le m_2 \le m_1 - 1$.

В этих обозначениях $\bar{\mathbf{Y}} \in \mathfrak{A}_1$.

В терминах пространств $\mathfrak{A}_1$ и $\mathfrak{A}_2$ задача может быть сформулирована так:

H: $\bar{\mathbf{Y}} \in \mathfrak{A}_2$ (сигнала нет), *K*: $\bar{\mathbf{Y}} \Subset \mathfrak{A}_2$ (сигнал есть).

Отметим, что в случае некоррелированных шумов в моделях (1), (2) любое разложение по системе ортогональных функций приводит к некоррелированным значениям последовательности $Y_1, Y_2, \ldots, Y_N$. Выбор базиса разложения определяется видом компонент сигнала в рассматриваемых моделях. Для полигармонического сигнала оптимальным является базис Фурье, наиболее удачно согласующийся с моделью сигнала. В идеальном случае элементы последовательности $Y_1, Y_2, \ldots, Y_N$ обладают нулевыми математическими ожиданиями для всех составляющих, кроме тех, которые относятся к гармоникам полезного и мешающего сигналов (при их наличии).

Для многокомпонентных сигналов с локальными особенностями, в частности, для импульсных сигналов, сигналов типа «всплеск», «колокол» и т. п., известные методы приближения функций, в том числе преобразование Фурье, не позволяют столь же удачно решить проблему представления сигналов и функций. Основой такого решения явилось открытие в начале 90-х гг. XX в. принципиально нового класса функций, названных вейвлетами, которые в настоящее время используются для представления многокомпонентных функций и сигналов, в том числе нестационарных. В дальнейшем был создан новый математический аппарат представления функций и сигналов, основанный на вейвлетах, а затем и программные средства для его реализации [6].

Рассмотрим сначала задачу обнаружения полигармонического сигнала в гауссовском шуме. Разложим сигнал (2) в ряд Фурье. Рассмотрим векторы разложения базисных функций:

$$\mathbf{Y}^{(1)} = \left(Y_1^{\prime(1)}, Y_2^{\prime(1)}, \ldots, Y_N^{\prime(1)} \right), \ldots, \mathbf{Y}^{(m)} = \left(Y_1^{\prime(m)}, Y_2^{\prime(m)}, \ldots, Y_N^{\prime(m)} \right).$$

При наличии полезного сигнала у этих векторов ненулевыми являются только элементы с номерами $i_1, i_2, \ldots, i_{m_1}$, а при его отсутствии – только элементы, относящиеся к мешающим гармоникам. Заметим, что элементы векторов являются двухкомпонентными, так как содержат синусную и косинусную составляющие разложения входного сигнала в ряд Фурье.

В общем случае гипотезе может быть придан более простой вид ортогональным переходом к новым переменным [2]:

$$Z = C \cdot Y, \quad C = \left\{ c_{i,j} \right\}, \quad i, j = 1, 2, \ldots, N. \tag{4}$$

В результате ортогонального преобразования первые m_1 строк матрицы $c_1, c_2, \ldots, c_{m_1}$ порождают $\mathfrak{A}_1$, а $c_{m_1 - m_2 + 1}, c_{m_1 - m_2 + 2}, \ldots, c_{m_1}$ порождают $\mathfrak{A}_2$.

Пусть $\eta_i = \mathbf{E}\left(\mathbf{Z}_i\right)$. Тогда $\eta = C \cdot \overline{\mathbf{Y}}$. Так как $\overline{\mathbf{Y}} \in \mathfrak{A}_1$ всегда, в том числе и при выполнении гипотезы H: $\overline{\mathbf{Y}} \in \mathfrak{A}_2$, то $\eta_i = 0$ при $i = m_1 + 1, m_1 + 2, \ldots, N$ всегда, а в случае истинности гипотезы $\eta_i = 0$ еще и при $i = 1, 2, \ldots, m_1 - m_2$.

В силу ортогональности преобразования (4) случайные величины $Z_1, Z_2, \ldots, Z_N$ независимы и распределены нормально с общей дисперсией σ^2 и средними $\mathbf{E}\left(\mathbf{Z}_i\right) = \eta_i$ при $i = 1, 2, \ldots, m_1$ и $\mathbf{E}\left(\mathbf{Z}_i\right) = 0$ при $i = m_1 + 1, m_1 + 2, \ldots, N$. Таким образом, задача сводится к проверке гипотезы H: $\eta_1 = \eta_2 = \cdots = \eta_{m_1 - m_2} = 0$ (сигнала нет) против альтернативы K: хотя бы одно из значений $\eta_i \neq 0, \quad i = 1, 2, \ldots, m_1 - m_2$ (сигнал есть). Применяя метод отношения правдоподобия, приходим к РНМ инвариантному относительно трех групп преобразований G_1, G_2, G_3 решающему правилу вида [2]:

$$T\left(Z_1, Z_2, \ldots, Z_N \middle| H\right) = \frac{\sum_{i=1}^{m_1 - m_2} Z_i^2 \Big/ \left(m_1 - m_2\right)}{\sum_{i=m_1+1}^{N} Z_i^2 \Big/ \left(N - m_1\right)} > \gamma_\alpha, \tag{5}$$

при этом пороговое значение γ_α определяется из уравнения

$$\int_{\gamma_\alpha}^{\infty} F_{m_1-m_2,\,N-m_1}(y)\,dy = \alpha,$$

где α – вероятность ошибки 1-го рода; $F_{m_1-m_2,N-m_1}(y)$ – плотность центрального распределения вероятностей Фишера с (m_1-m_2) и $(N-m_1)$ степенями свободы. Функция $T\left(Z_1, Z_2, \ldots, Z_N \middle| H\right)$ называется статистикой решающего правила (5).

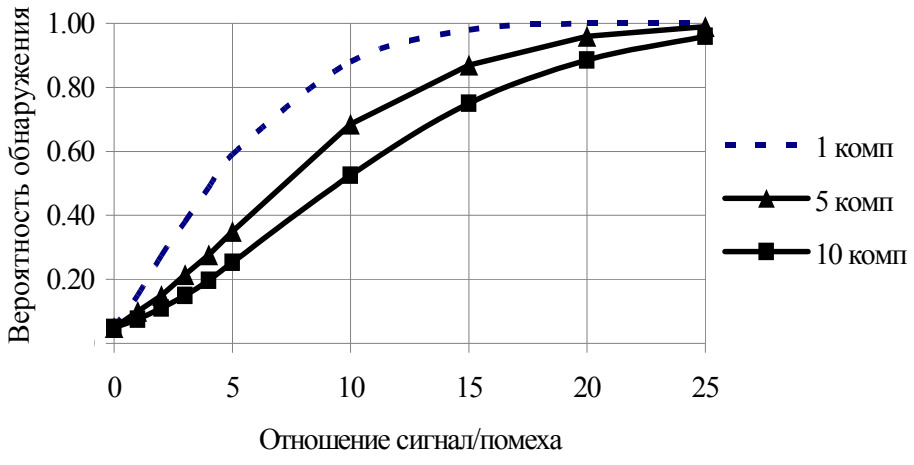
G_1 является группой изменений масштаба (коэффициента усиления сигнала): $Z_i' = cZ_i,\ c \neq 0,\ i = 1, 2, \ldots, N$; G_2 – группа сдвигов $Z_i' = Z_i + c_i,\ i = m_1 - m_2 + 1, \ldots, m_1$; $Z_i' = Z_i,\quad i = 1, 2, \ldots, m_1 - m_2, m_1 + 1, \ldots, N$; G_3 – группа ортогональных преобразований полезных параметров $Z_1, Z_2, \ldots, Z_{m_1-m_2}$.

Итак, синтезирован РНМ инвариантный алгоритм обнаружения многокомпонентного сигнала на фоне гауссовского шума с заданной корреляционной функцией и неизвестной дисперсией, т. е. оптимальный (равномерно наиболее мощный) алгоритм в классе алгоритмов, инвариантных к перечисленным группам мешающих преобразований. Эффективность алгоритма определяется величиной отношения сигнал/помеха и измеряется его функцией мощности, т. е. вероятностью обнаружения сигнала в шуме при различных отношениях сигнал/помеха λ^2:

$$P\left(T\left(Z_1, Z_2, \ldots, Z_N \middle| K\right) > \gamma_\alpha\right) = \int_{\gamma_\alpha}^{\infty} F_{m_1-m_2,\,N-m_1}\left(\lambda^2, y\right) dy, \qquad (6)$$

где $F_{m_1-m_2,\,N-m_1}\left(\lambda^2, y\right)$ – плотность нецентрального распределения вероятностей Фишера с (m_1-m_2) и $(N-m_1)$ степенями свободы и параметром нецентральности λ^2.

Параметр нецентральности определяется отношением энергий сигнала и помехи (шума). В рассматриваемом случае определим его так: $\lambda^2 = \sum_{i=1}^{m} \frac{a_i^2}{\sigma^2}$. При таком определении параметра λ^2 наблюдается инвариантность решающего правила (5) относительно ортогональных преобразований, не изменяющих общую энергию сигнала.



На рисунке в графической форме приведены результаты расчета эффективности синтезированного алгоритма в зависимости от количества компонент (1, 5, 10) в многокомпонентном сигнале. Соотношение (6) позволяет выполнить и другие виды расчетов, например получить зависимости эффективности от вероятности ложной тревоги и т. п.

Таким образом, в статье рассмотрены вопросы синтеза алгоритмов обнаружения многокомпонентного сигнала в шуме в условиях априорной неопределенности относительно параметров сигналов и помех при наличии мешающих параметров. Задача решена в классе инвариантных алгоритмов на основе метода отношения правдоподобия. Установлены оптимальные свойства синтезированных алгоритмов и выполнены расчеты эффективности при различных значениях параметров. В качестве частного случая рассмотрена задача обнаружения полигармонического сигнала с неизвестными параметрами в коррелированном гауссовском шуме при наличии мешающих преобразований амплитудного распределения энергии сигнала и фазовых сдвигов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандрикова О. В. Многокомпонентная модель геофизического сигнала // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион, Ростов-на-Дону. Сер. «Естественные науки». 2007. № 6. С. 47–50.

2. Леман Э. Проверка статистических гипотез. М.: Наука, 1964.

3. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973.

4. Scharf L. L., Lytle D. W. Signal detection in Gaussian noise of unknown level: an invariance application // IEEE Trans. On Inform. Theory. 1971. Vol. IT-17, № 4.

5. Алейнер Р. Ш., Лисс А. Р. Равномерно наиболее мощный инвариантный критерий обнаружения полигармонического сигнала // Вопросы судостроения. Сер. «Математические методы, программирование, эксплуатация ЭВМ» / ЦНИИ «Румб». 1974. Вып. 1(4). С. 3–6.

6. Дьяконов В. П. Вейвлеты: от теории к практике. М.: Солон-Р, 2002.

A. R. Liss

THE SYNTHESIS OF INVARIANT ALGORITHMS OF MANY-COMPONENT SIGNAL IN NOISE DETECTION IN THE PRESENCE NUISANCE'S PARAMETERS

The problem of synthesis of many-component signal in noise detection invariant algorithms in the presence nuisance's parameters is observed. The problem reduces to linear statistical hypothesis verification and solve in invariant algorithms class on basis of maximum likelihood method.

Invariant algorithm, many-component signal, polyharmonic signal, probability of false alarm, probability of detection, discrete Fourier transform

УДК 004.822

Аяд Абдулазиз Али Мохсен

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ САПР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассматривается организация web-ориентированной схемотехнической САПР, построенной на основе системы Design Lab. Приводится описание архитектуры системы WSpice, предназначенной для работы в Интернете. Рассматривается пример применения системы для дистанционного выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Проблемно-ориентированные диалоговые системы» и «Микросхемотехника».

Автоматизированное проектирование, web-ориентированные САПР, дистанционное обучение

При дистанционном обучении могут использоваться разнообразные методы передачи учебной информации. Уже сменилось несколько поколений используемых технологий – от традиционных печатных изданий до самых современных компьютерных технологий (радио, телевидение, аудио/видеотрансляции, аудио/видеоконференции, E-Learning/online Learning, интер-

нет-конференции, интернет-трансляции). Многие крупные компании создают у себя в структуре центры дистанционного обучения, чтобы стандартизировать, удешевить и улучшить качество подготовки своего персонала [1].

Возможности выполнения практических и лабораторных работ на базе проблемно-ориентированных прикладных программных систем в Интернете значительно ограничены. Для эффективного использования подобных систем в процессе дистанционного обучения необходима разработка новой распределенной архитектуры системы с учетом разнесения программных модулей между web-сервером и клиентской рабочей станцией.

Рассмотрим возможные архитектуры подобных программ на примере системы автоматизированного проектирования (САПР) электронных схем. Традиционная архитектура САПР включает в себя отдельные подсистемы, написанные на процедурных или объектно-ориентированных языках программирования (C++, Visual C++, C#, Visual Basic, Delphi и т. д.), имеющих мощные средства для работы с матрицами, списками, очередями и другими объектами. Обмен данными между подсистемами обеспечивается следующими способами: через общую область памяти; через систему двоичных файлов; посредством специализированных языков описания (текстовые файлы). Наибольшее распространение среди разработчиков радиоэлектронной аппаратуры получила САПР Design Lab корпорации MicroSim [2]. Основу системы Design Lab составляет программа PSpice, которая является наиболее известной модификацией программы схемотехнического моделирования SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), разработанной в начале 70-х гг. XX в. в Калифорнийском университете г. Беркли. Она оказалась очень удачной и с тех пор интенсивно развивается и де-факто стала эталонной программой моделирования аналоговых устройств [3].

Для адаптации работы системы Design Lab в Интернете необходима разработка новой распределенной архитектуры САПР с разделением функций между клиентом и сервером так, чтобы добиться оптимальной производительности в условиях низкоскоростных каналов Интернета и лимитированных ресурсов web-серверов. Так, предварительную обработку и ввод данных, отправляемых серверу, имеет смысл выполнять на стороне клиента. Это позволит исключить, например, повторные передачи неправильно составленных схем. Графическое представление результатов запроса также стоит выполнять на стороне клиента, что существенно сократит объем данных, передаваемых по сети. Моделирование схемы и доступ к библиотекам параметров схемных компонентов целесообразно обеспечить за счет ресурсов сервера.

Для реализации клиентской активности в Интернете обычно применяют сценарии JavaScript, VB Script,VC#, аплеты Java и элементы управления ActiveX, встроенные в HTML-страницы. Активность на стороне сервера может быть реализована на основе технологии ASP.NET-страниц. При ее применении на web-сервере располагаются текстовые файлы с расширением asp.net, содержащие операторы языка HTML, и сценарии, составленные на языках JScript или VB Script или VC#.

Первая версия web-ориентированной САПР на основе Design Lab разработана на кафедре САПР СПбГЭТУ. Система включает в свой состав следующие загрузочные модули системы Design Lab и ASPX-страницы web-приложения:

Модули Design Lab.

Модуль Schematics. Создание схемы в программе Schematics начинается с размещения компонентов на поле чертежа принципиальной схемы. Для выбора схемного компонента необходимо выполнить команду меню Draw/Get New Part или нажать соответст-

вующую кнопку в палитре инструментов. Далее в раскрывшемся окне Part Browser Basic необходимо нажать кнопку Libraries (библиотеки) и в поле Library выбрать необходимую библиотеку, а в поле Part – нужный компонент. При нажатии кнопки Place (поместить компонент) или Place & Close (поместить и закрыть окно выбора компонентов) компонент размещается на схеме. Процесс формирования принципиальной схемы завершается выводом ее описания в файл для передачи в проектирующий модуль Pspice.

Модуль Pspice. Выходной файл формируется в процессе работы программы PSpice и включает в себя описание исследуемой схемы и директивы моделирования, передаваемые программой Schematics программе PSpice. При наличии опций Expand, Library, List, Node, Nomod в выходной файл включается подробное систематизированное описание схемы: список всех элементов, соединений, список моделей и их параметров, список всех директив. Далее следуют результаты моделирования в табличной форме. Кроме того для отображения результатов моделирования в графической форме создается файл в специальном формате с расширением <dat> [4].

Модуль Gnuplot. Это универсальная программа для вывода графической информации на экран, на принтер, в файл и на другие устройства. Gnuplot имеет версии для всех наиболее распространенных платформ (операционных систем). В качестве «терминала», т. е. устройства вывода, могут быть указаны: алфавитно-цифровой терминал; графический терминал (в Linux это терминал X-Windows); принтер; файл в одном из графических форматов ps, gif, jpg и т. д.[1]

Активные серверные страницы web-приложения.

Default.aspx-страница предназначена для запуска модуля Schematics и ввода описания схемы. На рис. 1 приведен пример использования в Интернете разработанной САПР WSpice при моделировании электронной схемы.

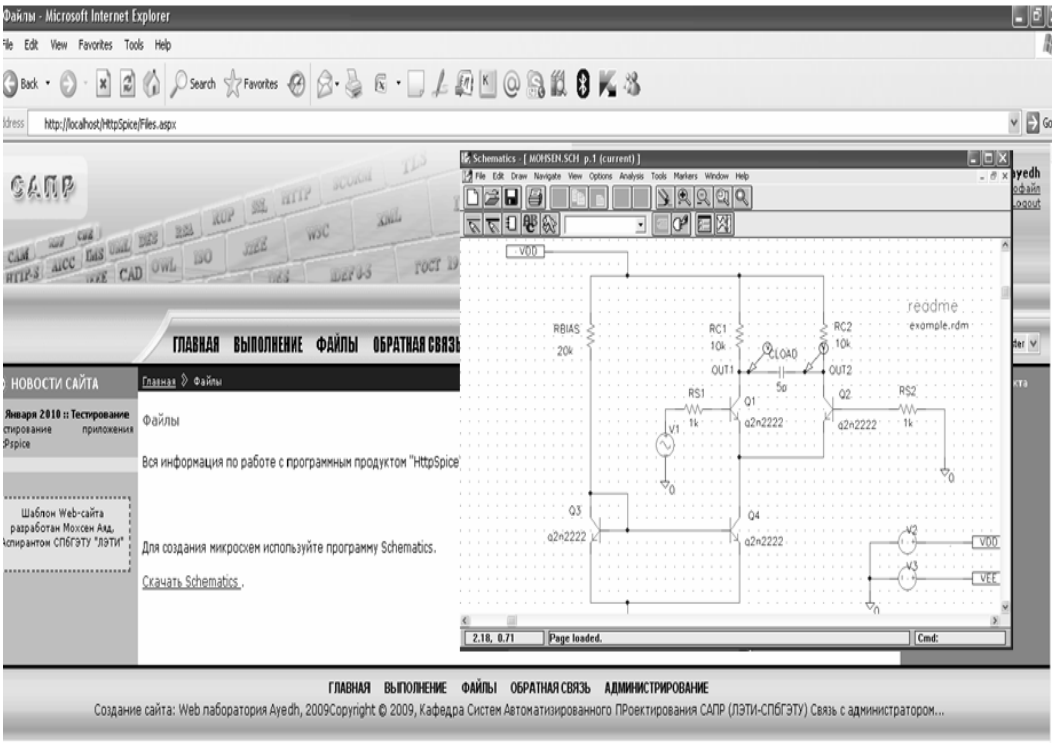
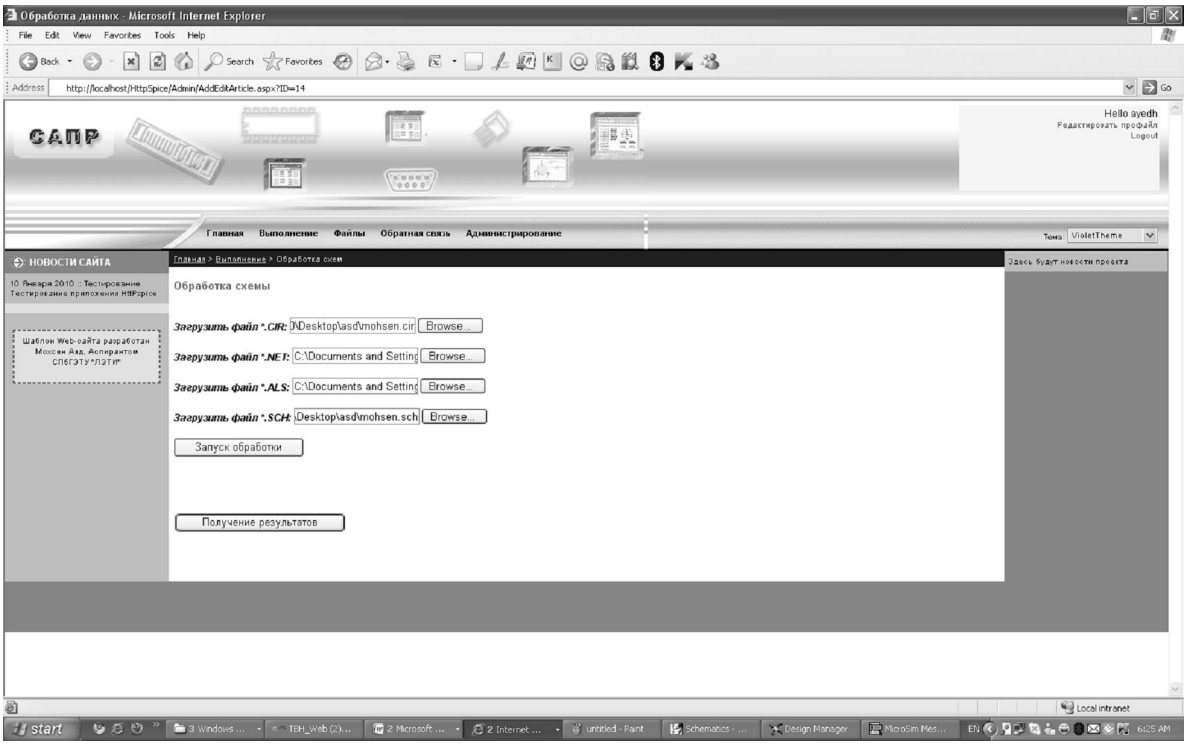
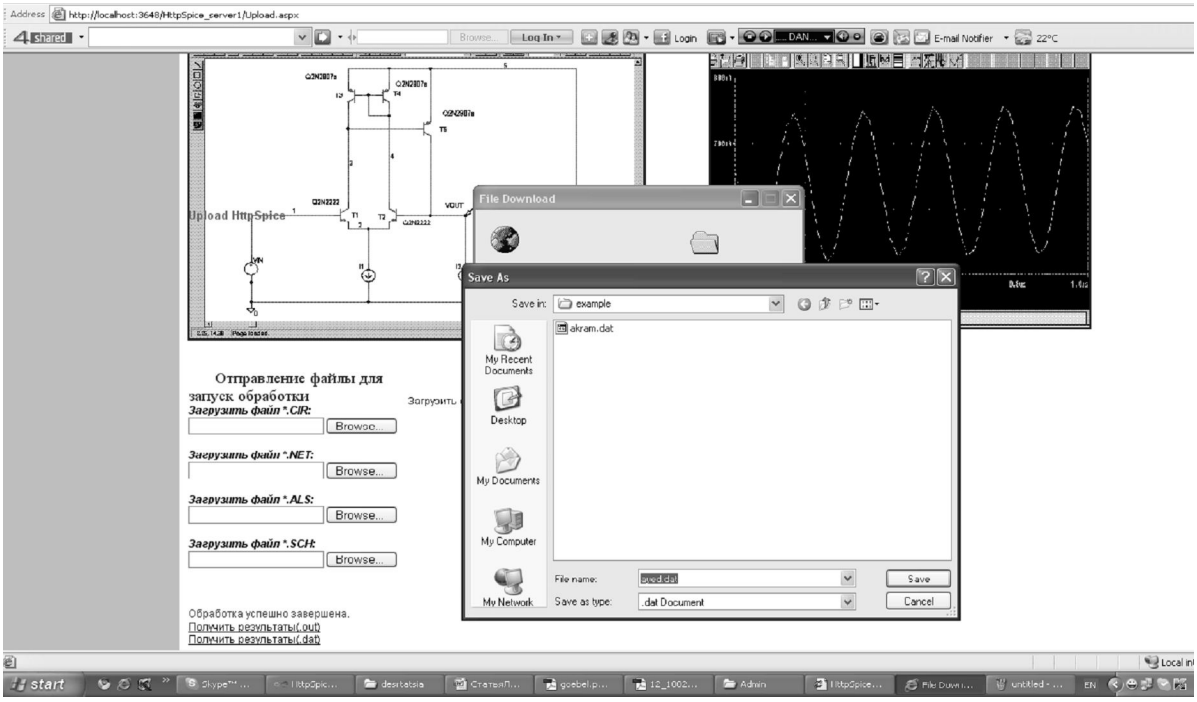


Рис. 1

[1] http://www.gnuplot.info.



а



б

Рис. 2

Upload.aspx-страница предназначена для передачи файлов с описанием схемы на web-сервер и запуска на сервере проектирующего модуля PSpice. После выполнения моделирования результаты можно загрузить на рабочую станцию с помощью кнопки «Получение результатов». Внешний вид страницы Upload.aspx при передаче файлов на сервер приведен на рис. 2, *а*. После выполнения расчетов результаты работы программы PSpice можно просмотреть в окне браузера (рис. 2, *б*).

Разработанная web-ориентированная САПР WSpice используется при проведении дистанционных лабораторных занятий по дисциплинам «Проблемно-ориентированные диалоговые системы» и «Микросхемотехника» в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению «Информатика и ВТ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sweet W., Geppert L. It has changed everything, especially our engineering thinking // IEEE Spectrum. 1997. January. P. 23–37.

2. SPICE-Based simulation Website: Aplication to Teaching of Power Electronics / L. Starzak, B. Swiercz, M. Zubert, A. Napieralsky // Proc. CADSM'2003. Lviv-Slavsko, Ukraine, 2003. P. 334–336.

3. Архангельский А. Я. PSpice и Design Center. Модели цифровых и аналого-цифровых устройств. Идентификация параметров моделей. Графические редакторы: Учеб. пособие. Ч. 2. М.: МИФИ, 1996.

4. Архангельский А. Я. , Савинова Т. А. Справочное пособие по PSpice и Design Center. М.: МИФИ, 1996.

A. A. A. Mohsen

USING THE WEB-BASED CAD SYSTEM FOR DISTANCE LEARNING

This article focuses on organizing Web-based schematic CAD, built on the basis of Design Lab. There is a description of the system architecture WSpice, designed to work on the Internet. There is an example of the system appliance for remote Implementation of laboratory works on the subjects “problem-oriented dialogue systems” and "Microcircuitry".

Computer-Aided Design, web-oriented CAD, distance learning

УДК 681.5

В. В. Путов, А. В. Путов,
Я. Н. Сколяров, В. Н. Шелудько

АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТОРМОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОЛЕС

Обсуждаются актуальность и задачи создания современных автоматически управляемых электромеханических систем торможения транспортных колес, предлагается общий способ построения таких устройств и описывается один важный пример его реализации, запатентованный авторами.

Электромеханическое устройство торможения, система автоматического управления торможением, силовой электромеханический каскад

Последнее десятилетие XX и начало XXI вв. отмечены значительным ростом аварийности наземного и воздушного транспорта как в России, так и во всем мире, особенно при торможении колесами в экстремальных погодных условиях. Все автотранспортные средства в экстремальных ситуациях применяют экстренное торможение и все воздушные суда гражданской и транспортной авиации на заключительном этапе посадки тормозят колесами, поэтому ливень, слякоть, лед, снег, изморозь вместе с загрязнением автодорожных и аэродромных покрытий резиновыми отложениями создают угрозу возникновения нештатных ситуаций или даже аварии транспортных средств при недостаточно эффективном торможении.

Обзор развития методов и техники систем торможения колес воздушных и наземных транспортных средств позволяют сформулировать следующие направления исследований в области создания автоматически управляемых систем торможения транспортных колес:

1. Современные системы торможения колесами транспортных средств должны быть выполнены на базе тормозных устройств, допускающих возможность управления режимами торможения (скольжением и тормозной силой) [1]–[7].

2. Применение электромеханических устройств торможения (ЭМУТ), выполненных на базе модуля «электрическая машина постоянного или переменного тока – транспортное колесо на независимой подвеске», наиболее целесообразно, так как электрическая машина как управляемый преобразователь механической энергии в электрическую и обратно является удобным объектом к гибкому применению средств автоматизации [8], [9].

3. Современная система торможения независимого транспортного колеса должна

● быть полностью автоматизированной;

● содержать встроенную автоматизированную подсистему непрерывного измерения коэффициента сцепления колеса с поверхностью покрытия;

● содержать независимые подсистемы автоматического управления скольжением и силой торможения;

● содержать подсистему автоматической адаптации к изменению коэффициента сцепления;

● содержать адаптивную автоматическую подсистему подавления нелинейных упругих деформаций пневматики и механических трансмиссий, инвариантную к неконтролируемым изменениям параметров и внешних возмущений ЭМУТ.

В этой статье рассмотрим вопросы построения управляемых электромеханических устройств торможения, не обсуждая за недостатком места методы построения их систем автоматического управления, о назначении которых уже говорилось.

Общий способ построения управляемых электромеханических устройств торможения. Обсудим построение наиболее общей схемы управляемого электромеханического устройства торможения (ЭМУТ) транспортного колеса на базе электрической машины с управляемым преобразователем энергии торможения.

Создание автоматически управляемого электромеханического устройства торможения с помощью кинематического присоединения управляемой электрической машины к транспортному колесу является, вообще говоря, развитием решений, предложенных, например, в патентах [6], [10]–[13], в которых используется электрическая машина постоянного тока с независимым возбуждением как тормозной генератор для транспортного колеса.

Рассмотрим наиболее общий способ торможения колес о поверхность. Он состоит в том, что транспортное колесо устройства, реализующего этот способ, нагружают нормальной к исследуемой поверхности силой $F_{\text{норм}}$ и вместе с эталонными (несущими) колесами катят по исследуемой поверхности с постоянной поступательной скоростью $v_{\text{лин}}$, причем эталонные колеса катятся без скольжения, а на транспортном колесе создают момент торможения с помощью кинематически присоединенной к нему управляемой электрической машины любого типа, работающей в режиме тормозного генератора. При этом очевидно, что мощность торможения $F_{\text{норм}}\ v_{\text{лин}}$ транспортного колеса, а также все потери мощности буксировки покрываются транспортным средством (ТС). На рис. 1 показана обобщенная функциональная схема автоматически управляемого ЭМУТ, включающая транспортное средство; прицеп с несущими (эталонными) колесами (НК); транспортное колесо (ТК) на независимой подвеске, нагружаемое силой $F_{\text{норм}}$; электрическую машину – тормозной генератор (ТГ), соединенный с транспортным колесом посредством редуктора (или цепной передачи) (Ред); блок преобразования мощности торможения БПТ и систему автоматического управления (САУ) скольжением (S) и (или) тормозной силой $F_{\text{торм}}$. Здесь обозначены: $v_{\text{лин}}$ – линейная скорость, с которой движется транспортное средство; $F_{\text{торм}}$ – продольная сила торможения, приложенная к транспортному колесу в точке контакта с исследуемой поверхностью; $\omega_{\text{НК}}$ и $\omega_{\text{ТК}}$ – угловые скорости эталонного и транспортного колес соответственно; $u^0_{S(F)}(t)$ – сигнал задания желаемой функции скольжения $S^0(t)$ или силы

$F^0_{\text{торм}}(t)$; t – время (независимая переменная); $u_{\text{у}}$ – управление, вырабатываемое САУ; $R_{\text{НК}}, R_{\text{ТК}}$ – радиусы НК и ТК соответственно, вычисленные с учетом деформации герметиков колес. Кроме того, ЭМУТ содержит датчики $\text{ДС}_{\text{НК}}$ и $\text{ДС}_{\text{ТК}}$ угловых скоростей вращения НК и ТК, причем сигнал задания, выходы датчиков угловых скоростей и выход БПТ подключаются ко входам САУ, а выход САУ соединяется со входом БПТ.

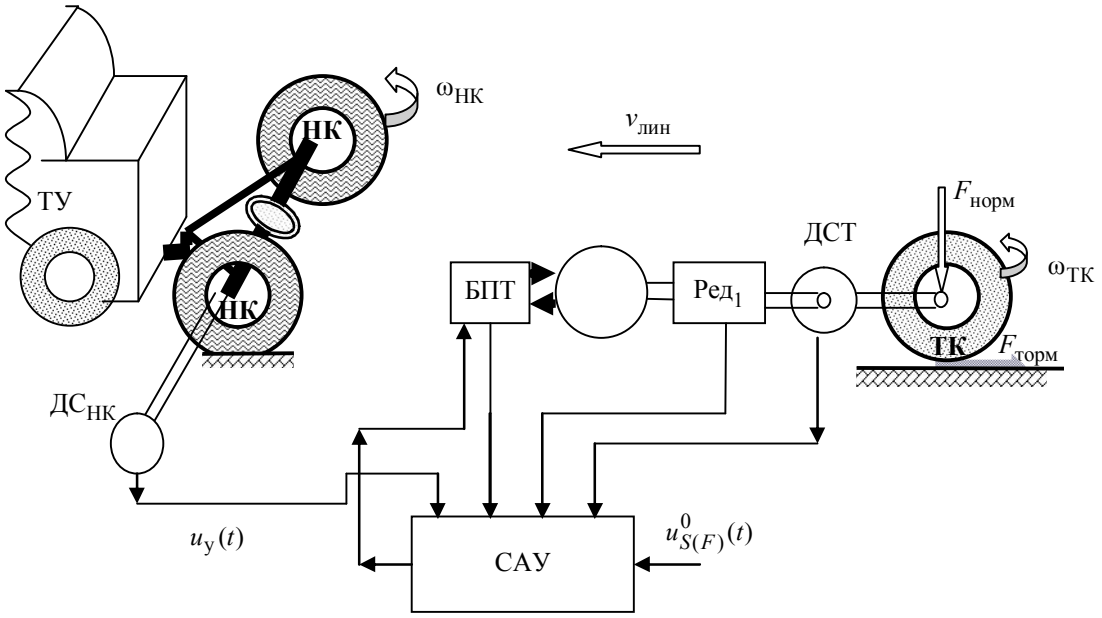


Рис. 1

Обсудим основные обобщающие признаки рассматриваемого способа непрерывного торможения ТК с помощью управляемого электромеханического устройства торможения ЭМУТ:

● не уточняется вид и род тока электрической машины (в отличие, например, от известных разработок, защищенных патентами [4], [5], [2], где указывается конкретный вид электрической машины постоянного тока с независимым возбуждением). Это обобщает рассматриваемый способ, так как в нем главным главным требованием, предъявляемым к электрической машине, является обеспечение генераторного режима ее работы при значениях скольжения $0 < S \le 1$;

● не конкретизировано исполнение блока преобразования мощности торможения БТП (в решениях [4], [5], например, он не предусматривался вовсе, а в решении [6] в качестве такого блока заявляется нагрузочный реостат, что означает, что электрическая машина может работать генератором только в режиме динамического торможения и вся мощность торможения расходуется на тепло);

● введена САУ скольжением (или силой торможения), но не раскрывается ее конкретная работоспособная структура (в решениях [4], [5] она не указывается вовсе, а в решении [2] введены вычислитель, пульт управления и регулятор напряжения, но из дальнейшего описания не ясно, как осуществляется управление динамическим торможением генератора постоянного тока;

● введены необходимые связи между блоками БПТ, САУ и электрической машиной, которые могут быть конкретизированы только тогда, когда будут раскрыты структуры блоков БПТ и САУ и будет уточнен выбор вида электрической машины.

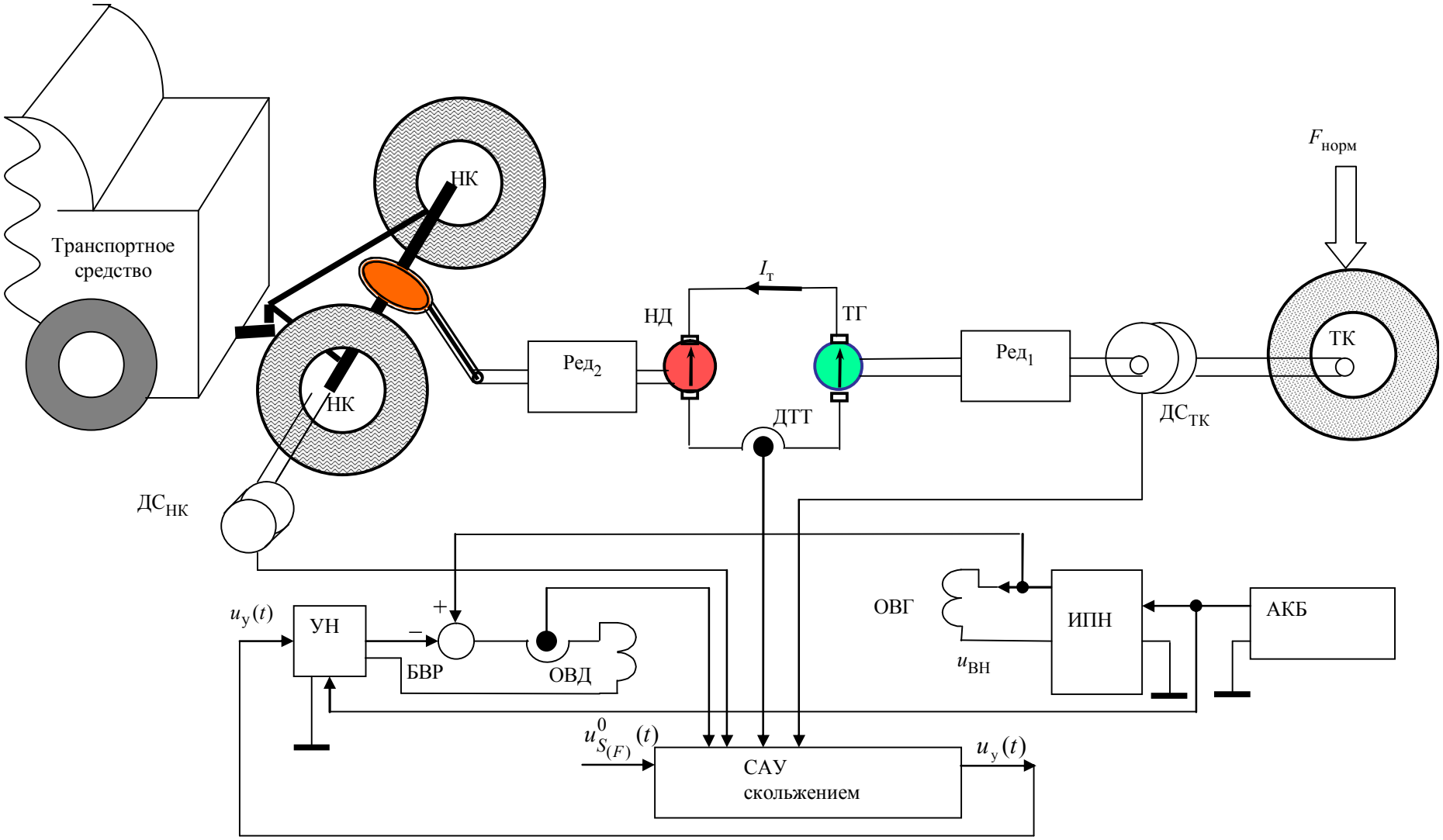

Транспортное средство
НК
НК
ДС$_{НК}$
Ред$_2$
НД
$I_т$
ТГ
ДТТ
Ред$_1$
ДС$_{ТК}$
ТК
$F_{норм}$
$u_у(t)$
УН
+
–
БВР
ОВД
ОВГ
$u_{ВН}$
ИПН
АКБ
$u^0_{S_{(F)}}(t)$
САУ
скольжением
$u_у(t)$

Рис. 2

Автоматически управляемое электромеханическое устройство торможения, выполненное на основе двух электрических машин постоянного тока, включенных по схеме электромеханического каскада взаимной нагрузки. Приведем пример устройства, реализующего общий способ торможения, рассмотренный в предыдущем пункте. Его функциональная схема показана на рис. 2 и отличается от рис. 1 тем, что тормозной генератор ТГ выполнен на базе электрической машины постоянного тока с постоянным возбуждением (или постоянными магнитами), блок преобразования мощности торможения БПТ выполнен в виде электрической машины постоянного тока с независимым возбуждением – нагрузочного двигателя НД, якорные цепи электрических машин ТГ и НД соединены встречно друг с другом, образуя силовой электромеханический каскад взаимной нагрузки, нагрузочный двигатель НД соединен через второй редуктор Ред_2 с осью несущих колес НК, а также введен датчик тока $I_{\text{т}}$ торможения якорей ДТТ электрических машин, датчик тока возбуждения ДТВ обмотки возбуждения ОВД нагрузочного двигателя НД, аккумуляторная батарея АКБ, инвертор постоянного напряжения ИПН, усилитель напряжения УН и блок вычисления разности сигналов БВР, причем выход АКБ соединен со входами блоков УН и ИПН, выход блока ИПН соединен со входом обмотки ОВГ возбуждения ТГ и с положительным входом БВР, отрицательный вход БВР соединен с выходом с выходом УН, выходы датчиков угловых скоростей $\text{ДС}_{\text{НК}}$ несущих колес и $\text{ДС}_{\text{ТК}}$ транспортного колеса, а также датчиков тока возбуждения ДТВ и тока торможения якорей ДТТ подключены ко входам системы автоматического управления САУ, на пятый вход САУ подается сигнал $u^0_{S(F)}(t)$ желаемой функции скольжения S или желаемой функции силы торможения $F_{\text{торм}}$ (в зависимости от исполнения САУ), а входной сигнал $u_{\text{у}}$ управления, вырабатываемый САУ, подается на вход УН [6].

Сущность предлагаемого устройства реализации способа торможения ТК состоит в следующем. Электромеханический каскад взаимной нагрузки позволяет, при правильно организованном управлении, механическую энергию торможения транспортного колеса, отбираемую тормозным генератором у транспортного средства и превращаемую в электрическую энергию, возвращать, за вычетом электрических и механических потерь, через нагрузочный двигатель транспортному средству, преобразуя ее при этом обратно из электрической в механическую. Таким образом, предлагаемая схема торможения транспортного колеса является энергосберегающей, так как для управления циркуляцией в электромеханическом каскаде мощности (энергии) торможения $F_{\text{торм}}\, v_{\text{лин}}$ во всех режимах торможения транспортного колеса расходуется только мощность потерь. Для управления током якорных цепей каскада, а значит, и электромагнитным моментом тормозного генератора, создающего силу торможения на соединенном с ним транспортном колесе, необходимо управлять одной из встречных ЭДС электрических машин каскада, а это возможно осуществить только с помощью изменения их потоков возбуждения. Поэтому одна из электрических машин постоянного тока должна быть выбрана с независимым возбуждением, т. е. с возможностью управлять напряжением и током обмотки возбуждения, а значит потоком и ЭДС этой машины. Выбор в качестве машины с независимым возбуждением в рассматриваемом устройстве нагрузочного двигателя НД не только предпочтительнее, но и единственно возможен, так как позволяет

поддерживать неизменным, равным номинальному, магнитный поток тормозного генератора, который в силу этого выбран с постоянным возбуждением.

Согласно теории электрических машин [8], электромагнитный момент $M_э$, развиваемый тормозным генератором, является функцией тока якорных цепей и магнитного потока вида

$$M_э = c_м I_т \Phi_{ТГ},$$

где $c_м$ – конструктивная постоянная электрической машины ТГ; $I_т$ – ток якорных цепей каскада; $\Phi_{ТГ}$ – магнитный поток ТГ. Если магнитный поток $\Phi_{ТГ}$ поддерживать постоянным и номинальным, что обеспечивается инвертором постоянного напряжения ИПН, который преобразует постоянное напряжение АКБ в номинальное напряжение обмотки возбуждения ОВГ тормозного генератора, то электромагнитный момент ТГ будет зависеть только от тока якорной цепи:

$$M_э = k_м I_т,\ k_м = c_м \Phi_{ТГ\,ном} = \text{const}.$$

Таким образом, сохранение постоянным и номинальным магнитного потока ТГ (или выбор в качестве ТГ машины с постоянными магнитами) создает предпосылки для использования при вычислении продольной силы торможения точный (класса 0, 1), надежный и долговечный датчик тока $I_т$.

Отличительной особенностью данного устройства, реализованного на базе двух электрических машин, является то, что оно может обеспечить режим торможения юзом (S = 1, 0). Это происходит следующим образом. При скольжении ТК, близком к единице, когда угловая скорость ТК и, следовательно, ЭДС, вырабатываемая ТГ, приближаются к нулю, разность ЭДС электрических машин $e_{ТГ} - e_{НД}$ уменьшается и при каком-то значении S значение $e_{ТГ}$ уже не может обеспечить требуемое по условиям торможения значение тока якоря $I_т$ даже при $e_{НД} = 0$. Поэтому для сохранения неизменного направления $I_т$, соответствующего работе ТГ в генераторном режиме, нагрузочный двигатель должен перейти также в генераторный режим, что обеспечивается переключением направления тока возбуждения $I_в$ обмотки возбуждения НД, осуществляемом автоматически с помощью САУ.

Отметим также другие возможные режимы описываемого устройства. В рамках данного устройства при условиях, когда обе электрические машины работают в генераторном режиме, можно управлять скольжением транспортного колеса при значениях скольжения $S > 1{,}0$, когда транспортное колесо раскручивается тормозным генератором в направлении, противоположном направлению его свободного качения.

В рамках рассматриваемого устройства возможно также осуществить режим управления скольжением транспортного колеса при значениях скольжения $S < 0$, когда транспортное колесо вращается в направлении его свободного качения, но с угловой скоростью, превышающей значение угловой скорости свободного качения. При этом ток якорной цепи должен изменить свое направление на противоположное, что возможно при выполнении неравенства $e_{НД} > e_{ТГ}$, и транспортное колесо будет не тормозить, а ускорять транспортное средство.

Таким образом, рассмотренное электромеханическое устройство торможения транспортного колеса, выполненное на базе двух электрических машин постоянного тока с неза-

висимым возбуждением, включенных по схеме электромеханического каскада взаимной нагрузки, принципиально позволяет обеспечить управление торможением транспортного колеса в трех диапазонах изменения скольжения: а $-0 \le S < 1$; б $-S < 0$ и в $-S \ge 1,0$.

В заключение отметим, что конкретизируя строение блока БПТ в обобщенной функциональной схеме ЭМУТ (см. рис. 1), можно рассмотреть и другие варианты устройств торможения, реализующих общий способ, с применением для реализации ТГ и БПТ машин как постоянного, так и переменного тока, а так же применяя в качестве БПТ управляемую реостатную нагрузку. При этом можно убедиться, рассматривая эти варианты электромеханических устройств управляемого торможения, что описанный выше двухмашинный электромеханический каскад взаимной нагрузки обладает наиболее широкими возможностями управления скольжением транспортного колеса в указанных выше диапазонах.

И, наконец, обратим внимание также на то, что при правильно построенных системах автоматического управления (САУ) рассмотренные электромеханические устройства торможения являются вполне работоспособными. Однако варианты структур САУ, реализующих функции, перечисленные в начале статьи, здесь не рассматриваются как в силу недостатка места, так и по условиям их предстоящего патентования.

Результаты работы получены в рамках выполнения проекта по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. РФ № 2134415, МПК 6 G 01 N 19/02 / В. Г. Транквиллевский, С. Е. Аргунов, Ю. Н. Шишкин. Устройство для измерения коэффициента сцепления аэродромного и дорожного покрытий; Опубл. 10.08.99.

2. Пат. РФ № 2259569, МПК 7 G 01 P 15/08 / А. В. Низовой, Н. И. Луканов. Устройство для определения коэффициента сцепления колеса с аэродромным покрытием; Опубл. 27.08.05.

3. Пат. 4 098 111 США G 01 N 19/02 / Hardmark et al. Roadway friction measuring method and apparatus. Опубл. 04.07.78.

4. А. с. СССР № 1516898, МПК 4 G 01 № 9/02 / В. И. Миронов, Я. С. Сегал. Способ определения коэффициента сцепления колес с поверхностью; Опубл. 23.10.89.

5. А. с. РФ № 2006397, МПК 5 B 60 T 17/18 / С. С. Близниченко, И. В. Назаренко, С. Н. Журавлева. Способ определения коэффициента сцепления колес транспортного средства с дорожным покрытием при торможении в режиме антиблокировки; Опубл. 30.01.94.

6. Пат. РФ № 2369856. / В. В. Путов, А. В. Путов, В. Е. Хильченко. Устройство измерения коэффициента сцепления колеса с поверхностью аэродромных и дорожных покрытий.

7. Пат. РФ № 1460640 / В. В. Путов, Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов и др. Автоматический стенд для испытаний трансмиссий вертолетов; Опубл. 15.06.93.

8. Кочубиевский И. Л. Системы нагружения для исследования и испытания машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1985. 221 с.

9. Коськин Ю. П., Путов В. В. Проблемы и перспективы развития электромеханотроники // Мехатроника. № 5. 2000. С. 5–9.

V. V. Putov, A. V. Putov, Y. N. Skolyarov, V. N. Sheludko

THE AUTOMATICALLY CONTROLLED ELECTROMECHANICAL BRAKE DEVICES VEHICLE WHEELS

Discuss the relevance and objectives of a modern automatically controlled electromechanical brake systems, vehicle wheels a general method for constructing such devices, and describes one important example of its implementation, patented authors.

Electromechanical braking devices, automatic control system braking, electromechanical cascade

УДК 621.313.333.001.24

М. А. Ваганов, Д. С. Пантюхов

МАКСИМУМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КПД АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Разработка математической модели проектирования асинхронного двигателя, обеспечивающей наилучшее использование активных материалов при его работе с максимальным энергетическим КПД за счет выбора оптимальных значений магнитных индукций на участках магнитной системы.

Использование активных материалов, относительный диаметр расточки статора, максимальный энергетический КПД, магнитные индукции на участках магнитной системы двигателя

В [1] показано, что в асинхронных двигателях всегда существует оптимальное значение диаметра расточки статора, обеспечивающее наилучшее использование активных материалов двигателя по электромагнитному моменту. Относительная величина этого оптимального значения $D_{1_m^*}$ диаметра расточки статора D_{1*} определяется функцией F_{M*} из [1]

$$F_{M*} = \frac{D_{1*}^4 l_{1*}^2 B_\delta^2 \sqrt{k_{п_1} k_{п_2}}}{p\sqrt{\left(k_{л_1} l_{1*} + k_{\beta_1}\frac{D_{1*}}{p}\right)\left(l_{1*} + \frac{\pi D_{1*} k_j}{z_2 \sin(\pi p / z_2)}\right)}}.$$

В состав выражения F_{M*} входят две величины $k_{п_1}$ и $k_{п_2}$, зависящие от геометрии зубцовых зон статора и ротора. Так, например, для $k_{п_1}$ при овальных пазах статора имеем следующую систему выражений

$$k_{п_1} = \frac{1}{4}(k_{с.з_1} k'_{z_1} + k_{ш.з_1} k''_{z_1});$$

$$k_{с.з_1} = \left(\frac{1}{D_{1*}} - \frac{B_\delta}{p k_с B_{с_1}}\right)\sin\frac{\pi}{z_1} - \frac{\pi}{z_1}\frac{B_\delta}{k_с B_{з_1}};$$

$$k_{ш.з_1} = \left(1 + 2h_{ш*_1}\right)\sin\frac{\pi}{z_1} - \frac{\pi}{z_1}\frac{B_\delta}{k_с B_{з_1}}; \qquad (1)$$

$$k'_{z_1} = z_1 \frac{\pi/2\,(1+2/z_1) + \operatorname{ctg}(\pi/z_1)}{1+\sin(\pi/z_1)^2};$$

$$h_{\text{ш}*_1} = \frac{h_{\text{ш}_1}}{D_{1_\text{н}}},$$

где $h_{\text{ш}*_1}$ – относительная высота шлица паза статора; $k_\text{с}$ – коэффициент заполнения пакета статора сталью; $B_{\text{з}_1}$ и $B_{\text{с}_1}$ – магнитные индукции в зубцах и сердечнике статора.

Аналогичной системой выражений определяется и величина $k_{\text{п}_2}$ для овальных пазов ротора [2].

В состав выражения для $k_{\text{п}_1}$ входят магнитные индукции в зубцах статора $B_{\text{з}_1}$ и в сердечнике статора $B_{\text{с}_1}$, а в составе выражения для $k_{\text{п}_2}$ имеем магнитные индукции в зубцах ротора $B_{\text{з}_2}$ и в сердечнике статора $B_{\text{с}_2}$. Эти четыре магнитные индукции определяют оптимальные значения D_{1*_m} и B_{δ_m}, при которых функция F_{M*} достигает наибольшей величины F_{M*_max}, определяющей наилучшее использование активных материалов двигателя. При этом увеличение значений перечисленных магнитных индукций сопровождается возрастанием F_{M*_max}, а значит, и дальнейшим повышением степени использования активных материалов. При изменении магнитных индукций на участках магнитной системы величины $D_{1_m^*}$ и B_{δ_m} практически остаются постоянными и, следовательно, МДС воздушного зазора F_δ при фиксированном значении δ также будет оставаться постоянной. При этих условиях увеличение магнитных индукций $B_{\text{з}_1}$, $B_{\text{с}_1}$, $B_{\text{з}_2}$, $B_{\text{с}_2}$ приведет к возрастанию МДС соответствующих участков магнитной системы двигателя и, как следствие этого, к снижению коэффициента мощности двигателя из-за повышения реактивной составляющей тока холостого хода. С другой стороны, при увеличении магнитных индукций возрастут магнитные потери в стали магнитной системы и электрические потери в обмотке статора, т. е. возрастут потери холостого хода, что приведет к снижению КПД двигателя. В результате получаем некоторую неопределенность в выборе значений магнитных индукций на участках магнитной системы двигателя. При этом следует иметь в виду, что увеличение значений магнитных индукций $B_{\text{з}_1}$, $B_{\text{с}_1}$, $B_{\text{з}_2}$, $B_{\text{с}_2}$ сопровождается повышением электромагнитного момента двигателя и, соответственно, улучшением использования активных материалов двигателя, но в то же время снижается коэффициент мощности двигателя и возрастают потери холостого хода, обусловливая понижение КПД двигателя.

Можно предположить, что существуют такие значения магнитных индукций $B_{\text{з}_1}$, $B_{\text{с}_1}$, $B_{\text{з}_2}$, $B_{\text{с}_2}$, при которых энергетический КПД двигателя $\eta\cos\varphi_1$ имеет максимум $(\eta\cos\varphi_1)_\text{max}$. Составим выражение, определяющее этот технический показатель качества асинхронного двигателя.

Введем обозначения: M_2 – полезный механический момент на валу двигателя; $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$ – синхронная скорость вращения; s – скольжение ротора; $\omega_2 = \omega_1(1-s)$ – угло-

вая скорость вращения ротора; m_1 – число фаз обмотки статора; U_1 – фазное напряжение; I_1 – фазный ток. С учетом этих обозначений полезная механическая мощность на валу двигателя $P_2 = M_2\,\omega_2$ и потребляемая из сети активная мощность $P_1 = m_1\,U_1\,I_1\cos\varphi_1$. Тогда для энергетического КПД двигателя получим выражение

$$\eta\cos\varphi_1 = \frac{P_2}{P_1}\cos\varphi_1 = \frac{M_2\omega_2}{m_1U_1I_1} = \frac{M_2\omega_1(1-s)}{m_1U_1I_1}. \qquad (2)$$

В соответствии с энергетической диаграммой $M_{\text{ЭМ}} = k_{\text{мх}}M_2$, где $k_{\text{мх}} = 1.02\ldots1.05$ – коэффициент, учитывающий механические потери в двигателе. И тогда выражение (2) примет вид

$$\eta\cos\varphi_1 = \frac{\omega_1(1-s)}{m_1k_{\text{мх}}U_1}\frac{M_{\text{ЭМ}}}{I_1}. \qquad (3)$$

Ток обмотки статора I_1 по Г-образной схеме замещения асинхронной машины определяется выражением

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_m} - \frac{\dot{U}_1}{\dot{c}_1\left(z_1 + \dot{c}_1 z'_{2_s}\right)}, \qquad (4)$$

$$z_1 = r_1 + j\,x_1,\ \ z'_{2_s} = r'_2/s + j\,x'_2,\ \ z_m = r_m + j\,x_m,\ \ \dot{c}_1 = 1 + z_1/z_m,$$

где r_1, x_1, z_1 – активное, индуктивное и полное сопротивления фазы обмотки статора; r'_2, x'_2, z'_{2_s} – активное, индуктивное и полное сопротивления фазы обмотки вращающегося со скольжением s ротора; r_m, x_m, z_m – активное (обусловленное магнитными потерями в стали магнитной системы), индуктивное (сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора) и полное сопротивления ветви намагничивания Т-образной схемы замещения асинхронной машины; $\dot{c}_1$ – комплексный коэффициент, учитывающий падение напряжения на сопротивлении обмотки статора z_1.

В выражении (4) первое слагаемое в правой части определяет ток обмотки статора $\dot{I}_{00}$ при идеальном холостом ходе асинхронного двигателя, а второе слагаемое характеризует привед енный ток $\dot{I}''_2$ обмотки ротора по Г-образной схеме замещения. Ток $\dot{I}_{00}$ является практически индуктивным и существенно влияет на величину коэффициента мощности двигателя. Для общепромышленных асинхронных двигателей справедливы соотношения: r_1, x_1, r_m, $x'_2 << x_m$ и $\dot{c}_1 \approx \tilde{n}_1 = 1 + x_1/x_m = 1.02\ldots1.12$. При этих условиях выражение (4) примет вид

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{jx_m} + \frac{\dot{U}_1}{c_1^2 r'_2}s. \qquad (4)$$

Из выражения (5) можно определить действующее значение фазного тока обмотки статора

$$I_1 = U_1 \sqrt{\frac{s^2}{\left(c_1^2 r_2'\right)^2} + \frac{1}{x_m^2}}\,. \qquad (6)$$

Индуктивное сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора определяется выражением

$$x_m = 2\ \mu_0\ m_1\ f_1\ \frac{D_1 l_1}{\delta k_\delta k_\text{н}}\ \frac{(k_{\text{об}_1} W_1)^2}{p^2}, \qquad (7)$$

$$k_\delta = k_{\delta_1}\ k_{\delta_2},\quad k_{\delta_1} = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{\text{з}_1} + 10\delta},\quad k_{\delta_2} = \frac{t_2 + 10\delta}{b_{\text{з}_2} + 10\delta},\quad t_1 = \frac{\pi D_1}{z_1},\quad t_2 = \frac{\pi D_2}{z_2},$$

$$k_\text{н} = 1 + \frac{F_\text{ст}}{F_\delta},$$

где $\mu_0 = 4\ \pi\ 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума; f_1 – частота тока в обмотке статора; δ – односторонний воздушный зазор; W_1 – число последовательно соединенных витков фазы обмотки статора; $k_{\text{об}_1}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора; ∂ – число пар полюсов двигателя; k_{δ_1} и k_{δ_2} – коэффициенты воздушного зазора со стороны статора и ротора; k_δ – коэффициент воздушного зазора двигателя; t_1, t_2 – зубцовые деления статора и ротора; $b_{\text{з}_1}$, $b_{\text{з}_2}$ – ширина зубцов статора и ротора; z_1, z_2 – число зубцов статора и ротора; $k_\text{н}$ – коэффициент насыщения магнитной системы; $F_\text{ст}$ – падение магнитного потенциала в стальных участках магнитной цепи; F_δ – МДС воздушного зазора.

Увеличение магнитных индукций $B_{\text{з}_1}$, $B_{\text{с}_1}$, $B_{\text{з}_2}$, $B_{\text{с}_2}$ будет сопровождаться возрастанием МДС $F_\text{ст}$ и, следовательно, вызовет повышение коэффициента насыщения магнитной системы $k_\text{н}$, снижение величины сопротивления x_m и увеличение тока $\dot{I}_{00}$, а значит, и тока I_1.

Ширина зубцов статора и ротора определяется выражениями

$$b_{\text{з}_1} = t_1\ \frac{B_\delta}{B_{\text{з}_1} k_{\text{с}_1}},\ b_{\text{ç}_2} = t_2\ \frac{B_\delta}{B_{\text{з}_2} k_{\text{с}_2}},$$

где $k_{\text{с}_1}$, $k_{\text{с}_2}$ – коэффициенты заполнения пакетов стали статора и ротора сталью.

Для расчета МДС воздушного зазора F_δ воспользуемся выражением

$$F_\delta = 1.6\ B_\delta\ \delta\ k_\delta.$$

Падение магнитного потенциала в стальных участках магнитной системы $F_\text{ст}$ представляет собой сумму МДС станины $F_{\text{с}_1}$, зубцов статора $F_{\text{з}_1}$, зубцов ротора $F_{\text{з}_2}$ и сердечника ротора $F_{\text{с}_2}$

$$F_\text{ст} = F_{\text{с}_1} + F_{\text{з}_1} + F_{\text{з}_2} + F_{\text{с}_2},$$

$$F_{c_1} = H_{c_1}\, L_{c_1},\ L_{c_1} = \pi\left(D_{1_н} - h_{c_1}\right)/4\,p,\ F_{з_1} = 2\,H_{з_1}\,h_{з_1},\ F_{з_2} = 2\,H_{з_2}\,h_{з_2},\ F_{c_2} = H_{c_2}\,L_{c_2},$$

$$L_{c_2} = \pi\left(D_2 + h_{c_2} + 4d_{к_2}/3\right),$$

где H_{c_1}, $H_{з_1}$, $H_{з_2}$, H_{c_2} – напряженности магнитного поля в сердечнике и зубцах якоря, в сердечнике и зубцах ротора; L_{c_1}, $2\,h_{з_1}$, L_{c_2}, $2\,h_{з_2}$ – длины путей магнитных потоков в сердечнике и зубцах статора, в сердечнике и зубцах ротора; $d_{к_2}$ – диаметр аксиальных вентиляционных каналов в пакете стали ротора.

Действительное активное сопротивление фазы обмотки ротора r_2 складывается из активного сопротивления r_c стержня и приведенных к нему сопротивлений двух сегментов короткозамыкающих колец $r_{кл}$, так что

$$r_2 = r_c + \frac{r_{кл}}{2\sin^2\left(\pi p/z_2\right)},\ r_c = \frac{l_c}{\gamma_c q_c} = \frac{l_c}{\gamma_c q_{п_2} k_{г_2}},\ r_{кл} = \frac{\pi D_{кл_{ср}}}{\gamma_c z_2 q_{кл}}, \tag{8}$$

$$D_{кл_{ср}} = D_{2_і} - h_{кл},\ h_{кл} = 1.18\,h_{п_2},\ q_{кл} = \frac{q_c}{2\sin\left(\pi p/z_2\right)},\ D_{2_і} = D_1 - 2\delta, \tag{9}$$

где l_c – длина стержня беличьей клетки; γ_c – удельная электропроводность материала стержня; q_c – сечение стержня; $q_{п_2}$ – сечение паза ротора; $k_{г_2}$ – коэффициент заполнения паза ротора материалом стержня; $D_{кл_{ср}}$ – средний диаметр короткозамыкающего кольца беличьей клетки; $q_{кл}$ – сечение короткозамыкающего кольца беличьей клетки; $D_{2_н}$ – наружный диаметр ротора; $h_{кл}$ – высота короткозамыкающего кольца; $h_{п_2}$ – высота паза ротора.

Так как длина стержня беличьей клетки $l_c = l_1$, т. е. равна длине пакета стали ротора, то с учетом (8) и (9) действительное активное сопротивление фазы обмотки ротора r_2 при рабочей температуре ϑ_2 будет определяться выражением

$$r_{2_\vartheta} = r_2\,k_\vartheta = \frac{k_{\vartheta_2}}{\gamma_c q_{п_2} k_{г_2}}\left(l_2 + \frac{\pi D_{кл_{ср}}}{z_2\sin\left(\pi p/z_2\right)}\right), \tag{18}$$

где k_{ϑ_2} – температурный коэффициент сопротивления материала обмотки ротора.

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к числу витков и фаз обмотки статора,

$$r'_{2_\vartheta} = r_{2_\vartheta}\,\frac{4m_1(W_1 k_{об_1})^2}{z_2} = \frac{4m_1(W_1 k_{об_1})^2}{z_2}\,\frac{k_{\vartheta_2}}{\gamma_c q_{п_2} k_{г_2}}\left(l_2 + \frac{\pi D_{кл_{ср}}}{z_2\sin\left(\pi p/z_2\right)}\right). \tag{10}$$

Суммарная площадь пазов ротора

$$Q_{і\,2} = q_{п_2} z_2 = k_{п_2}(D_1 - 2\delta)^2. \tag{11}$$

Подставляя (11) в (10), получим

$$r'_{2\vartheta} = 4m_1\left(W_1 k_{об_1}\right)^2 \frac{k_\vartheta}{\gamma_c k_{п_2}(D_1 - 2\delta)^2 k_{г_2}}\left(l_2 + \frac{\pi D_{кл_{ср}}}{z_2 \sin\left(\pi p / z_2\right)}\right). \qquad (12)$$

Высота овального паза ротора в соответствии с [2]

$$h_{п_2} = r_{2_1} + r_{2_2} + h_{ц_2},\ \ h_{ц_2} = \left(r_{2_1} - r_{2_2}\right)\Big/\sin\left(\pi/z_2\right),$$

$$r_{2_1} = \frac{\left(\frac{(D_1 - 2\delta)}{2} - h_{ш_2}\right)\sin\left(\pi/z_2\right) - \frac{b_{з_2}}{2}}{1 + \sin\left(\pi/z_2\right)}, \qquad (13)$$

$$r_{2_2} = \frac{\left(\frac{D_2}{2} + h_{c_2}\right)\sin\left(\pi/z_2\right) - \frac{b_{з_2}}{2}}{1 - \sin\left(\pi/z_2\right)}. \qquad (14)$$

Разделим левые и правые части (13) и (14) на $D_{1_н}$ и в результате получим значения радиусов верхней и нижней полуокружностей овального паза r_{2_1} и r_{2_2} в относительных единицах и, соответственно, $h_{п_2}$ и $h_{ц_2}$ также в относительных единицах

$$r_{2*_1} = \frac{\left(\frac{D_{1*} - 2\delta_*}{2} - h_{ш*_2}\right)\sin\left(\pi/z_2\right) - \frac{b_{з*_2}}{2}}{1 + \sin\left(\pi/z_2\right)},\ r_{2*_2} = \frac{\left(\frac{D_{2*}}{2} + h_{c*_2}\right)\sin\left(\pi/z_2\right) - \frac{b_{з*_2}}{2}}{1 - \sin\left(\pi/z_2\right)},$$

$$h_{ц*_2} = \left(r_{2*_1} - r_{2*_2}\right)\Big/\sin\left(\pi/z_2\right),\ \ h_{п*_2} = r_{2*_1} + r_{2*_2} + h_{ц*_2}. \qquad (15)$$

Средний диаметр короткозамыкающего кольца в относительных единицах с учетом выражений (15)

$$D_{кл*_{ср}} = D_{1*} - 1.18\ h_{п*_2}.$$

Принимая во внимание выполненные преобразования, запишем выражение (12) в следующем виде:

$$r'_{2\vartheta} = 4m_1\left(W_1 k_{об_1}\right)^2 \frac{k_{\vartheta_2}}{\gamma_c k_{п_2} D_{1_н}(D_{1*} - 2\delta_*)^2 k_{г_2}}\left(l_{2*} + \frac{\pi D_{кл*_{ср}}}{z_2 \sin\left(\pi p / z_2\right)}\right). \qquad (16)$$

В правой части выражения (7) все величины, определяющие линейные размеры D_1, l_1 и δ, запишем также в относительных единицах

$$x_m = 2\ \mu_0\ m_1\ f_1\ \frac{D_{1_н} D_{1*} l_{1*}}{\delta_* k_\delta k_н}\ \frac{(k_{об_1} W_1)^2}{p^2}. \qquad (17)$$

В выражениях (16) и (17) введем обозначения

$$k_{r_x} = 2\ m_1\left(W_1 k_{об_1}\right)^2, \qquad (18)$$

$$k_{r_1} = \frac{2k_{\vartheta_2}}{\gamma_c k_{г_2}},\ \ k_{r_2} = \frac{1}{k_{п_2} D_{l_н} (D_{1*} - 2\delta_*)^2}\left(l_{2*} + \frac{\pi D_{кл*_{ср}}}{z_2 \sin(\pi p / z_2)}\right), \tag{19}$$

$$k_{x_1} = \frac{\mu_0 f_1}{p^2},\ \ k_{x_2} = \frac{D_{l_н} D_{1*} l_{1*}}{\delta_* k_\delta k_н}, \tag{20}$$

и тогда выражения (16) и (17) примут вид

$$r'_{2\vartheta} = k_{r_x}\ k_{r_1}\ k_{r_2},\ \ x_m = k_{r_x}\ k_{x_1}. \tag{21}$$

Подставляя выражения (21) в (6), после преобразований получим следующее выражение для действующего значения тока обмотки статора

$$I_1 = \frac{U_1}{k_{r_x}} \sqrt{\frac{s^2}{\left(c_1^2 k_{r_1} k_{r_2}\right)^2} + \frac{1}{\left(k_{x_1} k_{x_2}\right)^2}}. \tag{22}$$

Для дальнейшего анализа воспользуемся выражением электромагнитного момента из [1]

$$M_{ЭМ} = k_F\ F_M\ F, \tag{23}$$

$$k_F = \frac{\pi f_1 k_{об_1} \sqrt{\gamma_1 \gamma_2 k_{г_1} k_{г_2}}}{4\sqrt{k_{\vartheta_1} k_{\vartheta_2}}},\ \ F = \frac{r'_2 s}{\left(r_1 s + c_1 r'_2\right)^2 + s^2 \left(x_1 + c_1 x'_2\right)^2} \sqrt{r_1 r'_2},$$

$$F_M = \frac{D_1^4 l_1^2 B_\delta^2 \sqrt{k_{п_1} k_{п_2}}}{p\sqrt{\left(k_{л_1} l_1 + k_{\beta_1} D_1 / p\right)\left(l_1 + \dfrac{\pi D_1 k_j}{z_2 \sin(\pi p / z_2)}\right)}}.$$

Подставляя (22) и (23) в (3), получим

$$\eta \cos\varphi_1 = \frac{\omega_1 (1 - s)}{m_1 k_{мх}} \frac{k_F F F_M}{\dfrac{U_1^2}{k_{r_x}} \sqrt{\dfrac{s^2}{\left(c_1^2 k_{r_1} k_{r_2}\right)^2} + \dfrac{1}{\left(k_{x_1} k_{x_2}\right)^2}}}. \tag{24}$$

В этом выражении преобразуем сомножитель $U_1^2 \big/ k_{r_x}$ с учетом (18) и

$$U_1 = \frac{\pi\sqrt{2} c_1 f_1}{p} B_\delta D_1 l_1 W_1 k_{об_1}.$$

В результате получим

$$U_1^2 / k_{r_x} = k_U^2\ (B_\delta D_{1*} l_{1*})^2,\ \ k_U^2 = \left(\frac{\pi\sqrt{2} c_1 f_1}{2 m_1 p^2} D_{l_н}\right)^2. \tag{25}$$

Подставим (25) в (24)

$$\eta\cos\varphi_1 = k_э\ F_э,\ \ k_э = \frac{\omega_1(1-s)}{m_1 k_{мх}}\ \frac{k_F F}{k_U^2},$$

$$F_э = \frac{F_M}{\sqrt{\dfrac{s^2}{(c_1^2 k_{r_1} k_{r_2})^2} + \dfrac{1}{(k_{x_1} k_{x_2})^2}}}\ \frac{1}{(B_\delta D_{1*} l_{1*})^2}. \qquad (26)$$

Функция $F_э$, определяемая выражением (26), позволяет оценить влияние магнитных индукций $B_{з_1}$, $B_{с_1}$, $B_{з_2}$, $B_{с_2}$ на энергетический КПД асинхронного двигателя.

Преобразуем знаменатель в выражении (26). В частности, предполагая, что $\delta_* << D_{1*}$, $D_{кл*_{ср}} = D_{1*}$, $l_{2*} = l_{1*}$, получим с учетом (19) и (20)

$$k_{r_1} k_{r_2} = \frac{2k_{э_2}}{\gamma_с k_{г_2}}\ \frac{l_{1*} + D_{1*}/p}{k_{п_2} D_{1_н} D_{1*}^2};\ k_{x_1} k_{x_2} = \frac{\mu_0 f_1}{p^2}\ \frac{D_{1_н} D_{1*} l_{1*}}{\delta_* k_\delta k_н}. \qquad (27)$$

И тогда при учете (27) выражение (26) примет вид

$$F_э = \frac{F_M D_{1_н}}{\sqrt{s^2\left(\dfrac{\gamma_с k_{г_2}}{2k_{э_2} c_1^2}\ \dfrac{k_{п_2} D_{1_н}^2 D_{1*}^2}{l_{1*} + D_{1*}/p}\right)^2 + \left(\dfrac{p^2 \delta_* k_\delta k_н}{\mu_0 f_1 D_{1*} l_{1*}}\right)^2}}\ \frac{1}{(B_\delta D_{1*} l_{1*})^2}. \qquad (28)$$

Для дальнейшего преобразования воспользуемся выражением для F_M из (33), и тогда

$$F_э = \frac{D_{1_н}^6 D_{1*}^2 \sqrt{k_{п_1} k_{п_2}}}{p\sqrt{\left(k_{л_1} l_{1*} + k_{\beta_1}\ \dfrac{D_{1*}}{p}\right)\left(l_{1*} + \dfrac{\pi D_{1*} k_j}{z_2 \sin(\pi p / z_2)}\right)}} \times$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{s^2\left(\dfrac{\gamma_с k_{г_2}}{2k_{э_2} c_1^2}\ \dfrac{k_{п_2} D_{1_н}^2 D_{1*}^2}{l_{1*} + D_{1*}/p}\right)^2 + \left(\dfrac{p^2}{\mu_0 f_1}\ \dfrac{\delta_* k_\delta k_н}{D_{1*} l_{1*}}\right)^2}}. \qquad (29)$$

В выражении (29) относительный воздушный зазор δ_* определяется следующими выражениями в зависимости от мощности двигателя и числа пар полюсов:

$P_2 \le 20$ кВт:

$$2p = 2 \text{ и } \delta_* = \left(\frac{0.3}{D_{1_н}} + 1.5 D_{1*}\right)10^{-3},\ \ 2p = 4,\ \ \delta_* = \left(\frac{0.25}{D_{1_н}} + D_{1*}\right)10^{-3};$$

$P_2 > 20$ кВт:

$$\delta_* = \frac{D_{1*}}{1.2}\left(1 + \frac{9}{2p}\right)10^{-3}.$$

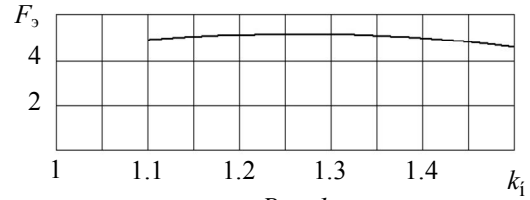


Рис. 1

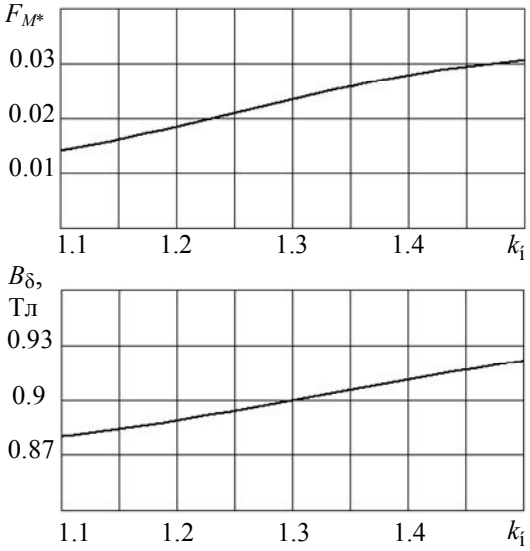


Рис. 2

На рис. 1 построен график зависимости функции $F_э$ от коэффициента насыщения $k_н$ для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором номинальной мощностью P_2 = 7.5 кВт, синхронной скоростью вращения n_2 = 1500 об/мин и номинальным линейным напряжением питания U_1 = 220 В. Для его построения значения четырех индукций увеличивались на одинаковую величину до значений, соответствующих коэффициенту насыщения 1.5. Как видно из графика, функция имеет слабо выраженный максимум при коэффициенте насыщения $k_н \approx 1.25$. Такому значению коэффициента насыщения соответствуют следующие значения магнитных индукций: B_{c_1} = 1.71, $B_{з_1}$ = 1.91, B_{c_2} = 1.16, $B_{з_2}$ = 1.76 Тл, при которых энергетический КПД двигателя имеет максимум.

На рис. 2 представлены графики функций F_{M*}, характеризующие электромагнитный момент двигателя, и магнитной индукции в воздушном зазоре $B_δ$ в зависимости от коэффициента насыщения магнитной системы $k_н$. Обе функции с увеличением $k_н$, т. е. с возрастанием магнитных индукций на участках магнитной системы возрастают [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов М. А., Пантюхов Д. С. Оптимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре асинхронного двигателя // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 2.

2. Ваганов М. А. К вопросу об определении площади пазов микромашин постоянного и переменного тока // Изв. вузов «Новочеркасск». 1976. Сер. «Электромеханика». № 12.

M. A. Vaganov, D. S. Pantuhov

MAXIMUM RADIANT EFFICIENCY LEVEL OF ASYNCHRONOUS MOTOR

Building of a mathematical model of asynchronous motor designing that provides the best way of active materials using when it works with the maximum radiant efficiency level due to the choice of best values of the magnetic induction throughout the magnetic system fields.

Active materials using, a stator bore relative diameter, maximum radiant efficiency, magnetic induction throughout the magnetic motor system fields

УДК 681.20; 547.47

В. В. Алексеев, Н. В. Орлова, О. А. Иващенко

ИИС КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ФОРМИРОВАНИЕ НОРМИРОВАННЫХ ШКАЛ ДЛЯ ПРОСТЫХ, СЛОЖНЫХ И КОМПЛЕКСНЫХ ОЦЕНОК

Рассматриваются вопросы построения нормированных шкал для разных видов измеряемых величин. Приводятся алгоритмы нормирования простых оценок отдельных физических, химических и других величин.

Информационно-измерительная система, результаты измерений, нормированная оценка, единство измерений

Оценить состояние природных объектов (экосистем) в силу многообразия их характеристик, разнообразия областей деятельности человека, связанных с природой, ее ресурсами, очень сложно. Получение достоверных характеристик протекающих в экосистемах процессов, оценка тенденций с целью предупреждения нежелательных ситуаций является важной задачей. В информационно-измерительных системах (ИИС) контроля и мониторинга состояния природных объектов возникает задача получения достоверных оценок на основе контроля разнохарактерных параметров. Алгоритмическое обеспечение, направленное на ее решение, удобно строить на базе геоинформационных технологий [1]. Исходной информацией для формирования оценок служат результаты контроля характеристик в различных средах (результаты измерения уровня радиации, концентрации примеси вредных веществ, площади загрязнения и др.) или оценки экспертов, которые часто носят качественный характер.

Для обеспечения метрологической сопоставимости результатов контроля различными средствами измерений, результатов контрольных измерений различных величин (физические, химические, биохимические, биологические и др.), результатов химического анализа, получаемых при выполнении аналитических процедур, необходимо выработать общий подход к представлению результатов. Как было показано в [2], [3], достоверность разнородных данных удобно выражать в виде неопределенности $x^* = \{x, \sigma_x\}$.

Объединение данных разной размерности и разного типа возможны только на основе их нормирования, т. е. на основе нормированных шкал оценок [4]. Поэтому далее рассмотрены

вопросы, связанные с формированием нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок состояния природных объектов.

Нормированные шкалы простых оценок. Результат измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности (неопределенности) полученного результата [3] зависит от погрешности средства измерения (от инструментальной составляющей от влияющих воздействий), метода измерения (методическая составляющая), принятой модели процесса (погрешность неадекватности, динамические и статистические свойства модели).

Суммарная погрешность полученной оценки характеризуется математическим ожиданием (в случае смещенной оценки) и законом распределения случайной составляющей $p(x^*)$. Закон распределения погрешности в большинстве случаев имеет симметричную форму, поэтому, доверительный интервал оценки может быть определен как $x^* \pm g\sigma_x$.

Возможны два варианта построения нормированной шкалы для результатов измерений.

Первый вариант – приведение контрольных измерений к нормированной качественной шкале оценок состояния природных объектов. Плоскость соответствия нормированных значений контрольных измерений и значений шкалы качественных оценок показана на рис. 1. Концентрация вредного вещества, нормированная относительно предельно допустимой концентрации (ПДК), представлена в логарифмическом масштабе, так как благоприятная ситуация может быть только при малых концентрациях, т. е. до ПДК, а опасная зависит от степени превышения ПДК в некоторое количество раз.

Качественная оценка представлена в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями O = {Нет, ЗН, НН, Н, ВН, ЗВ, ЧВ}: 0…1 – нет; 1…2 – значительно ниже нормы (ЗН); 2…3 – ниже нормы (НН); 3…4 – норма (Н); 4…5 – выше нормы (ВН); 5…6 – значительно выше нормы (ЗВ); 6…7 чрезвычайно высокая (ЧВ).

Значение контролируемой величины на нормированной шкале качественных отношений может быть определено как вероятность нахождения результата контрольного измерения в соответствующем интервале концентраций. На рис. 1 приведен пример плоскости соответствия результата контрольных измерений и значений качественной оценки нормированной шкалы.

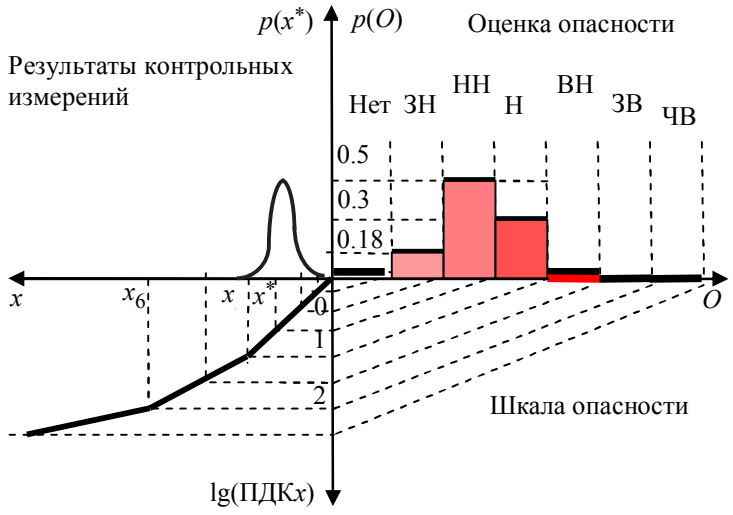


Рис. 1

Вероятность принятия того или иного значения качества может быть определена как $p_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} p(x^*)\mathrm{d}x$, $i = 1\ldots7$. Предположим, что результат контрольных измерений $x^* = x_3 \pm k\sigma = x_3 \pm 0.5x_3$. Результаты интегрирования имеют значения (см. рис. 1):

$$p_1 = \int_{x_0}^{x_1} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.01,\ p_2 = \int_{x_1}^{x_2} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.18,\ p_3 = \int_{x_3}^{x_2} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.5,\ p_4 = \int_{x_3}^{x_4} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.3,$$

$$p_5 = \int_{x_4}^{x_5} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.02,\ p_6 = \int_{x_6}^{x_5} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.0,\ p_7 = \int_{x_7}^{x_6} p(x^*)\mathrm{d}x = 0.0.$$

Второй вариант – получение шкалы нормированных значений измеряемой величины и разбиение ее на интервалы качественной оценки. При этом, если выбрана уже рассматривается шкала качественных оценок (рис. 1), вероятность принятия того или иного значения качественной оценки может быть определена как $p_i = \int_{x_{i-1,\text{н}}}^{x_{i,\text{н}}} p(x_\text{н}^*)\mathrm{d}x_\text{н}$, $i = 1$–7.

На рис. 2 показан пример формирования шкалы нормированных значений измеряемой величины и разбиение ее на интервалы качественной оценки O = {Нет, ЗН, НН, Н, ВН, ЗВ, ЧВ}. На рисунке матрица нормирования представляет собой диагональную матрицу, α – коэффициент нормирования.

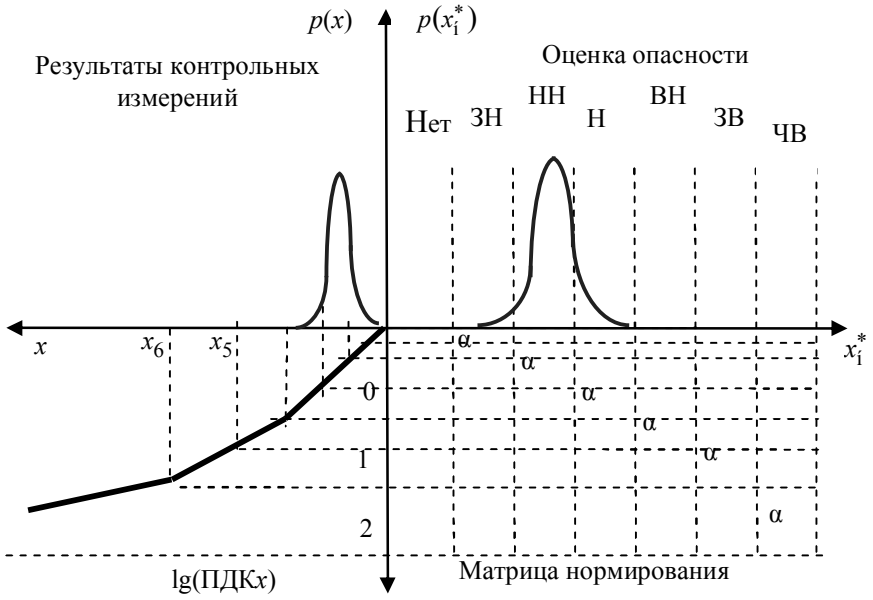


Рис. 2

Результаты значений качественной оценки по нормированной шкале измеряемой величины будут определяться следующим образом:

$$p_1 = \int_{x_{0,\text{н}}}^{x_{1,\text{н}}} p(x_\text{н}^*)\mathrm{d}x_\text{н} = 0.0,\ p_2 = \int_{x_{1,\text{н}}}^{x_{2,\text{н}}} p(x_\text{н}^*)\mathrm{d}x_\text{н} = 0.1,\ p_3 = \int_{x_{2,\text{н}}}^{x_{3,\text{н}}} p(x_\text{н}^*)\mathrm{d}x_\text{н} = 0.7,$$

$$p_4 = \int_{x_{3,\text{н}}}^{x_{4,\text{н}}} p(x_{\text{н}}^*)\mathrm{d}x_{\text{н}} = 0.2\,,\quad p_5 = \int_{x_{4,\text{н}}}^{x_{5,\text{н}}} p(x_{\text{н}}^*)\mathrm{d}x_{\text{н}} = 0.0\,,\quad p_6 = \int_{x_{5,\text{н}}}^{x_{6,\text{н}}} p(x_{\text{н}}^*)\mathrm{d}x_{\text{н}} = 0.0\,,$$

$$p_7 = \int_{x_{6,\text{н}}}^{x_{7,\text{н}}} p(x_{н}^*)\mathrm{d}x_{н} = 0,0\,.$$

Однако при получении оценки природных объектов часто используют результат измерений не одного показателя, а нескольких. При этом возникает необходимость объединения результатов.

Нормированные шкалы интегральных оценок. Существует несколько подходов к объединению простых оценок в интегральный показатель оценки качества или состояния объекта. Все они применяют операцию нормирования для обеспечения возможности объединения результатов контрольных измерений. Рассмотрим основные из них:

1) нормирование путем деления на ПДК;

2) приведение каждого результата к нормированной шкале качественной оценки;

3) формирование для каждого показателя нормированной шкалы с последующим объединением и формированием нормированной шкалы для комплексного показателя.

Первый подход, нормирование путем деления на ПДК, является стандартизированным для получения комплексных оценок в воздушной ([5], [6]) и водной[1] [7] средах при объединении результатов измерений концентрации веществ

$$C_{\text{н}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i – концентрация анализируемого вещества; ПДК_i – его предельная допустимая концентрация; N – количество контролируемых веществ. Однако такой подход неприменим для характеристик, не имеющих значения ПДК.

Второй – приведение каждого результата к нормированной шкале качественной оценки [4], позволяет формировать комплексную оценку, объединяя разные характеристики. Но он требует построения плоскости соответствия для каждого параметра (см. рис. 1) и объединения параметров на уровне нормированной качественной шкалы

$$p_k = \left(\sum_{i=1}^{n} x_{ki}\right) \Bigg/ \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{n} x_{ki}\,,\quad \sum_{k=1}^{K} p_k = 1\,,$$

где i – номер контролируемого параметра; n – количество контролируемых параметров; k – номер коридора шкалы нормированного пространства; K – количество коридоров; p_k – вероятность нахождения полученной нормированной оценки в k-м коридоре (вероятность нахождения контролируемой объекта в k-м состоянии (качестве)).

Третий – формирование для каждого контролируемого параметра нормированной шкалы (см. рис. 2) с последующим объединением и формированием нормированной шкалы для комплексного показателя [8]. Данный подход разработан для решения частных задач и тре-

[1] Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, региональный норматив. СПб.: 1996. 19 с. http://sk.kadis.net/spb/show.pntml?id=6326&pm=1.

бует отдельного рассмотрения с целью распространения его на оценки, получаемые путем объединения разнородных числовых данных. В рассматриваемом подходе сначала формируется нормированная шкала для каждого показателя. Например [9], для оценки устойчивости водоема к изменению параметров естественного режима используются числовые характеристики из табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Класс устойчивости				
	I Максимальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Минимальная
Площадь, км^2	20 000…15 000	15 000…10 000	10 000…5000	5000…1000	1000…10
Объем, км^3	400…300	300…200	200…100	100…10	10…0.2
Макс. глубина, м	200…150	150…100	100…50	50…10	10…1.0
Средняя температура воды летом, ^{o}C	25…22	22…20	20…18	18…15	15…12
Наличие сезонной стратификации, балл	1 (1)	1 (1)	1–2 (1–0)	2 (0)	2 (0)
Условия проточности, балл	1–2 (5–4)	2–3 (4–3)	3–4 (3–2)	4–5 (2–1)	5–6 (1–0)

После выполнения операции нормирования $x_{i\,\text{í}} = x_i \big/ x_{i\max}$ получим пространство нормированных параметров, измеряемых в относительных единицах (о. е.), причем каждый параметр будет иметь свою шкалу (свои границы) определения качественных показателей.

Для обеспечения возможности объединения оценок необходимо сформировать шкалы так, чтобы они имели одинаковую направленность, т. е. чтобы максимальное значение качественной шкалы (значительно выше нормы) соответствовало максимальному значению контролируемых параметров, а минимальное соответствовало минимальному значению качественной шкалы (значительно ниже нормы). Такие расхождения могут возникать в связи с тем, что методики получения оценок различных параметров формировались автономно и при этом не учитывалась возможность их объединения.

Например, в табл. 1 оценки физических параметров соответствуют по своим значениям смысловым показателям качественной шкалы, а балльные оценки: для «максимального» класса устойчивости – минимальная, для «минимального» – максимальная. Надо отметить, что и «максимальному» классу соответствует «I», а «минимальному» классу – «V» (что также вносит некоторую путаницу).

Для приведения балльных шкал к той же направленности преобразуем полученные оценки в соответствии со следующим выражением:

$$x_i^* = x_{i\max} - x_i.$$

Значения границ для шкалы другой направленности показаны в скобках в табл. 1. Нормированные значения параметра будут вычисляться по формуле

$$x_{i\,\text{í}} = \left(x_{i\max} - x_i\right)_i \big/ x_{i\max}.$$

Предъявляя требования к измерению каждого параметра, определяем точность вычисления границ показателей качества, а следовательно, надежность идентификации характеристики. Например, при требовании точности представления результата измерений 1 % точность задания границ должна быть определена как $x_\text{г}^* = x_\text{г} \pm 0.01x_\text{г}$ (табл. 2), а при 10 % – $x_\text{г}^* = x_\text{г} \pm 0.1x_\text{г}$.

Таблица 2

Параметр	Класс устойчивости				
	I Максимальная (Макс)	II Выше средней (ВС)	III Средняя (С)	IV Ниже средней (НС)	V Минимальная (Мин)
Площадь, о. е.	1...0.75	0.75...0.5	0.5...0.25	0.25...0.05	0.05...0.0
Объем, о. е.	1...0.75	0.75...0.5	0.5...0.25	0.25...0.025	0.025...0.0
Максимальная глубина, о. е.	1...0.75	0.75... 0.5	0.5...0.25	0.25...0.05	0.05...0.0
Средняя температура воды в летнее время, о. е.	1...0.77	0.77...0.62	0.62...0.46	0.46...0.23	0.23...0.0
Наличие сезонной стратификации, о. е.	1.0	1.0	1.0...0.0	0.0	0.0
Условия проточности, о. е.	1.0...0.8	0.8...0.6	0.6...0.4	0.4...0.2	0.2...0.0
Интегральная оценка, λ_1, о. е.	1.0...0.8	0.8...0.62	0.62...0.27	0.27...0.09	0.09...0.0

Интегральная оценка может быть получена суммированием взвешенных в соответствии с их значимостью нормированных параметров по выражению $\lambda_1 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \alpha_k x_k$, где α_k – коэффициент значимости суммируемого параметра, должен удовлетворять требованию $\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \alpha_k = 1$, или выражением $\lambda_1 = \left(\sum_{k=1}^{n} \alpha_k\right)^{-1} \sum_{k=1}^{n} \alpha_k x_k$. В последнем случае коэффициент α_k может быть любым положительным числом (в табл. 2 n = 6, α_k = 1). Граничные значения качественной шкалы вычисляются по данному выражению, в соответствии граничными значениями параметров.

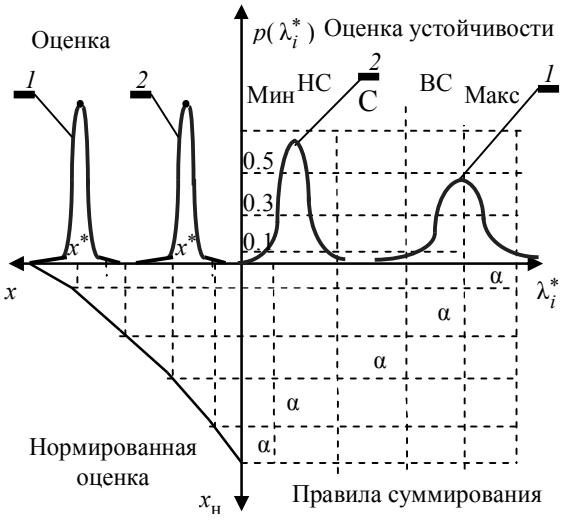


Рис. 3

На рис. 3 приведен пример нормирования параметров. Параметр, отмеченный цифрой «1» (закон распределения контролируемого параметра и распределение нормированной оценки на нормированной шкале), находится рядом с границей шкалы. Он имеет большие вероятности попадания в два класса. Параметр, отмеченный цифрой «2», практически полностью соответствует одному классу устойчивости – «НС». Каждое значение оценки характеризуется точностью ее получения $x^* \pm g\sigma_x$.

В процессе получения интегральной оценки λ_1 значения частных оценок суммируются, при этом суммируются их случайные составляющие погрешности $\lambda_1^* = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \alpha_k(\lambda_k \pm g\sigma_x)$.

Например, предположим, что при исследовании устойчивости водоема были получены числовые характеристики параметров, указанных в табл. 1. После операции нормирования параметров из табл. 1 получили пространство нормированных параметров, измеряемых в относительных единицах (о. е.):

Площадь	0.50 ± 0.10
Объем	0.50 ± 0.15
Максимальная глубина	0.40 ± 0.10
Средняя температура воды в летнее время	0.46 ± 0.05
Наличие сезонной стратификации	1.0 ± 0.1
Условия проточности	0.6 ± 0.1

Для получения интегральной оценки приведенные значения и их случайные составляющие суммируются в соответствии с выражением $\lambda^* = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \alpha_k(\lambda_k \pm g\sigma_x)$. Если n = 6 и коэффициенты α = 1, то получим λ^* = 0.57 ± 0.3. На рис. 4. представлен закон распределения полученной интегральной оценки на нормированной шкале качественной оценки.

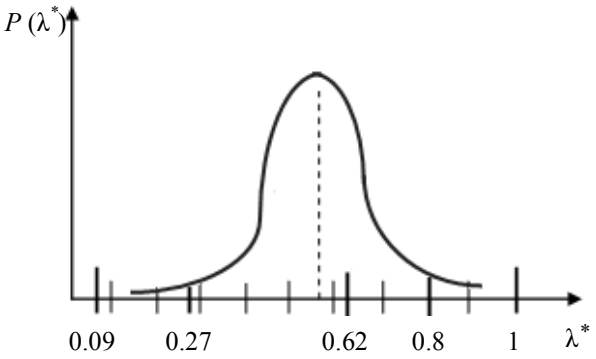


Рис. 4

Следовательно, при формировании нормированной шкалы и требований к получаемым оценкам необходимо обеспечить их сравнимость – один порядок, чтобы участок шкалы был ≥ 2 $g\sigma_x$. Это важно при формировании значений нормированной шкалы для параметров, у которых один из пределов не определен.

Рассмотрим продолжение примера из [9] для определения класса устойчивости водоема к изменению параметров качества воды. Контролируемые параметры приведены в табл. 3.

Предъявляя к ширине старшего класса формируемой шкалы вышеуказанное требование и предполагая, что для биохимических измерений точность 10 % является наиболее вероятной, получим максимальные (нормирующие) значения для каждого контролируемого параметра. Эти значения указаны в скобках в табл. 3.

Так как возможно превышение назначенных границ, они используются для построения нормирующей шкалы, а в реальных измерениях значения, превышающие значение нормирующей величины, приводятся к старшему классу шкалы.

Таблица 3

Параметр	Класс устойчивости				
	I Максимальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Минимальная
Взвешенные вещества, мг/дм^3	> 50 (60...50)	50...20	20...10	10...3	3...0
Аммонийный азот NH_4^+, мг/дм^3	> 1 (1.2... 1.0)	1.0...0.4	0.4...0.2	0.2...0.05	0.05...0.0
Бихроматная окисляемость (БО), мг/дм^3	> 50 (60...50)	50...25	25...15	15...5	5.0...0.0
Биохимическое потребление кислорода (БПК$_5$), мг/дм^3	> 4 (5...4)	4...3	3...2	2...1	1...0.0

В данном случае получим нормированные шкалы, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Параметр	Класс устойчивости				
	I Максимальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Минимальная
Взвешенные вещества, о.е.	1.0...0.83	0.83...0.33	0.33... 0.17	0.17...0.05	0.05...0.0
Аммонийный азот NH_4^+, о.е.	1.0...0.83	0.83...0.33	0.33...0.17	0.17...0.04	0.04...0.0
БО, о.е.	1.0...0.83	0.83...0.42	0.42...0.25	0.25...0.08	0.08...0.0
$БПК_5$, о.е.	1.0...0.8	0.8...0.6	0.6...0.4	0.4...0.2	0.2...0.0
Интегральная оценка, λ_2, о.е.	1.0...0.82	0.82...0.42	0.42...0.25	0.25...0.1	0.1...0.0
Интегральная оценка, λ_1, о.е.	1.0...0.8	0.8...0.62	0.62...0.27	0.27...0.09	0.09...0.0
Интегральная оценка, λ_3, о.е.	1.0...0.81	0.81...0.52	0.52...0.26	0.26...0.1	0.1...0.0
Величина класса на нормированной шкале, о.е.	0.19	0.29	0.26	0.16	0.1

При расчетах λ_2 используется приведенное выше выражение для $n = 4$, $\alpha_k = 1$. Оценка λ_3 объединяет полученные интегральные оценки λ_1 и λ_2 тем же способом при $n = 2$, $\alpha_k = 1$.

Таким образом, полученные нормированные шкалы для интегральных оценок позволяют достаточно просто по нормированным значениям параметров идентифицировать состояние объекта, определить его класс. Очевидно, что подобные нормированные шкалы могут быть построены для любой группы параметров, в том числе для результатов контрольных измерений концентрации химических веществ в воздушной и водной средах (пример см. на рис. 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерительно-вычислительные системы / В. В. Алексеев, Б. Г. Комаров, П. Г. Королев СПб.: ООО «Техномедиа»; Изд-во «Элмор», 2008. 140 с.

2. Алексеев В. В. Информационные измерительные системы. Комплексная оценка состояния объектов окружающей природной среды на основе ГИС-технологии // Вестник образования и развития науки российской академии естественных наук. 2001. Т. 5, № 3. С. 230–240.

3. Алексеев В. В., Куракина Н. И. Измерительные системы и ГИС-технологии. СПб.: ООО «Техномедиа»; Изд-во «Элмор», 2007. 143 с.

4. Алексеев В. В., Куракина Н. И. Принципы построения нормированного пространства для формирования комплексных оценок о состоянии сложных объектов/ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2000. 11 с. Деп. в ВИНИТИ 14.02.2000, № 370-В00.

5. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.

6. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.559-96. Введ. с 24.10.96. М.: Информ.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 111 с.

7. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидрология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

8. Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния природных объектов. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной экосистемы // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских инициатив. Гатчина, 2001. С. 225–237.

9. Дмитриев В. В., Примак Е. А. Оценка устойчивости водоемов Европейского Севера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Петрозаводск: ИВПС, 2006. С. 408–417.

V. V. Alekseyev, N. V. Orlova, O. A. Ivaschenko

THE MEASURING MONITORING SYSTEM OF A CONDITION OF NATURAL OBJECTS ON THE BASIS OF A GEOINFORMATION TECHNOLOGY. CREATION NORMALIZE SCALES FOR SIMPLE, DIFFICULT AND COMPLEX ESTIMATIONS

Construction questions normalize scales for different kinds of measured sizes are considered. Algorithms of rationing of simple estimations of separate physical, chemical and other sizes.

Information measuring system, measurement data, normalized estimate, traceability

УДК 504.4.064.3, 504.4.054.001.5; 504.4.06.001.5

Н. И. Куракина, В. Н. Микушина

МЕТОДИКА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются вопросы поиска зоны максимального загрязнения при помощи мобильных средств с учетом морфометрических и гидрологических свойств водных объектов, а также особенностей технических средств экологического контроля. Разработана методика проведения измерительного эксперимента и программная система с использованием геоинформационных технологий.

Информационная система, планирование измерительного эксперимента, мониторинг, геоинформационные технологии, симплекс-метод

Проблема разумного отношения к водным ресурсам приобретает наибольшую остроту среди важнейших проблем науки и техники. От того, насколько оперативно и верно она будет решена, зависит здоровье и благосостояние ныне живущих и будущих поколений людей. В такой ситуации особенно важна объективная информация о фактическом состоянии водных объектов, поэтому возникает задача организации специальных систем наблюдения, контроля и оценки состояния водных объектов – систем мониторинга.

Данные о состоянии водных объектов всегда уникальны, их сбор часто обходится дорого и занимает длительный промежуток времени. Пространственно-временная динамика водных объектов требует регулярного выполнения серий измерений, накопления статистических данных с максимально полным описанием условий их получения [3]. При проведении экологического мониторинга водных объектов на практике необходима методика, позволяющая сократить количество проводимых измерений с сохранением достоверности получаемых результатов. Особенно остро эти вопросы встают при аварийных и чрезвычайных ситуациях: чем быстрее будет выявлено наличие загрязнения и установлена зона максимального загрязнения, тем быстрее будут приняты меры по нейтрализации загрязнителя.

Разработанная методика ведения мониторинга водных объектов при помощи мобильных средств позволяет определить нахождение зоны максимального загрязнения и учитывает морфологические свойства водного объекта, метеоусловия и технические характеристики средств измерения.

Методика основана на симплекс-методе. Реализация программной системы осуществлена с использованием ГИС-технологий.

Измерительный эксперимент строится на изменении входных факторов X (координат пунктов отбора проб) и измерении откликов системы $Y(X)$ (значений концентрации загрязняющего вещества), при этом решается задача определения нахождения зоны максимума: $Y(X) \to \max$ [1].

Все природные объекты, в том числе и водные, имеют пространственные границы. В процессе проведения экологического мониторинга следует рассматривать еще и границы, в пределах которых возможно используемыми техническими средствами реализовать процедуры контроля, отобрать пробы воды и провести лабораторный анализ ее состава [2].

Пусть область D определяется границами исследуемого водного объекта. При проведении экологического мониторинга область определения координат пунктов отбора проб (фактора X) будет иметь значение D, скорректированное за счет учета габаритных размеров применяемого патрульного судна, а также особенностей размещения на нем измерительного оборудования:

$$D^* = D - L_{\text{o}} - L_{\text{s}},$$

где L_{s} – длина судна; L_{o} определяется осадкой судна и изменением глубины (рельефом дна) водного объекта у береговых линий и выражает расстояние, ближе которого исследовательское судно не может подойти к берегу.

При рассмотрении динамического взаимодействия пограничных слоев вода–воздух появляется следующий фактор, влияющий на распространение загрязняющих веществ в водоеме, – ветровые волны. Помимо ветровых волн присутствуют и течения, переносящие загрязняющие вещества, что также требует специального рассмотрения.

Для учета перечисленных влияющих факторов при ведении мониторинга водных объектов необходимо ввести в симплекс-метод корректировку на наличие постоянных и ветровых течений, учесть пространственные свойства природного объекта, а также параметры технического средства контроля.

Процесс ведения мониторинга начинается с момента обнаружения превышения порога удельной электрической проводимости (УЭП) и пульсационного значения УЭП водной среды. Далее осуществляется гидрохимический анализ, выявляется, какое загрязняющее вещество имеет превышение концентрации. По установленному загрязнителю начинается процедура поиска зоны максимального загрязнения.

Отбор проб и измерение концентраций c_1, c_2, c_3 производится в пунктах, располагающихся в вершинах пространственного треугольника (симплекса) – (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3). После того как выбрана точка симплекса, в которой концентрация загрязняющего вещества имеет наименьшее значение: $c_g = \min(c_1, c_2, c_3)$, рассчитываются координаты нового пункта отбора проб (1):

$$x_3 = \frac{x_1 \operatorname{ctg}\beta_2 + x_2 \operatorname{ctg}\beta_1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_1},\ y_3 = \frac{y_1 \operatorname{ctg}\beta_2 + y_2 \operatorname{ctg}\beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_1}. \quad (1)$$

Получив значение координат $(x_3,\ y_3)$, необходимо провести корректировку с учетом течения. Для этого рассчитывают координаты скорректированной точки отбора $(x_3',\ y_3')$ проб по формулам

$$x_3' = x_3 \pm d_{CB} \cos\alpha = x_3 \pm \cos\alpha v_{\text{теч}} \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{v_{\text{кат}}}, \quad (2)$$

$$y_3' = y_3 \pm d_{CB} \sin\alpha = y_3 \pm \sin\alpha v_{\text{теч}} \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{v_{\text{кат}}}, \quad (3)$$

где d_{CB} – длина ребра симплекса; $v_{\text{теч}}$ – суммарная скорость течения; $v_{\text{кат}}$ – средняя скорость движения мобильного технического средства.

Значения полученных координат новой вершины (x_3', y_3') проверяются на принадлежность к области определения D^*. Если точка не принадлежит области определения $(x_3', y_3') \notin D^*$, то увеличивается значение счетчика числа «отброшенных» вершин симплекса N, производится возврат к предыдущему симплексу и движение в сторону второго наименьшего значения.

После получения нового симплекса проводится проверка выполнения признака окончания процедуры поиска зоны максимального загрязнения. Зона максимального загрязнения будет найдена при выполнении следующего условия: в $4 - N$ последовательных положениях сохраняется одна общая точка.

При невыполнении условия продолжается выбор наименьшего значения концентрации загрязняющего вещества, построение нового симплекса, проверка признака окончания процедуры и т. д.

Таким образом, вводится коррекция в применяемый симплекс-метод. Данный подход к учету внешних факторов, определяющих нахождение зоны максимального загрязнения, основан на выявлении и использовании при проведении экологического контроля значений внутренних и ветровых течений в водном объекте, параметрических данных о водном объекте и накладываемых ресурсных ограничений.

Метрологический анализ показал, что точность определения местонахождения зоны максимального загрязнения в основном определяется размером шага (ребра) симплекса Δd.

При планировании и проведении экологического мониторинга водного объекта размер шага должен выбираться экспертом с учетом:

- вида загрязняющего вещества, а точнее времени проведения экспресс-анализа $\Delta t_{\text{ан}}$ измерения концентрации при безостановочном режиме движения катера: $\Delta d_{\min} = \Delta t_{\text{ан}} v_{\text{кат}}$;
- требований по точности определения зоны локализации загрязнения;
- ресурсных ограничений – числа возможных для проведения измерительных процедур $N_{\text{проб}}$: $\Delta d \le \sqrt{\dfrac{4S_{\text{об}}}{\sqrt{3}(N_{\text{проб}} - 2)}}$, где $S_{\text{об}}$ – площадь поверхности водного объекта;
- морфометрических свойств водного объекта: длина шага симплекса должна быть вдвое меньше самого узкого (короткого) участка водной поверхности.

Разработанная методика поиска зоны максимального загрязнения при помощи мобильных средств с учетом морфометрических и гидрологических свойств водоемов, а также особенностей технических средств экологического контроля служит основой специализированного программного обеспечения информационной поддержки ведения экологического мониторинга.

Для автоматизации каждого этапа ведения экологического мониторинга разработана геоинформационная модель водного объекта, учитывающая специфику пространственно-распределенного объекта, его морфометрические и гидродинамические данные и взятая за основу при построении информационно-измерительной системы контроля экологического состояния водного

объекта. Геоинформационная модель водного объекта реализована на базе ГИС ArcGIS ArcInfo 9.3. В результате строится мощная, эффективная, многоцелевая и многоаспектная информационная автоматизированная система. Ее главное назначение – это не только накопление и визуализация данных мониторинга, но и создание единого информационного пространства и предоставление широких возможностей системного анализа информации для эффективного управления качеством водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микушина В. Н. Планирование измерительного эксперимента с использованием ГИС-технологий // Сб. мат. Международ. симпозиума «Новые информационные технологии и менеджмент качества», Турция, 2009.

2. Пространственное моделирование загрязнения водных объектов на ГИС-основе / Н. И. Куракина, В. Н. Емельянова, С. А. Коробейников, Е. С. Никанорова // ArcReview. 2006. № 1(36).

3. Микушина В. Н. Обработка результатов измерений экологического состояния водных объектов с использованием геоинформационных систем // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж: Научная книга, 2007. С 115–118.

N. I. Kurakina, V. N. Mikyshina

METHOD OF MONITORING WATER OBJECTS ON THE BASE OF GIS TECHNOLOGIES

The article deals with questions of search of a zone of the maximum pollution by use of mobile tools with the account morphometric and hydrological properties of water objects, and also features of means of ecological control are considered. The technique of carrying out of measuring experiment and program system with use of geoinformation technology is developed.

Informational system, planning of measuring experiment, monitoring, geoinformation technology, the simplex-method

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 378.147

Е. Е. Котова, В. А. Шавыкин

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Рассматриваются интерактивные технологии с целью возможного применения в процессе обучения в техническом вузе для формирования профессиональных компетенций.

Познавательная деятельность, активация мыслительных процессов, интерактивные технологии, компетентностная модель, образовательный процесс, методы обучения

Технологии интерактивного обучения являются достаточно новой для российской высшей школы формой организации образовательного процесса. В настоящее время нет единого подхода к определениям, классификациям и другим категориям, раскрывающим их сущность. Технология интерактивного обучения представляет собой систему способов организации взаимодействия преподавателя и студента в формах, гарантирующих эффективное общение, познавательную активность, активизацию мыслительных стратегий. Поскольку *интерактивное обучение* представляет собой специальную форму организации познавательной деятельности, то одна из его целей заключается в создании определенных условий, при которых учащийся чувствует успешность, интеллектуальную состоятельность, возможность применить свои способности и умения, что делает процесс обучения продуктивнее.

В данной работе остановимся на следующих определениях моделей обучения. Пассивная модель – учащийся выступает в роли «объекта» обучения (воспринимает информацию, не проявляя взаимодействия в процессе). Активная модель – учащийся выступает «субъектом» обучения (выполняет инициативные, творческие задания). Интерактивная модель обучения – процесс обучения осуществляется в условиях активного взаимодействия преподавателя и учащегося, участники являются равноправными субъектами. Определение компетенции (проект ФГОС ВПО[1]): «компетенция – способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области».

[1] Проект ФГОС ВПО по направлению подготовки 220400 «Управление в технических системах» (квалификация (степень) «бакалавр»; квалификация (степень) «магистр». http://mon.gov.ru/pro/fgos/vpo/.

Совместная деятельность студентов в процессе обучения, познания, освоения учебного материала предполагает, что каждый учащийся вносит свой индивидуальный вклад. В процессе интерактивного обучения происходит динамический обмен знаниями, идеями, решениями, способами деятельности. Атмосфера доброжелательности и взаимной поддержки – основное требование процесса, что позволяет получать новые знания и опыт, развивать познавательную деятельность, расширять учебные стили, стратегии коммуникации, осваивать формы кооперации и сотрудничества, работы в коллективе. Интерактивный процесс обучения исключает доминирование преподавателя в процессе обучения. В ходе интерактивного обучения учащиеся приобретают навыки критического мышления, решения сложных проблем на основе анализа ситуаций, работы с разносторонней и противоречивой информацией, учатся оценивать и учитывать альтернативные мнения, принимать решения, аргументировать, участвовать в дискуссиях, осуществлять постановку проблем, решать конфликты, приобретать новый практический опыт эффективного использования знаний, осваивать профессиональные «роли», развивать культуру обучения.

В настоящее время при компетентностном подходе основной целью в соответствии с проектом ФГОС является формирование определенного набора компетенций1.

Многими авторами подчеркивается «кардинально инновационный характер» компетентностного подхода. В то же время отмечается необходимость рассматривать компетентностный подход не только с точки зрения дидактико-педагогического содержания, но и в плане его способностей участвовать в формировании определенных стратегий социального развития [1].

В табл. 1 представлено сравнение технологий традиционного обучения и процесса обучения с применением интерактивных технологий.

Таблица 1

Традиционное обучение	Интерактивные технологии
Учебные цели	
Отдаленные цели – формирование умений осуществлять профессиональную деятельность в целом. Ближайшие учебные цели – усвоение обучаемым конкретной темы (вопроса) учебной программы	Основная цель – формирование определенного набора компетенций
Средства достижения целей	
Материальные объекты, материализованные объекты, идеальные объекты	Новые организационные формы, групповая работа, разные коллективы, творческое моделирование, виртуальные объекты и т. д.
Психологические механизмы	
Привычный социальный статус. Личностные механизмы активности, мотивация. Стандартные взаимоотношения с преподавателем. Устойчивые, общепринятые позиции. Пассивное взаимодействие. Доминирование участника процесса или идеи (преподавателя). Частичное взаимодействие участников. Однонаправленная передача знаний	Изменение привычного социального статуса. Усиление интеллектуальной активности, групповая поддержка, групповая динамика. Личностная включенность в образовательный процесс. Продуктивные взаимоотношения с преподавателем. Формы кооперации и условия сотрудничества. Имитация общения. Активное взаимодействие. Исключение доминирования. Взаимодействие всех участников. Обмен знаниями и опытом

Целями интерактивных технологий являются расширение и развитие сформированности общеучебных навыков (чтения и осмысления научных текстов, реферирования, исследования и проектирования); учебной мотивации (формирования потребности в самообразовании, познавательных интересов); личностных профессионально значимых качеств; критич-

[1] Там же.

ности, гибкости, самостоятельности и глубины мышления; речевой компетентности (осваивания сложных речевых жанров, развития сформированности монологической и диалогической речи); умения справляться с новыми для студента учебными проблемами, реальными задачами с неполной постановкой, с поиском нестандартных решений; основных умений и навыков профессионального, управленческого, психологического характера: аналитических, прогностических, рефлексивных и т. п.

Теоретической базой развития интерактивных методов обучения являются работы отечественных так и зарубежных исследователей (психологов и педагогов): в области психологических проблем высшего образования (А. А. Вербицкого, И. А. Зимней, Ю. Н. Кулюткина); работы, посвященные исследованию эффективности активных методов обучения (Б. Ц. Бадмаева, Ю. Н. Емельянова, М. В. Кларина и др.), образовательных технологий (Г. К. Селевко, А. М. Столяренко), в области психологии педагогического труда (А. К. Марковой, Н. Ф. Кузьминой, В. А. Сластенина), психологии профессионального развития (А. Б. Орлова, Г. А. Ковалева, Л. М. Митина), развития личностных качеств, мыслительных стратегий, способностей исследователя (Е. И. Регирер). Работы зарубежных авторов, исследователей формирования и способов оценивания компетенций (Ч. Вудрафа), индикаторов компетенций (Р. Боуза, Д. Байноу), моделей компетенций и аудита навыков (С. Уиддета, С. Холлифорда) и др.

Анализ научно-методической литературы и практически реализованных примеров, содержащих элементы интерактивных технологий, показал, что к настоящему времени идеи внедрения интерактивных технологий в обучения активно востребуются и развиваются (А. П. Панфилова, И. Г. Абрамова, А. А. Вербицкий др.). Представлены дидактические и психологические основы интерактивных технологий, методы и формы. Некоторыми авторами указывается, что наиболее часто применяемой моделью интерактивных технологий является деловая (учебная) игра (М. В. Кларин, Ю. С. Тюнников , Н. В. Борисова), активно-ролевая, имитационная и тренинговая организация обучения (В. М. Ефимов, Е. М. Заболотская, Е. В. Сидоренко). Анализ показывает, что в настоящее время подобные работы с внедрением интерактивных технологий в процесс обучения получили большее распространение в гуманитарной сфере, чем в технической, а также больше применяются в школьном обучении и в педагогической практике[1].

Основные критерии интерактивного обучения следующие: активность и продуктивность освоения учебного материала; приобретение нового опыта учебного взаимодействия; развитие навыков общения и взаимодействия в малой группе (формирование нравственных норм и правил совместной деятельности, ценностно-ориентационного единства группы); развитие личностной рефлексии, навыков анализа и самоанализа; развитие навыков самостоятельно ставить и решать проблемы; знакомство с новыми способами освоения учебного материала и стратегиями обучения; развитие речи, профессиональной культуры; развитие креативности и др.

Интерактивные технологии применяются в виртуальной педагогике, виртуальных образовательных средах, системах дистанционного обучения. Как указывают П. Брусиловский и Ф. Милле[2], «тестирующие и опрашивающие компоненты были первыми интерактивными компонентами, примененными в web-основанном обучении (WBE – web-based education), и в настоящее время они являются наиболее разработанными».

[1] Чепель Т. Л., Яковенко Т. Д. Интерактивные методы в высшем педагогическом образовании как условие его интенсификации, http://concord.websib.ru/.

[2] Брусиловский П., Миллер Ф. Web-тестирование в дистанционном обучении, http://www.i-u.ru/ biblio/archive/ do_sbornik/04.aspx.

Дидактические возможности интерактивного обучения техническим дисциплинам основаны на стратегиях активного участия студента в процессах получения знания и опыта, сотрудничества, развития рефлексивного и критического мышления и являются средством формирования профессиональных компетенций студентов технических специальностей и направлений технического вуза.

Перечень интерактивных технологий, которые возможно применять в процессе обучения, следующий: моделирование ситуаций; ролевые (деловые) игры; совместное решение проблем; работа в малых группах; работа в парах; мозговой штурм; презентации; тренинги; методы извлечения знаний; дискуссии («дерево решений»…); дебаты; проектные семинары; виртуальные коллективы; виртуальные лаборатории; самооценка и методы оценивания других; сценарии событий; анализ конкретных ситуаций; исследовательские проекты.

В контексте интерактивных технологий обучение и развитие студентов можно рассматривать как динамическую модель становления профессионала, формирование которой вызывает необходимость осваивать не только инновационные знания, но и новые прогрессивные технологии обучения и управления.

В связи с определенной спецификой учебного процесса возникла необходимость выявления набора компетенций, которые возможно формировать при помощи интерактивных технологий обучения (учитывая особенности подготовки в техническом вузе). В соответствии с разработанной методологией формирования компетенций с применением интерактивных технологий на основе общего перечня компетенций формируются структуры компетентностных моделей для конкретного направления обучения. В табл. 2 представлено описание некоторых видов интерактивных технологий обучения (с учетом классификации, представленной в [2] и рассмотрения вопросов игрового моделирования[1]).

Таблица 2

Виды интерактивных технологий	Достоинства	Ограничения
Проектные семинары – коллективное обсуждение определенной проблемы или темы	Активизация восприятия информации путем взаимодействия преподавателя и обучающегося	Продолжительность, количество участников, подготовленность участников, коммуникативные компетенции и др.
Деловая игра – моделирование реальной деятельности «специалиста» в тех или иных специально созданных педагогических или производственных ситуациях, непосредственно в действиях	Позволяет овладеть системой навыков, умений конкретной профессии, моделями поведения и социально-психологических отношений в реальной производственной ситуации. Максимальное приближение к практической деятельности	Отсутствие теоретически и методически проработанных игровых способов развертывания содержания. Ограничения в разработке механизмов познавательной, мыслительной и коммуникативной деятельности участников
Ситуационный анализ (разбор конкретных ситуаций (case-study))	Коллективное принятие управленческого решения в конкретной ситуации. Единая цель группы при выработке решений. Система группового оценивания деятельности обучаемых	Рассматривается отдельная, относительно сложная организационная, экономическая или управленческая задача, единственно правильное решение или правильное решение которой заранее известно преподавателю
Тренажерная подготовка – активное овладение и развитие знаний, умений и навыков	Позволяет за короткий промежуток времени овладеть практическими эффективными умениями и навыками	Направлен на овладение только узкоспециализированными навыками без усвоения общих моделей и методов работы

[1] Алексеев А. А., Дягилева Н. В. Игровое моделирование процесса принятия маркетинговых решений с использованием ПЭВМ, http://www.marketing.spb.ru/ read/m2/index.htm.

Проведение занятия с применением интерактивных технологий требует определенной подготовки. Например, для организации и проведения деловой игры необходимо осуществить:

- подготовку руководства игры и группы участников;
- подготовку методического и технического обеспечения;
- подготовку правил и инструкций для участников и ведущего;
- предварительное формирование состава игровых групп;
- возможно пробное проведения игры с группой участников;
- адаптацию игры к контингенту участников и условиям ее проведения;
- проведение расчетов для оценки последствий различных вариантов развития игры, принимаемых решений, формирование оптимального или рационального решения для каждого фрагмента игры;
- подготовку будущих участников игры, оценку уровня их готовности к игре, знаний и компетентности;
- разработку четкого регламента.

Требования к правилам и инструкциям проведения игры следующие. Правила и инструкции содержат ограничения, касающиеся технологии игры, регламент игровых процедур или их элементов, описание ролей участников, описание функций преподавателей-ведущих, систему оценивания. Правил не должно быть слишком много (5–10), они должны быть краткими и четкими, представлены каждому участнику, в группе – на плакатах или с помощью технических средств. Правила должны быть приняты всеми участниками. В качестве основных правил игры можно привести соблюдение регламента, использование носителей информации, применение активных форм представлений информации, вопросы дискуссионного характера[1].

Ведущий (организатор) занятия должен:

- четко формулировать инструкции и правила проведения занятия;
- различать процесс обсуждения и его содержание;
- стимулировать творческие проявления;
- осознавать отношение участвующих сторон к предмету и ходу обсуждения;
- фиксировать успехи группы в совместной выработке результатов, отмечать их;
- различать ведущий стиль восприятия информации учащегося, стиль обучения и уметь диагностировать;
- распределять время обсуждения;
- сохранять непредвзятость и отстраненность;
- выстраивать пространство взаимодействия (размещение участников и т. д.);
- помогать участникам преодолевать возникающие барьеры в совместной работе;
- побуждать к высказыванию, активному взаимодействию, слушать, не перебивая;
- отслеживать групповую динамику;
- проявлять открытость;
- поддерживать «обратную связь» с каждым участником;
- удерживая детали, помнить об общих задачах обсуждения.

[1] См. Чепель Т. Л., Яковенко Т. Д., http://concord.websib.ru/

Как отмечает доктор Richard M. Felder (North Carolina State University (NCSU)), сторонник методик преподавания, предполагающих активное обучение, методики, включающие методы обучения через действие, позволяют довести до сознания студентов сложные понятия[1].

Методология формирования компетенций с применением интерактивных технологий заключается в следующем.

1. Определение общего перечня компетенций по данному направлению подготовки (согласно уже упоминавшемуся проекту ФГОС).

2. Выявление набора компетенций, которые возможно сформировать при помощи интерактивных технологий обучения (учитывая особенности направления подготовки и квалификации). Формирование структуры компетентностных моделей.

3. Анализ учебных дисциплин с точки зрения возможностей применения интерактивных технологий.

4. Определение возможных форм проведения занятий в рамках той или иной дисциплины (с учетом установленных не менее 20 % по ФГОС.

5. Расширение традиционных форм проведения занятий до интерактивных. Определение возможных форм введения интерактивных технологий в традиционные формы проведения занятий или сочетания с традиционными видами занятий с учетом особенностей обучения в техническом вузе.

6. Определение особенностей контингента обучающихся (возможно, с разных «позиций», как формальных (пол, возраст, ориентировка будущей работы, трудоустройства и т. д.), так и специальных (например, когнитивная сфера, общая эрудиция, коммуникативная сфера, практический интеллект, уровень знаний, стиль обучения и др. индивидуальные психологические особенности), являющихся определяющими для применения интерактивных технологий в учебном процессе. Применение диагностических процедур.

7. Определение возможных способов и форм взаимодействия (коммуникаций) и механизмов влияния (в среде с применением интерактивных технологий, в условиях использования интерактивных методов обучения)): педагога – студента, студентов между собой, виртуального педагога – студента, виртуальной группы.

8. Определение взаимосвязей между преподаванием, обучением и оцениванием с помощью интерактивных технологий, способов «обратной связи».

9. Проведение анализа результатов обучения при помощи интерактивных технологий. Выявление дефицита навыков.

8. Подготовка методических материалов, заданий и рекомендаций для конкретного направления и квалификации обучения.

Приведем пример соотнесения формируемых компетенций, оцениваемых работ и видов применяемых интерактивных технологий. Например, для формирования таких компетенций, как способность «собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии», способность «осуществлять сбор и анализ научно-технической

[1] Гроуз Т. К. Преподаватель XXI века // Акцент. Информационный бюллетень. 2007. № 2(8). С. 13–15. http://aeer.ru/winn/magazine/magazine5.phtml.

информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить анализ патентной литературы», готовность «участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок», перечисленных в проекте ФГОС, – возможно применение следующих видов интерактивных технологий: методов извлечения знаний, дискуссий, работы с документами и источниками информации, исследовательских проектов. Эти цели возможно реализовать в форме практических занятий с проведением критического анализа источников литературы, подготовкой сообщения (выступления), фиксированием проблемы и способов ее разрешения, подготовкой (написанием) статьи, аналитического обзора, комментариев к статье, книге, монографии с использованием различных способов представления и визуализации информации.

На основе анализа применения интерактивных обучающих технологий рассмотрены возможности применения интерактивных методов обучения для формирования профессиональных компетенций в техническом вузе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А. Знания или компетенции? // Высшее образование в России. 2005. № 2. С. 3–12.

2. Организация, формы и методы проведения учебных занятий и самостоятельной работы: требования, условия, механизмы: Учебно-методическое пособие / под ред. Н. А. Волгина, Ю. Г. Одегова. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2004.

E. E. Kotova, V. A. Shavykin

THE USING OF INTERACTIVE LEARNING TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE

We consider interactive technologies for possible use in the process of teaching in technical colleges for the formation of professional competence.

Cognitive activity, activation of mental processes, interactive technology, competence model, the educational process, teaching methods

УДК 65.014.12

М. Н. Магомедов

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Приводятся основные аспекты, требования и принципы построения оптимизированных организационных структур управления предприятием на примере газодобывающего предприятия.

Организационная структура управления, газодобывающее предприятие, малолюдные технологии, принципы оптимизации организационных структур, интегрированная информационно-управляющая система, система показателей эффективности

Основной целью деятельности газодобывающего предприятия (ГДП) является разработка и эксплуатация нефтегазоконденсатных месторождений. Для достижения данной цели необходимо построение такой организационной структуры управления, которая бы позволила достигнуть максимально эффективной деятельности ГДП. Одним из основных направлений повышения эффективности является оптимизация организационной структуры управления ГДП.

Под задачами эффективного управления ГДП понимается реализация производственных заданий с минимальными производственно-эксплуатационными затратами за счет эксплуатации технологических объектов на принципах малолюдных технологий, а именно:

– оптимального и согласованного управления технологическими процессами;

– эффективного управления производственными процессами;

– максимальной автоматизации функций выполняемых персоналом.

Для обеспечения эффективного управления ГДП следует разработать и внедрить оптимальную структуру управления, которая должна быть тесно связана с целями, функциями, процессом управления, работой производственного персонала и распределением между ними полномочий.

Задачами оптимизации организационных структур управления ГДП являются:

– повышение эффективности управления ГДП, обеспечение его эффективного функционирования и развития посредством объединения на интегрированной информационной основе всех элементов организационной структуры управления;

– обеспечение доступа руководства к первичной и агрегированной информации на базе инновационных информационных технологий, позволяющих рациональное и качественное использование, а также развитие функционального, программного и технического обеспечения создаваемых систем управления.

Оптимизация организационных структур управления ГДП направлена на повышение управляемости и эффективности деятельности предприятия за счет:

– оперативного поступления полной и достоверной информации о технологических и производственных процессах;

– сокращения времени принятия управленческих решений;

– эффективной связи между системами управления технологическими и производственными процессами и хозяйственно-административной деятельностью;

– предоставления информации пользователям в соответствии с их должностными обязанностями.

При оптимизации организационных структур управления, по мнению автора, следует придерживаться следующих принципов:

• Оптимизация количества звеньев управления и максимальное сокращение времени прохождения информации от руководителя до непосредственного исполнителя.

• Четкое обособление составных частей организационной структуры (состава ее подразделений, потоков информации и пр.).

• Обеспечение способности к быстрой реакции на изменения в управляемой системе.

• Адаптация отдельных подразделений ко всей системе управления организацией в целом и к внешней среде в частности.

В качестве инструментов по оптимизации организационной структуры управления ГДП рекомендуется использовать:

– анализ и разделение управленческих и инновационных процессов на отдельные составляющие функции, задания. Задания следует группировать по определенным признакам: виду деятельности, функциям управления, виду продукции, стадии производственного процесса, иерархическому уровню управления, территориальному расположению;

– синтез и группировку заданий в однородные группы достаточно устойчивые на протяжении периода деятельности ГДП;

– создание специализированных подразделений и служб путем закрепления за ними однородных групп заданий, объектов, функций управления, состава и численности работников и оборудования;

– разработку должностных инструкций и положений об отделах, службах, подразделениях для документального фиксирования принятой организационной структуры управления;

– создание высокоэффективных интегрированных информационно-управляющих систем (ИИУС), построенных на основе малолюдных технологий.

Оптимизация организационной структуры управления ГДП неразрывно связана с обеспечением комплексной информационной поддержки производственных и технологических процессов. Необходимость построения ИИУС ГДП определяется, с одной стороны, высокой сложностью технологических объектов и происходящих в них процессов, с другой – требованиями к обеспечению эффективного функционирования как отдельных технологических установок и объектов, так и всего технологического комплекса в целом.

Внедрение ИИУС, основанной на малолюдных технологиях, должно быть направлено:

– на снижение влияния человеческого фактора на ход производственного процесса;

– сокращение численности персонала;

– снижение рисков при принятии управленческих решений.

К ИИУС предъявляются следующие требования:

– наличие согласованного пользовательского интерфейса;

– возможность распределять информацию как по вертикали, так и по горизонтали, в соответствии с организационной структурой управления;

– ИИУС должна обеспечивать представление информационной инфраструктуры как с точки зрения системного и сетевого управления, так и исходя из целей функционирования организации;

– быть распределенной как физически, так и логически.

При внедрении систем управления основанных на малолюдных технологиях следует придерживаться следующих принципов:

– применение устройств и датчиков повышенной надежности;

– применение технологического оборудования способного выполнять работу в широком диапазоне изменения режимов эксплуатации;

– комплексная автоматизация технологических и производственных процессов;

– снижение доли ручного труда.

Принципы малолюдных технологий касаются технических, организационных и экономических аспектов.

Технические аспекты принципов касаются технических решений, программного обеспечения и средств связи. Каждый из перечисленных элементов должен отражать направления для достижения главной цели, при этом учитывать организационные и экономические аспекты принципов.

Организационные аспекты принципов базируются на применении научных достижений в области организации, гигиены и безопасности труда.

Экономические аспекты принципов отражают экономическую сторону реализации технической и организационной сторон. Экономические аспекты принципов зависят от экономического окружения, внутреннего состояния финансов, возможностей по осуществлению инвестиций и множества других условий.

К организационным структурам управления, основанным на принципах малолюдных технологий, предъявляются следующие требования:

– повышение надежности и оперативности передачи информации;

– совершенствование процессов обработки информации (снижение стоимости обработки информации, повышение точности и оперативности расчетов);

– снижение рисков при принятии управленческих решений;

– снижение затрат на трудовые ресурсы;

– оптимизация затрат на производство продукции.

Оптимизацию организационной структуры управления ГДП необходимо проводить с учетом вышеописанных требований и принципов, а также с использованием различных организационных механизмов управления, в зависимости от уровня управления, сложившейся производственной ситуации и требований высшего руководства.

Автор предлагает проведение следующих работ по оптимизации организационной структуры управления организации на основе малолюдных технологий:

1. Диагностика существующей организационной структуры управления.

2. Определение целей и задач оптимизации организационной структуры управления, а также требований к новой структуре.

3. Разработка оптимальной организационной структуры управления в соответствии со стратегическими целями организации.

4. Реинжиниринг, формализация управленческих процессов, фаз процесса управления. Регламентация процессов управления.

5. Выделение подразделений, распределение функций, полномочий, зон ответственности, фаз управленческого процесса между подразделениями.

Использование реинжиниринга позволит осуществить проектирование более совершенных организационных систем управления путем последовательного проведения ряда этапов работ (рис. 1).

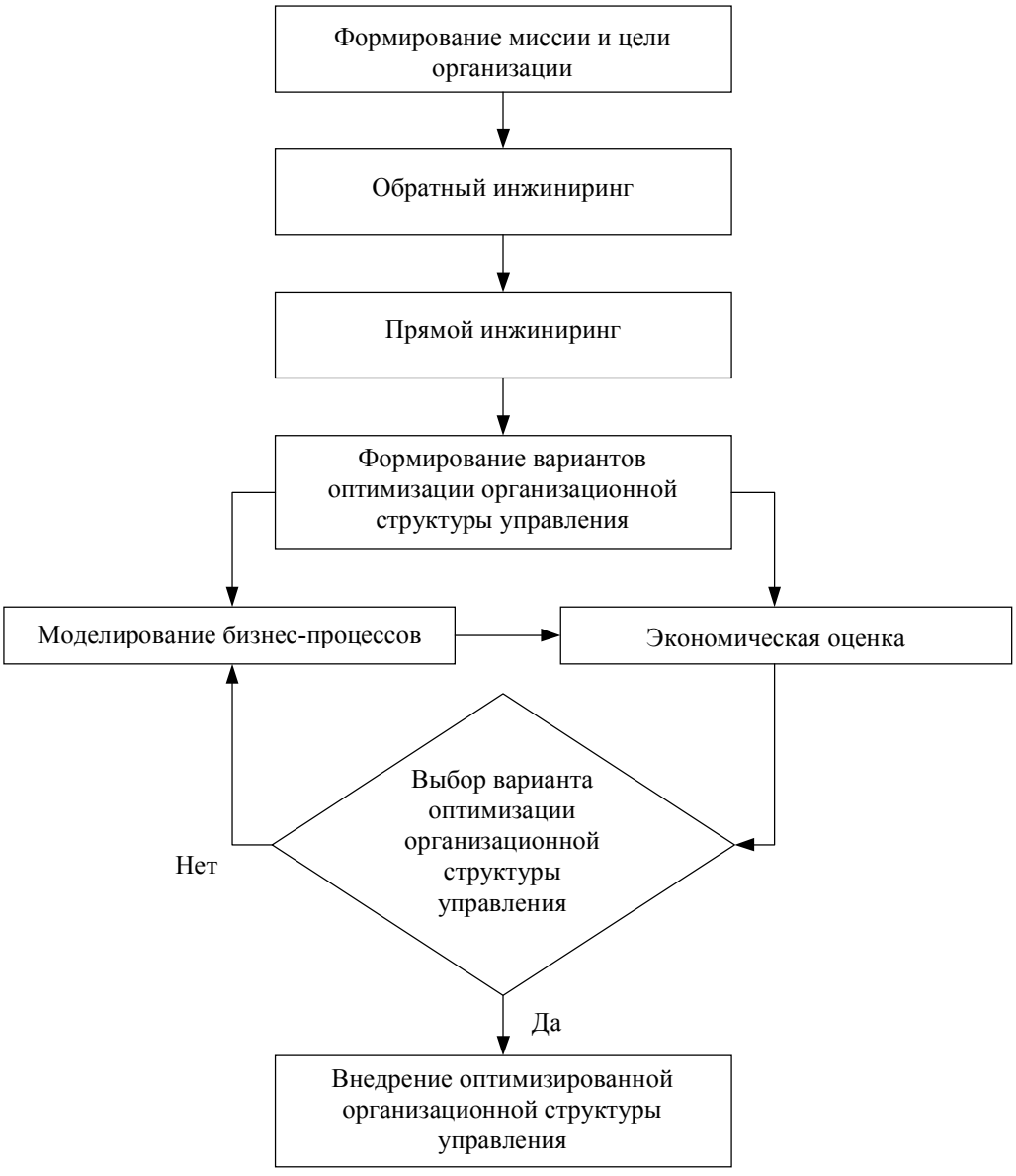


Рис. 1

На этапе обратного инжиниринга детально описывают действующую организацию, идентифицируют и документируют ее основные бизнес-процессы.

Прямой инжиниринг включает перепроектирование бизнес-процессов; определение способов использования инноваций в области информационных технологий (систем и подсистем ИИУС) и перемен в связи с этим в работе персонала; изменение различных видов работ, системы мотивации; разработку поддерживающих систем (информационных, ресурсных) и т. д.

Для определения эффективности функционирования систем управления и ИИУС в целом предлагается внедрить систему показателей эффективности, ориентированную на определение количественной оценки достижения поставленных задач перед ИИУС (рис. 2).

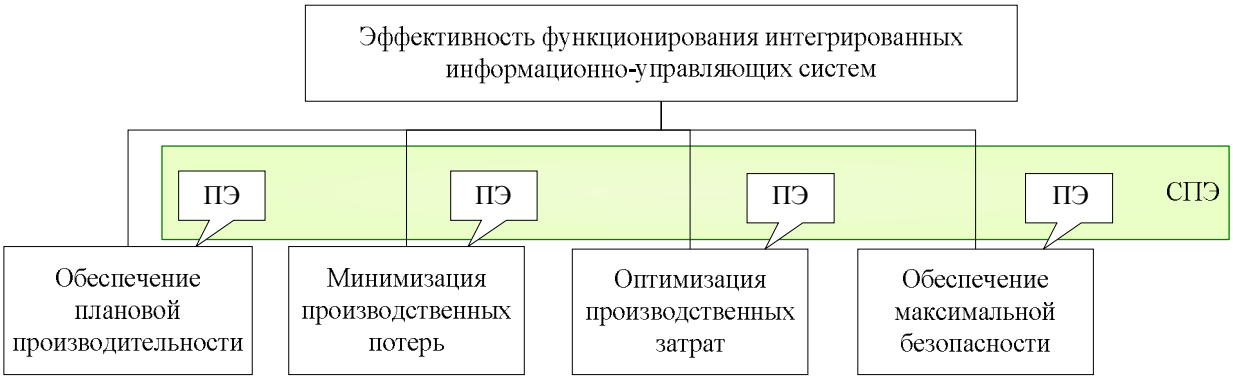


Рис. 2

Система показателей эффективности (СПЭ) включает в себя несколько групп показателей эффективности (ПЭ), направленных на количественную оценку достижения следующих актуальных задач:

– обеспечение плановой производительности;

– минимизация производственных потерь;

– оптимизация производственных затрат;

– обеспечение максимальной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данников В. Холдинги в нефтегазовом бизнесе: стратегия и управление. М.: Элвойс-М, 2004.

2. Дронова Л. А., Тумилевич Е. Н. Исследование систем управления: Учеб. пособие. Хабаровск: ХГАЭП, 2006.

3. Магомедов М. Н. Инновационные технологии в управлении организациями (предприятиями) (на примере газовой отрасли). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008.

M. N. Magomedov

OPTIMIZATION OF THE ORGANIZATIONAL MANAGEMENT STRUCTURE ON THE EXAMPLE OF THE GAS ENTERPRISE

In the article the basic aspects, requests and principles of construction of the optimised organizational structures of operation of business, on an example of the gas enterprise are resulted.

Organizational management structure, the gas enterprise, poorly populated technologies, principles of optimisation of organizational structures, the integrated information-operating system, system of indicators of efficiency

УДК 504.03:316; 504:34

Н. Ю. Виноградова

ИННОВАЦИОННЫЙ АСПЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОСОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

Рассматриваются проблемы применения инновационных технологий при реализации стратегии экологического менеджмента. Раскрываются основные принципы, функции и задачи экологического менеджмента и маркетинга для объектов промышленности.

Экосоциальная система, экологический менеджмент, инновационные технологии экологического менеджмента, экологизация экономики, экологически ориентированное управление производством, экологический маркетинг

За 3,5 млрд лет существования биосферы выработался механизм поддержания экологического равновесия естественных экосистем. Равновесие сохранялось до появления в истории жизни на Земле человека. Тогда появился новый способ приспособления к среде – ее изменение, преобразование, приспособление к своим нуждам.

В естественных экосистемах по мере исторического развития человека между живыми организмами и неживой природой встраивается посредник, контролирующий естественный обмен. Этим посредником является человек. С течением времени человек проникает в обменные процессы в экосистеме и преобразует их. При этом меняется характер обмена, он становится обусловленным. В результате естественные экосистемы трансформируются в экосоциальные системы, состоящие из неживой природы, живой природы и социосферы. Человек использует законы и свойства природы против нее самой, задавая природным процессам те направление, форму и темпы протекания, которые требуются ему.

В условиях деятельности человека экологическое равновесие стало выступать как соотношение ресурсно-экологических возможностей природы и хозяйственных потребностей человека. И если в естественной системе происходит саморегуляция всех подсистем экосистемы, то в экосоциальной системе общество берет на себя роль организатора жизни, роль управленца. Однако до недавнего времени это управление осуществлялось не в интересах сохранения и развития экосоциальной системы в целом, а в интересах сохранения и развития лишь одной ее части – самого человеческого общества. Пренебрежение «интересами» других подсистем – геосферы и биосферы, рассмотрение их в качестве средства увеличения комфорта социальной жизни оказывают дестабилизирующее воздействие на всю систему и нарушают экологическое равновесие [1].

В настоящее время сформировалось понимание зависимости благополучия общества от благополучия каждой подсистемы общей системы биосферы, понимание неприемлемости управления системой в эгоистических интересах людей за счет превышения максимально переносимых пределов эксплуатации природы. Следовательно, возникает необходимость выработки новой стратегии управления системой в целях ее оздоровления. Этим целям, в частности, служит экологический менеджмент.

В условиях современного состояния среды обитания на урбанизированных территориях стратегией экологического менеджмента является научно обоснованная направленность развития системы «человек–биосфера», ведущая к совместной эволюции природы и общества, на основе которой разрабатываются методологические и организационные основы управления [2].

Уровень жизни человека напрямую связан с потреблением природных ресурсов до тех пор, пока среда самостоятельно восстанавливает свои качества. Как только темпы использования природных ресурсов превышают темпы самовосстановления среды жизнедеятельности, человек, чтобы выжить, должен тратить новые ресурсы и энергию на поддержание качества окружающей среды. В эпоху товарно-денежных отношений экологическое равновесие выступает как своеобразный товар. Его стоимость включает прямые затраты на охрану окружающей среды и косвенные, связанные с отказом от перспективных экономически, но пагубных начинаний.

В связи с поисками выхода из экологического кризиса активизировались попытки построить научную теорию взаимодействия природы и общества. Идет научный поиск основных законов оптимизации взаимодействия общества и природы, которые стали бы законами саморегуляции системы «общество–биосфера». Среди этих законов центральное место принадлежит закону оптимального соответствия характера общественного развития состоянию природной среды [3].

На основе Концепции устойчивого развития общества, одобренной на конференции по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро («Рио–92»), в России разработан и одобрен Государственной думой и Правительством РФ национальный вариант Концепции. Он рекомендован регионам страны для конкретизации и исполнения.

Согласно модели устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов предполагается: снижение уровня давления на окружающую среду; улучшение качества окружающей среды по отслеживаемым параметрам чистоты атмосферы, гидросферы, почвы, продуктов питания; снижение объемов отходов производства; сохранение биологического разнообразия; повышение уровня и качества жизни населения, в том числе увеличение средней продолжительности жизни. Теоретическое обоснование и практическая деятельность по указанным направлениям должны лечь в основу стратегии развития системы управления производством и потреблением. Эти задачи и являются главными для экологического менеджмента на предприятиях.

Концепция устойчивого развития предполагает систему мер по обеспечению экологической безопасности. Экологическая безопасность – состояние защищенности биосферы и человеческого общества от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на окружающую природную среду. В понятие экологической безопасности входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций. Экологическая безопасность на региональном и локальном уровнях реализуется администрацией территории, промышленными предприятиями, учреждениями социальной сферы.

Региональный уровень включает крупные географические или экономические зоны. На этом уровне система управления экологической безопасностью включает: экологизацию экономики; новые экологически безопасные технологии; сохранение оптимальных темпов экономического развития, не препятствующих восстановлению качества окружающей среды и способствующих рациональному использованию природных ресурсов.

Локальный уровень включает города, районы, предприятия промышленности, а также учреждения, осуществляющие контроль выбросов, стоков и др. Управление экологической безопасностью осуществляется на уровне администрации отдельных городов, районов, предприятий с привлечением соответствующих служб, ответственных за санитарное состояние и природоохранную деятельность.

Экономические соображения остаются главным препятствием для любого рода разумного планирования с целью долговременного использования окружающей среды. Эта проблема возникает из-за резкого несовпадения рыночных и нерыночных ценностей. Независимо от политической системы, в разных странах промышленные товары и услуги, такие как автомобили или электроэнергия, оцениваются очень высоко. Тогда как важные для жизни блага и услуги природного происхождения, вроде очистки воды и воздуха и их возобновления, остаются обычно вне экономической системы и обладают очень низкой денежной стоимостью или не обладают ею вовсе (следовательно, соответствуют «нерыночным» ценностям).

Классифицируя ценности на рыночные и нерыночные, следует отметить, что к рыночным ценностям относятся в основном производимые товары и услуги. На рынке свободного предпринимательства они распределяются по законам спроса и предложения посредством неограниченной конкуренции. Нерыночные ценности – это главным образом товары и услуги природы, их иногда называют «свободными» или «общими», или «общественными» товарами и услугами. Обычно эти «бесплатные» ценности существуют вне рыночной экономики.

Изменение системы общественных ценностей должно происходить по линии включения в их число стоимости ресурсов природы, выраженной в денежном эквиваленте. Целям новой стратегии для оздоровления экосоциальной системы служит, в частности, экологический менеджмент. Экологическим менеджментом называется безопасное управление природными процессами, которое определяется как биологическими особенностями объекта управления, так и социально-экономическими возможностями управляющего. В таком случае, предметом экологического менеджмента можно считать процесс управления современным производством, которое обеспечивает сочетание эффективности производства с охраной среды обитания человека и с рациональным использованием природных ресурсов.

Структура экологического менеджмента включает основные факторы, определяющие благоприятную обстановку для его осуществления. К ним относятся формирование нового мировоззрения, в котором будут преобладать экологические приоритеты и ценности; развитие экологического образования в направлении овладения экологическим менеджментом; мониторинг экологических ситуаций; разработка общей стратегии развития общества; экономическое и финансовое обеспечение экологического менеджмента.

Основными принципами экологического менеджмента для объектов промышленности являются: опора на развитие экологического сознания и экономического мотивирования; ответственность за экологические последствия всех управленческих решений; интеграция управления экологическими процессами; последовательность (непрерывность, поэтапность) решения проблем экологического развития.

Само управление состоит из оценки состояния окружающей среды, контроля изменения ее параметров, прогноза, принятия решений, их реализации через производственные структуры с помощью структур управления [4].

Инновационной технологией при реализации стратегии экологического менеджмента можно считать безопасное управление природными процессами, которое предполагает контроль качества среды обитания. Уровень экологического контроля зависит от экономического и культурного развития общества. Чем более развито общество, тем эффективнее реализуются процессы социально-экологического управления средой обитания. Социально-экологическому контролю подлежат все

компоненты системы «природа–человек». Особенность иерархических систем управления заключается в том, что информация о состоянии объекта контроля может быть получена лишь с нижних уровней управляемой системы. А это предопределяет особые (основанные на доверии) отношения между контролирующей и управляющей системами и системой производства. Отсюда концепция современных информационно-управляющих природоохранных систем основывается на знании законов саморегуляции природных систем, на знании возможного предела вмешательства человека в эти саморегулируемые системы, за которым находятся необратимые катастрофические последствия.

Основными требованиями к осуществлению технологии безопасного управления можно считать гарантию достижения природоохранной цели путем выявления отклонений от нормативных значений контролируемых величин; отражение в планах производства природоохранной деятельности предприятий; эффективность организационной структуры контроля защиты окружающей среды; индивидуальный подход к контролю.

Поскольку экологическая оценка имеет много неопределенностей, то полезна экспертная оценка состояния окружающей среды, она применяется в сложных и критических условиях. Правовое обеспечение контроля состоит в выполнении законов обеспечения сохранности окружающей среды, а также норм правового регулирования использования воды, воздуха, почвы, недр и т. д.

Технологический контроль связан с соблюдением технологического режима производства, который регулируется нормами и требованиями по обеспечению экологической безопасности среды производства и продукции. Отвечают за технологическое обеспечение производства руководитель предприятия, главный инженер, технолог и эколог-менеджер. Нарушение технологического режима и регламента производства в погоне за прибылью – обычное явление при залповых выбросах и создании аварийной ситуации на вредных производствах.

Экономический контроль окружающей среды заключается в предпочтении экологически чистого производства и продукта. Налоговый прессинг должен возрастать по отношению к вредному производству и вредному продукту.

К инновационным технологиям экологического менеджмента следует отнести технологию информационного обеспечения процесса решения экологических проблем. Основными этапами технологии являются сбор, обработка, анализ, синтез данных, построение моделей, создание баз данных для пользователей. Кроме того, инновационными технологиями можно считать экологическое моделирование и мониторинг. Экологическое моделирование занимается изучением экологических объектов и процессов на их моделях для выработки рекомендаций по координированию форм и масштабов хозяйственной деятельности с изменяющимися условиями среды. Мониторинг – система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды и систем, находящихся в условиях антропогенных воздействий.

Экологическая ситуация в России требует перехода от дискретного к непрерывному процессу учета экологического фактора в процессе жизнедеятельности общества в рамках сохранения качества окружающей среды.

Экологический менеджмент предполагает, что предприятие и его продукция определяют структурную связь между ними и окружающей средой. Если предприятия не станут экологически безопасными, то и проблема экологической безопасности решена быть не может.

Совокупность управленческих, технологических, финансово-экономических мероприятий, направленных на снижение давления предприятий на окружающую среду (в рамках восстановления ее качеств) при сохранении целей производства, составляет экологизацию экономики.

Экологический менеджмент – это система управленческих рычагов, обеспечивающая эффект в области допустимых темпов экономического развития в рамках допустимого давления на окружающую среду.

Можно выделить следующие три стадии экологического менеджмента.

1. На стадии *выбора* при решении о строительстве нового предприятия, реконструкции или модернизации старого необходимо соблюдение принципа экологизации экономики производства. Здесь предусматривается разработка схемы безопасности продукции всего жизненного цикла.

2. *Моментальный анализ* подразумевает моментальное тестирование выбираемой модели производства из многочисленных вариантов уже имеющихся проектов. Моментальный анализ – это таблица или матрица с набором соответствующих параметров, анализ которых (в баллах) позволит сделать предварительный выбор направления дальнейшей деятельности по созданию, реконструкции или модернизации.

3. На *предпроектной стадии* данные моментального анализа преобразуются в программу действий по формированию экологического бизнес-плана. Бизнес-план исследует сильные и слабые стороны предприятия, а также открывающиеся возможности и опасности [5].

Важнейшая задача экологического менеджмента состоит в предотвращении угрозы для окружающей среды, в возможности роста предприятия. Основной принцип – затраты на окружающую среду должны окупаться.

Выгодность рационального и сбалансированного природопользования для предприятия реализуется через экономические и стратегические выгоды:

– снижение издержек в результате экономии природных ресурсов, рециркуляции, переработки отходов, снижение платежей за штрафы;

– рост доходов за счет «зеленых» товаров, конкуренции, новых рынков сбыта;

– имидж предприятия;

– рост производительности труда;

– выполнение экологических требований без излишнего напряжения.

Структурная перестройка экономики должна проводиться в условиях изменения законодательства в области экологизации экономики, т. е. ужесточения государственных стандартов технологических процессов, обеспечивающих восстановление качества среды обитания, получение продукции, которая бы не наносила ущерба природным объектам в течение всего жизненного цикла.

Экологически ориентированное управление производством представляет собой систему планирования и контроля на разных этапах:

1. Составление производственной программы. Если это новое предприятие, то программа предусматривает последовательность соблюдения стадий проектирования, экспертизы, получения разрешительной документации и т. д. Если модернизируется старое предприятие, речь идет о снятии с производства экологически вредной продукции, замене устаревшего оборудования и старой технологии на новую.

2. Календарное планирование подготовки и проверки состояния работы оборудования.

3. Производственный контроль.

4. Планирование и контроль качества.

Важнейшей мерой экологического контроля на предприятии является экологическая ревизия. Она предусматривает систематическую документально подтверждаемую оценку руководства предприятия с экологических позиций. Достигается это созданием системы экологического контроля на предприятии.

Крупные предприятия могут создать у себя экологическую службу высокого уровня, что требует больших расходов, которые чаще всего окупаются и приносят экономический эффект. Средние предприятия могут содержать специалиста в ранге менеджера-консультанта по экологическим вопросам. Крупные вопросы экологического аудирования решаются обращением к аудиторским, консультативным, инжиниринговым фирмам.

Главная задача аудита – поиск возможностей избежать последствий загрязнения окружающей среды, которые могут привести предприятие не только к потере части прибыли, но и к закрытию производства.

В условиях реструктуризации экономики изменяется структура финансирования предприятий в части природоохранной деятельности – увеличивается использование средств самого предприятия на решение собственных экологических проблем при сокращении бюджетных ассигнований.

Естественно, в финансировании природоохранной деятельности большую роль играют бюджеты всех уровней. Главное в использовании средств бюджета – участие предприятий в реализации крупных экологических программ федерального, республиканского или муниципального уровня.

Средства, используемые на охрану окружающей среды, могут быть получены предприятием:

– в процессе применения более дешевых ресурсов;

– за счет снижения энергетических затрат на единицу продукции;

– путем внедрения современных ресурсосберегающих технологий;

– за счет получения экологически чистой продукции, повышающей конкурентоспособность предприятия;

– в результате переработки отходов.

Если экологический менеджмент имеет целью управление современным производством в рамках допустимого давления на окружающую среду, то экологический маркетинг – это совокупность организационно-технических и коммерческих мероприятий по изучению рынка, производству экологических услуг с учетом развития ситуации на этом рынке и вопросов продвижения экологических услуг потребителю.

Современные аспекты экологического маркетинга связаны с быстрым развитием технологий и процессов, снижающих неблагоприятное воздействие на окружающую среду, а также с ускоренным формированием рынка экологических услуг, который требует соответствующего развития маркетинговых средств управления [6].

Эффективность внедрения на предприятиях экологических мероприятий и системы экологического управления выражается в прямых выгодах, связанных с возможностью расширить рынок сбыта продукции, избежать лишних расходов, снизить издержки, сберечь основные фонды, получить инвестиции, и в косвенных выгодах, включающих улучшение мотивации сотрудников, отношений с местными властями и репутации учреждения.

В России значительные возможности для становления экологических услуг возникли с развитием частного сектора. В стране растет численность малых предприятий, которые могут оказывать существенное влияние на окружающую среду. Экологический маркетинг является основой сотрудничества в области развития экологически приемлемого предпринимательства.

Учитывая комплексность экологического маркетинга необходимо определить ведущую концепцию его управления. Ею является концепция социально-этического маркетинга. Согласно этой концепции задачей организации является установление нужд, потребностей и интересов целевых рынков и обеспечение желаемой удовлетворенности более эффективными способами с одновременным сохранением и укреплением благополучия и безопасности потребителя и общества в целом. В экологическом маркетинге спектр востребованных услуг зависит от воздействующих экологических факторов, оказывающих влияние на состояние здоровья человека и окружающую среду. Это является особенностью услуг в экологическом маркетинге. В общем смысле технология экологического маркетинга – это комплекс последовательных действий, направленных на научно-практическое решение проблем в области управления экосоциальной системой.

В заключение следует отметить, что, чем выше уровень технологического производства и всей человеческой деятельности, тем выше должна быть степень развития самого человека, его взаимодействия с окружающей средой. Соответственно, должна сформироваться новая гуманистическая культура, в которой человек будет рассматриваться как самоцель общественного развития. Отсюда и новые требования к личности: в ней должны гармонически сочетаться высокая квалификация, виртуозное владение техникой, предельная компетенция в своей специальности с социальной ответственностью и общечеловеческими нравственными ценностями.

В целях позитивного реформирования социально-экономических процессов, протекающих в России, необходимо беспристрастно изучать все стороны общественной жизни. При этом путь, выбираемый для ее совершенствования, может пролегать не только через прогресс технологий, но и через управление состоянием экосоциальных систем и процессами антропогенного давления на природу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша. М.: Мир, 2007.
2. Войткевич Г., Вронский В. Основы учения о биосфере. Ростов на/Д.: Феникс, 2009.
3. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 2008.
4. Акофф Р. Планирование в больших экономических системах. М.: Прогресс, 2006.
5. Модели и механизмы управления безопасностью / В. Н. Бурков, Е. В. Грацианский, С. И. Дзюбко, А. В. Щепкин. М.: СИНТЕГ, 2008. (Сер. «Безопасность»).
6. Гордин В. Э.Социальная политика и социальный маркетинг // Финансовый директор. 2006. № 2. С. 11–14.

N. Y. Vinogradova

INNOVATIVE ASPECT OF MANAGEMENT ENVIRONMENTAL SOCIOLOGY SYSTEM

Problems of innovative technologies application are considered in realisation ecological management strategy. Main principles, functions, ecological management problems and marketing for objects of the industry reveal are in that article.

Environmental sociology system, ecological management, innovative technologies of ecological management, environmental economics, ecologically focused production management, ecological marketing

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 001.1+1

В. В. Калинина

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КИБЕРНЕТИКИ: ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ

Рассматриваются основные этапы становления кибернетики как науки. Анализируются сложности развития кибернетики в СССР. Выделяются приоритетные направления кибернетических исследований в отношении человека и социума в настоящее время.

Кибернетика, управление, сложные системы, искусственный интеллект, психика, социум

Современное поколение является свидетелем стремительного развития науки и техники. Рисуя картины жизни будущего общества, авторы фантастических произведений часто представляют, что всю работу будут выполнять машины, а роль человека сведется лишь к тому, чтобы, наблюдая за работой этих машин, нажимать на пульте соответствующие кнопки, отвечающие за управление определенными операциями.

Однако современный уровень развития науки и техники позволяет ставить и разрешать задачи создания новых устройств, которые освободили бы человека от необходимости следить за производственным процессом и управлять им, т. е. заменили бы собой оператора, диспетчера. Появился новый класс машин – управляющие машины. Их создание позволяет перейти от автоматизации отдельных станков и агрегатов к комплексной автоматизации конвейеров, цехов, целых заводов, а в идеале… к автоматизированному управлению обществом в целом?

Киберне́тика (от др.-греч. κυβερνητική / kybernetike – «искусство управления»; kybernao – «правлю рулем, управляю»; κυβερνήτης / kybernētēs – «кормчий», в частности от этого корня происходят слова «губернатор» или англ. government – «правительство») – наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в системах живой и неживой природы естественного и искусственного происхождения.

Объектом изучения кибернетики является процесс управления в любой системе. Субъектом управления может выступать природный интеллект (человек) или искусственный интеллект. Объекты управления так же могут быть естественными (человек, социум, природные процессы) или искусственными (техника, искусственный интеллект – в частности).

Кибернетика – типичная метанаука, из которой в процессе ее развития выделяются более «узкие», конкретные науки, которые продолжают жить самостоятельно. Существует ли вероятность того, что сама метанаука, в конечном итоге, перестанет существовать как целое, превратившись в свод наук? Это представляется маловероятным. Здесь можно провести аналогию с философией. Обобщающий характер кибернетических идей и методов сближает науку о закономерностях процесса управления с философией. От последней отпочковалась большая часть (если не все) современные науки. Но философия при этом не исчезла, а продолжает продуцировать новое знание и сохранять свой самостоятельный статус. То же происходит и с кибернетикой: пока есть специфический объект исследования – управление в целом, она сохраняет свою самостоятельность и статус фундаментальной науки. Кибернетика дает возможность более глубоко раскрыть механизм организации материи, обогащает содержание таких категорий, как связь, причинность, позволяет более детально изучить диалектику необходимости и случайности, возможности и действительности. Этим она весьма полезна философии. При взаимодействии кибернетики и философии разрабатывается «кибернетическая» гносеология.

Задача обоснования исходных понятий кибернетики таких как информация, управление, обратная связь и другие требуют выхода в более широкую – философскую – область знаний, где рассматриваются виды и атрибуты материи. Философская мысль уже многого достигла в анализе кибернетики. Было показано, сколь многообещающим в философском плане является рассмотрение в свете кибернетики таких вопросов и понятий, как природа информации, цель и целенаправленность, соотношение детерминизма и индетерминизма, теологии и науки. Сегодня в условиях становления информационного общества, когда наиболее востребованными специальностями являются специальности, связанные с программированием и управлением, важно провести философский анализ наиболее актуальных проблем современного управления, исходя из истории и сущности кибернетики.

Наиболее раннее упоминание о кибернетике мы встречаем в сочинениях Платона, который в одних случаях называет кибернетикой искусство управления кораблем или колесницей, а в других – искусство править людьми. Г. Лейбниц (1646–1716) в своей монадологии предлагает идею многоагентных систем, которая лежит в основе современной кибернетики. Философская проекция техники на биологию человека, имеющая место в кибернетическом исследовании, представлена в знаменитом труде французского материалиста Ж.-Ж. Ламетри (1709–1751) «Человек-машина» (1747).

Слово «cybernétique» использовалось практически в современном значении в 1830 г. французским физиком и систематизатором наук А. Ампером (1775–1836) для обозначения науки управления в его системе классификации человеческого знания: «Отношения народа к народу, изучаемые … предшествующими науками, – лишь небольшая часть объектов, о которых должно печься правительство… Оно постоянно должно выбирать между различными мерами, наиболее пригодными для достижения цели; и лишь благодаря глубокому изучению и сравнению разных элементов… оно способно управлять в соответствии со своим характером, обычаями, средствами существования, процветания, организацией и законами, которые могут служить общими правилами поведения и которыми оно руководствуется в каждом особом случае. Итак, только после всех наук, занимающихся этими различными объектами, надо поставить эту, о которой сейчас идет речь и которую я называю кибернетикой, от слова

κυβερνητιχη; это слово, принятое в начале в узком смысле для обозначения искусства кораблевождения, получило употребление у самих греков в несравненно более широком значении искусства управления вообще» [1, с. 152].

Окончательно кибернетика как наука сформировалась благодаря трудам Н. Винера, А. Мак-Каллока, У. Р. Эшби и У. Г. Уолтера. Термин в современном его значении ввел Н. Винер (1894–1964), считающийся отцом-основателем кибернетики. Н. Винер решил ввести неологизм «кибернетика» как заглавие научной теории. Это название было придумано, чтобы обозначить исследование «целенаправленных механизмов», и было популяризировано с помощью его книги «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине» (1948). В этой работе Н. Винер показал, что человеческий мозг действует наподобие электронных вычислительных машин с двоичной системой исчисления.

Некоторые зарубежные исследователи, признавая конкретные достижения отдельных русских и советских ученых в области кибернетики, по праву называют второй родиной этой науки Советский Союз [2]. Отечественная кибернетика в течение XX в. пережила ряд взлетов и падений. Академик В. М. Глушков (1923–1982) определял кибернетику как науку об общих закономерностях, принципах и методах обработки информации и управления сложными системами, при этом ЭВМ трактовалась им как основное техническое средство кибернетики. Созданное В. М. Глушковым семейство ЭВМ «МИР» было прообразом персональных компьютеров.

Для разработки основного технического средства кибернетики был создан в 1948 г. ИТМВТ – Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева. В 1958 г. была запущена в серию машина М-20, которая в то время стала самой быстродействующей ЭВМ в мире, а также М-40 и М-50, ставшие «кибернетическим мозгом» советской противоракетной системы. К середине XX в. в СССР была создана новая мощная отрасль науки и техники – кибернетика, открыты научно-исследовательские институты и заводы, производящие кибернетические устройства, появились научные школы, были подготовлены кадры, написаны учебники, в вузах начали читать новые дисциплины, готовить специалистов по кибернетике. Самобытный путь развития советской вычислительной техники был прерван решением, принятым в 1967 г. руководством СССР, – перейти на американскую вычислительную технику, запустить в производство машины IBM-360 под названием Единая Система «Ряд».

Если анализировать отношение к кибернетике в Советском Союзе, то следует отметить, что оно было неоднозначным. До того времени, пока интересы кибернетики простирались в сфере собственно науки и производства и ее идеи не расходились с государственной идеологией, ее поддерживали на государственном уровне, но как только в сферу научных интересов кибернетики попал социум, она пересеклась с политикой. Как нам представляется, именно попытки кибернетики обусловить социально-экономическую систему, в частности в СССР, привели ее в затруднительное положение. Идеологи марксизма-ленинизма усмотрели в ней опасность. С точки зрения марксистско-ленинской идеологии, социализм – есть издержка общественного развития, необходимая для перевоспитания личности. Личностью в Советском Союзе считался человек, поддерживающий марксистско-ленинскую идеологию. Не подлежащие перевоспитанию в духе господствовавшей идеологии члены общества в большинстве своем должны быть (и были) уничтожены. Марксизм-ленинизм – это идеология, а идеология не приемлет критики. Кибернетика же с научных, а не с чисто философских пози-

ций подходила к управлению. Любая наука на основе доказательной базы призвана поставлять новые истинные знания. Именно в научности кибернетики была особая угроза для существующей системы управления.

Логичным выходом из данной ситуации было объявить кибернетику ненаучным знанием. В СССР в философский словарь 1954 г. издания попала характеристика кибернетики как «реакционной лженауки». В нем кибернетика определяется как универсальная наука «о связях и коммуникациях в технике, о живых существах и общественной жизни, о «всеобщей организации» и управлении всеми процессами в природе и обществе». Однако кибернетике в статье даются весьма нелестные характеристики, например: «форма современного механицизма», «отрицает качественное своеобразие закономерностей различных форм существования и развития материи», «рассматривает психофизиологические и социальные явления по аналогии… с электронными машинами и приборами, отождествляя работу головного мозга с работой счетной машины, а общественную жизнь – с системой электро- и радиокоммуникаций», «по существу своему… направлена против материалистической диалектики, современной научной физиологии, обоснованной И. П. Павловым», «ярко выражает одну из основных черт буржуазного мировоззрения – его бесчеловечность, стремление превратить трудящихся в придаток машины, в орудие производства и орудие войны», «под прикрытием пропаганды кибернетики в странах империализма происходит привлечение ученых… для разработки новых приемов массового истребления людей – электронного, телемеханического, автоматического оружия» [3, с. 236–237]. Искусственное принятие решений в управлении полагалось, с точки зрения официальной идеологии СССР, возможным, когда речь шла о технике, и абсолютно неприемлемым, когда речь шла о человеке и социуме. Во избежание подобных ошибочных суждений в настоящее время становится очевидной необходимость детальной разработки философских основ кибернетики, освещение ее основных положений с позиции философского познания.

Постепенно становясь все более значимой в области искусственного интеллекта и биологических машинных интерфейсов (т. е. киборгов), кибернетика, лишившись государственной поддержки в основной области своего применения, стала интегрироваться в другие сферы жизни общества.

Современная кибернетика – это междисциплинарная область исследования, объединяющая системы управления, теории электрических цепей, машиностроение, логическое моделирование, эволюционную биологию, неврологию и др. Сегодня кибернетика находит широкое применение в биологии, социологии, экономике, политике, психологии.

Теория и практика кибернетики непосредственно базируются на применении математических методов при описании и исследовании систем и процессов управления, на построении адекватных им математических моделей и решении этих моделей на быстродействующих ЭВМ. Таким образом, одним из основных методов кибернетики является метод математического моделирования систем и процессов управления.

До недавнего времени в биологических и социально-экономических науках современные математические методы применялись в весьма ограниченных масштабах. Только последние десятилетия характеризуются значительным расширением использования в этих областях теории вероятностей, математической статистики, математической логики, теории

алгоритмов, теории множеств, теории графов, теории игр, корреляционного анализа, математического программирования и других математических методов.

Объектом кибернетических исследований могут выступать системы, которые управляются на основе сознательно принятых решений, т. е. управляются человеком. Очень трудно чисто умозрительно просчитать последствия того или иного решения или из множества существующих вариантов выбрать наилучший. В реальной жизни поставить эксперимент зачастую невозможно. В таком случае необходимо прибегнуть к математическому моделированию. С помощью математической модели можно составить, например, годовой план работы предприятия достаточно быстро и при этом соответственно целям и задачам руководителя, принимающего решения. На составление такого плана без математического моделирования могут уйти месяцы.

Математические модели являются адекватным описанием реальности. Помимо чисто практического, утилитарного аспекта можно выделить еще и теоретический, фундаментальный аспект. Это изучение свойств некоторых абстрактных моделей, природной реализации которых не существует. Математическая кибернетика занимается построением алгоритмов, позволяющих отыскивать решения на этих моделях, и в то же время проводит исследования этих алгоритмов, т. е. производятся некие заготовки, которые могут понадобиться нам в будущем в реальной жизни для исследования реальных систем.

К основным методологическим принципам кибернетики относится применение системного и функционального подходов при описании и исследовании сложных систем.

Актуальной проблемой современной кибернетики как в естественно-научном, так и в социально-гуманитарном контекстах является проблема взаимодействия человека и компьютера. Исследование процессов управления в живых организмах в отечественной науке началось еще во второй половине XIX в. Русский физиолог И. М. Сеченов (1829–1905) заложил основы рефлекторной теории и высказал весьма смелое для своего времени положение, что мысль о машинности мозга – клад для физиолога. Блестящие работы выдающегося ученого И. П. Павлова (1849–1936) обогатили физиологию высшей нервной деятельности учением об условных рефлексах и формулировкой принципа обратной афферентации, являющегося аналогом принципа обратной связи в теории автоматического регулирования. Эти труды стали основой и отправным пунктом для ряда исследований в области биологической кибернетики. Работы английского биолога У. Р. Эшби «Конструкция мозга» (1952), «Введение в кибернетику» (1958) и др., принесшие ученому широкое признание, стали фундаментальными в области кибернетики, и биологической кибернетики в частности.

В настоящее время трансформация взаимодействия человека и компьютерных технологий приобретает форму социально-биологического кризиса современной цивилизации. В период формирования человеческого общества биологическая организация человека постепенно приспособилась к физической трудовой деятельности. Под ее воздействием развивался мозг, совершенствовались нервная система и органы чувств. Формирование индустриальной и постиндустриальной цивилизации, возникновение компьютерного труда повлекли за собой качественное изменение физических нагрузок на организм. Взаимосвязь биологических и социальных факторов в развитии человека эволюционирует вместе с техникой. Однако биологические приспособительные механизмы работают гораздо медленнее, чем развивается современная техника и меняется образ жизни. Неизбежно возникает более или менее сильное рассогласование ме-

жду биологическими возможностями человека и новой техникой, технологическими процессами, новым ритмом жизни, поэтому необходимы специальные мероприятия по усилению согласования реальностей общественной жизни и биологических возможностей человека. Это противоречие не может разрешиться само собой.

Кибернетика, способствующая возникновению вышеуказанной дисгармонии, должна взять на себя важные задачи и в ее преодолении. Отслеживание происходящих изменений и устранение противоречий – одно из условий эффективного управления. Исходя из биологической составляющей человека коренное устранение рассогласования биологии и техники – невозможно, но коррекция вполне реальна.

В обозримой исторической перспективе будут усиливаться потребности в трансформации условий труда и в различных видах рекреационной деятельности с целью гармонизации физических, психических сил человека и нагрузок на организм. Могут возникать новые виды потребностей, связанные с изменением биологических условий существования человека. А значит, одной из задач кибернетики является выработка новых методов эффективного управления с целью согласования технической реальности и бытия человека в условиях становления информационного общества.

Взаимодействие человека и техники – комплексная проблема, один из аспектов которой – взаимодействие психики и техники – изучается такими прикладными науками, как эргономика, психотехника и др. Как обезопасить психику от чрезмерного влияния техники, как корректировать проблемы психики при помощи техники, как совершенствовать технику до уровня психики – аспектов данной проблемы много. Большие перспективы открываются перед психологией в деле применения кибернетических методов для анализа процесса мышления, поскольку мышление во многих случаях, в частности при решении возникающих перед человеком различных практических задач, функционирует как управляющая система. Необходимо, однако, иметь в виду, что эта деятельность мышления значительно отличается от операций технических управляющих систем, созданных человеком. Отличие это заключается, прежде всего, в степени формализации или детерминации процесса управления. В «мыслящих машинах» этот процесс строго детерминирован вложенной в них человеком программой; такие машины действуют строго по заданному им алгоритму. Это остается справедливым также и в отношении так называемых самоуправляющихся машин, поскольку широкий диапазон и большая вариативность их функций не могут все же выйти за пределы вложенного в них человеком алгоритма. Между тем, мышление человека совершенно не формализовано, отличается универсальностью и практически обладает неограниченным числом степеней свободы, ему свойственны очень широкие и гибкие возможности. До настоящего времени удалось переложить на машины лишь очень ограниченное число простых мыслительных операций. Машина не может мыслить по определению. Машина – усилитель тех или иных возможностей человека.

Перед психологией в связи с применением кибернетических методов исследования встает вопрос о том, какие психические функции допускают алгоритмирование. Известно, что даже в области математики установлен ряд проблем, которые принципиально не могут быть алгоритмированы. Может ли машина выйти за пределы вложенного в нее человеком алгоритма? Наше мнение – нет, не может. Но это очень плодотворная почва для воображения и философствования. А, как известно, с этого и начинаются революционные научные открытия…

Современные компьютеры обрабатывают такие массивы информации и с такими скоростями, которые казались фантастическими одно-два десятилетия назад. Но ради чего этот прогресс? С какой целью наращиваются и реализуются подобные потенциалы, совершенствуются компьютерные технологии? Какую конечную цель ставит перед собой кибернетика? Целью любой человеческой деятельности, в том числе и научной, любого управления, осуществляемого человеком, является обогащение. Последнее же, в свою очередь, можно разделить на два вида – материальное и духовно-нравственное. С точки зрения самой кибернетики, человеку и человеческому обществу необходимы и материальная, и духовная составляющие.

А. Н. Колмогорова в последнем интервью спросили, что же будет дальше с человечеством, с научно-техническим прогрессом? В ответ он процитировал астрофизика И. Шкловского – наступит такое время, когда человечество устанет от научно-технического прогресса [4]. Может быть, для некоторых такое время наступило, но в целом до усталости еще далеко. Люди по-прежнему стремятся к обогащению, чтобы было лучше, больше, быстрее – стремятся, например, обрабатывать информацию со все большей и большей скоростью. Одни просто получают удовольствие от скорости и доступности информации, другие извлекают из этого финансовую прибыль, удовлетворяют властные амбиции. Очевидно, что научный, и в частности информационный, прогресс сам собою не остановится, ведь это противоречит самой сущности науки. Развитие информационных технологий оснащает кибернетику новыми средствами, а значит, позволяет ставить перед собою более сложные и масштабные цели, совершенствует и расширяет возможности управления. Поэтому следует поддерживать кибернетические исследования на государственном уровне. Кибернетика как перспективная область научного познания привлекает к себе все большее внимание философов. Осмысление кибернетических понятий с позиции философии будет способствовать более успешному осуществлению теоретических и практических работ в этой области, создаст лучшие условия для эффективной работы и научного поиска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кибернетика ожидаемая. Кибернетика неожиданная. СПб.-М.: Наука, 1968. 311 с.

2. Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems & the Economic World. Boston: Basic Books, 1995. 528 p.

3. Краткий философский словарь / под ред. М. Розенталя и П. Юдина. 4 изд., доп. и испр. М.: Государственное издательство политической литературы, 1954. 704 с.

4. Куда исчезла кибернетика? Круглый стол «НБС» // Наука в Сибири. Еженедельная газета СО РАН. № 37. 27 сентября 2007 г.

V. V. KALININA

HISTORY OF FORMATION AND MODERN PROBLEMS OF CYBERNETICS: THE PHILOSOPHICAL ANALYSIS

The basic stages of formation of cybernetics as sciences are considered. Complexities of development of cybernetics in the USSR are analyzed. Priority directions of cybernetic researches concerning the person and society are allocated now.

Cybernetics, management, difficult systems, artificial intellect, mentality, society

Сведения об авторах

Алексеев Владимир Васильевич

Профессор, зав. кафедрой информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ, д-р техн. наук

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

Бабичев Дмитрий Анатольевич

Магистрант группы № 4102 СПбГЭТУ.

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

Ваганов Михаил Александрович

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

Тел.: (812) 234-23-90. E-mail:MAVaganov@mail.eltech.ru.

Виноградова Наталья Юрьевна

Доцент кафедры инновационного менеджмента СПбГЭТУ, канд. эконом. наук.

Тел.: +7 (921) 435-84-05. E-mail: natvin89@mail.ru.

Вендик Ирина Борисовна

Профессор кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: +7 (812) 346-08-67. E-mail: ibvendik@rambler.ru.

Водяхо Александр Иванович

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

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: aivodyaho@mail.ru.

Гордюшенков Олег Евгеньевич

Студент гр. 4283 кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 039-25-38. E-mail: gordyushenkov@gmail.com.

Грачева Ирина Евгеньевна

Доцент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: IEGrachova@mail.ru.

Жукова Наталья Александровна

Ассистент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: nazhukova@mail.ru.

Земляков Кирилл Николаевич

Аспирант кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (812) 346-08-67. E-mail: kirill.zemlyakov@gmail.com.

Землякова Светлана Юрьевна

Аспирантка кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, магистр техники и технологии.

Тел.: +7 (952) 227-77-25. E-mail: swetka_sem@mail.ru.

Иващенко Олег Александрович

Инженер кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: Oleg_ivo@rambler.ru.

Калинина Валентина Васильевна
Ассистент кафедры философии СПбГЭТУ, канд. филос. наук.
Тел.: (812) 346-47-83. E–mail: valentkalinina@mail.ru.

Карпова Светлана Сергеевна
Аспирант кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: SSKarpova@list.ru.

Кольцов Михаил Михайлович
Ассистент кафедры радиоэлектронных средств СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 346-45-16. E-mail: mihail_koltsov@mail.ru.

Комков Олег Сергеевич
Доцент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.
E-mail: oleg_sergeevich@mail.ru.

Котова Елена Евгеньевна
Доцент кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-37-98.

Куракина Наталия Игоревна
Доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ, декан по работе с иностранными учащимися, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-35-53. E-mail: NIKurakina@mail.eltech.ru.

Кухарев Георгий Александрович
Профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, д-р техн. наук.
Тел.: +7 (911) 118-24-44. E-mail: kuga41@mail.ru.

Лисс Александр Рудольфович
Профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ, д-р техн. наук.
Тел.: +7 (911) 213-84-39. E-mail: alexander_liss@mail.ru.

Магомедов Магомед Низарович
Старший преподаватель кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ, канд. эконом. наук.
Тел:. +7 (921) 306-01-00. E-mail: M.N.Magomedov@mail.ru.

Маркин Николай Александрович
Аспирант, инженер кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 343-51-21. E-mail: Nikolay.Markin@billing.ru.

Микушина Вера Николаевна
Аспирант кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: mikushinavn@gmail.com.

Мохсен Аяд Абдулазиз Али
Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 393-97-20. E-mail (e-mail) ayedh1@mail.ru, ayedh992001@hotmail.com.

Мошников Вячеслав Алексеевич
Профессор кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.
Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: VAMoshnikov@mail.ru.

Орлова Наталья Вячеславовна
Ассистент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: NVOrlova@mai.eltech.ru.

Пантелеев Михаил Георгиевич
Доцент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел. (812) 234-25-03. E-mail: MGPanteleev@mail.eltech.ru.

Пантюхов Дмитрий Сергеевич
Бакалавр техники и технологии, магистрант кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 340-76-12. E-mail: DSPantuhov@yandex.ru.

Пихтин Александр Николаевич
Профессор кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.
E-mail: ANPikhtin@mail.eltech.ru.

Пузанков Дмитрий Викторович
Заведующий кафедрой вычислительной техники СПбГЭТУ, д-р. техн. наук, профессор.
Тел.: (812) 234-25-03. E-mail: DVPuzankov@mail.eltech.ru.

Путов Антон Викторович
Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: anputov@yandex.ru.

Путов Виктор Владимирович
Зав. кафедрой систем автоматического управления СПбГЭТУ, профессор, д-р техн. наук.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Пщелко Николай Сергеевич
Доцент, докторант кафедры общей и технической физики Санкт-Петербургского горного института (технического университета) им. Г. В. Плеханова.
Тел.: +7 (911) 997-38-63.

Сколяров Ян Николаевич
Генеральный директор ООО «НПК «Созвездие», д-р техн. наук, профессор.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: VVPutov@mail.ru.

Тупик Виктор Анатольевич
Проректор СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 234-34-76. E-mail: vatupik@eltech.ru.

Шавыкин Владимир Анатольевич
Зам. проректора по УР СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.
Тел:. (812) 234-64-35.

Шелудько Виктор Николаевич

Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Щеголева Надежда Львовна

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

Тел.: +7 (981) 754-56-32. E-mail: stil_hope@mail.ru.

Правила представления рукописей авторами

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

● файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):

- рукопись статьи;
- сведения об авторе(ах);

● документы на листах формата А4 (1 экз.):

- рукопись статьи;
- сведения об авторе(ах);
- рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
- экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
- сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

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

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

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

● текстовой редактор Microsoft Word версии не ниже 97;

● формат бумаги А4;

● параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;

● основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзацным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

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

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

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

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).
Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).
Далее следует текст статьи.
После основного текста следует библиографический список, который включает:

- *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);
- *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).
Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.
На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку. Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы (напр.: Рис. 1, Табл. 3).
Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.
Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.
Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

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

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

Перечень основных тематических направлений журнала:

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

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

Технические вопросы можно выяснить по адресу: Izvestiya-leti@yandex.ru