



Содержание

Редакционный совет:

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

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

- Барановский М. В., Глинский Г. Ф.* Автоматизированная установка для исследования адмиттанса полупроводниковых наногетероструктур 3
Аньчков М. Г., Грачева И. Е. Программный продукт для анализа газочувствительных свойств наноматериалов 7

**ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

- Андреев В. С., Бутусов Д. Н.* Программно-аппаратные решатели уравнений в частных производных на основе метода прямых 14
Богданов А. В., Тхурейн Киав Лвин. Использование технологий баз данных для системной интеграции гетерогенных комплексов научных вычислений 21
Хо Нгок Зуи, Молдовян А. А. Обработка и исследование скоростного блочного шифра Studio-64 24
Яхнев А. Н., Булашевич А. Е., Писарев А. С. Разработка алгоритмического и программного обеспечения подсистемы формантной параметризации 30
Савельев Д. М., Шестопалов М. Ю. Идентификация и моделирование технологических процессов на основе neuro-fuzzy-технологии 36

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Путов В. В., Шелудько В.Н., Друян Е.В., Путов А.В.* Вопросы управления электромеханическим испытательным комплексом с барабанным имитатором движения для электромеханических движителей колес транспорта 44
Вейнмейстер А. В., Поляхов Д. Н., Приходько И. А., Филатов Д. М., Якунов О. Э. Адаптивно-нечеткие регуляторы систем управления техническими объектами 59

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Белов М. П.* Компьютерные методы исследования с визуализацией динамических процессов в автоматизированных электромеханических комплексах 67

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

- Боронахин А. М., Лукомский Ю. А., Шпекторов А. Г., Ха Мань Тханг, Чан Танг Дык.* Курсоверткаль для задач управления движением скоростного судна 75
Авдеев Б. Я. Потенциальные свойства одного класса адаптивной коммутации в информационно-измерительных системах (общие положения и метод анализа) 80

* * *

Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ" 4'2012

Ежемесячный журнал

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Шукейло Ю. А., Линник С. А., Щеглов О. В., Ранков М. М., Федоров А. А., Квиникадзе Г. Э., Самсонов С. Ю. Биомеханика остеосинтеза перелома плечевой кости 86

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Котова Е. Е. Применение облачных технологий в управлении учебным процессом 92

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Гуляева О. А., Мардас Д. А. Эволюция методов, современные проблемы и возможности повышения адекватности стратегического анализа в корпоративном управлении 104

Дрецинский В. А. Методы диагностики системы управления знаниями современных высокотехнологичных предприятий 111

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Пученков А. С. "Быховская программа" генерала Корнилова и ее значение в формировании идеологии Белого движения 120

Сведения об авторах 125

Правила представления рукописей авторами 129

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

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

* * *

Редакторы:

Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,
Т. А. Лунаева, И. Г. Скачек

Комп. верстка:

Е. Н. Паздниковой, А. И. Рыбца,
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 16.04.12 г.
Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 16,5.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–120 экз.)
Заказ 33.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

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)



УДК 621.315.592

М. В. Барановский, Г. Ф. Глинский

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДМИТТАНСА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР

Описана разработанная измерительная установка, позволяющая проводить исследования дифференциальной емкости и проводимости, а также сквозного тока полупроводниковых наногетероструктур в диапазонах температур от 8 до 300 К, частот от 25 Гц до 1 МГц, смещений от +2 до -40 В, с возможностью их оптического возбуждения.

Наногетероструктуры, неразрушающая диагностика, адмиттансные измерения, фотоэлектрические свойства гетероструктур

Структура современного прибора нанoeлектроники, как правило, представляет собой последовательность полупроводниковых слоев толщиной в несколько нанометров, что предъявляет особые требования к методам их диагностики: высокое пространственное разрешение, детальный анализ электрофизических свойств, оценка качества гетерограниц и др. К сожалению, большинство существующих на сегодняшний день методов, удовлетворяющих этим условиям, используют дорогостоящее оборудование, требуют создания специфических условий для проведения измерений (например, сверхвысокого вакуума), специальной обработки образцов (очистка поверхности, скол и т. п.), что значительно увеличивает длительность и стоимость подобных исследований, зачастую делая их недоступными.

В связи с этим в настоящее время широкое распространение получили электрофизические методы исследования полупроводниковых структур, среди которых можно выделить метод адмиттансных измерений. Он может быть реализован на относительно недорогом оборудовании, не требует создания специфических условий и применения технически сложных процедур. Важными преимуществами таких методов является возможность анализа электрофизических свойств полупроводниковых структур с высоким пространственным разрешением, а также неразрушающий характер внешнего воздействия на исследуемый объект, что ставит их в ряд наиболее информативных методов нанодиагностики.

В данной статье описана созданная на кафедре микро- и нанoeлектроники автоматизированная установка, позволяющая проводить исследования вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик полупроводниковых структур с квантовыми ямами в широком диапазоне температур и частот с возможностью их оптического возбуждения.

Метод вольт-фарадного профилирования [1] используется для определения концентрационного профиля носителей заряда в полупроводниковых барьерных структурах. В основе метода лежит явление расширения области пространственного заряда p - n -перехода или барьера Шотки при увеличении обратного смещения [2]. Эта область представляет собой область обеднения, т. е. участок полупроводника вблизи металлургической границы, внутри которого неподвижный объемный заряд ионизованных примесей не скомпенсирован зарядом подвижных носителей. При приложении внешнего обратного смещения подвижные носители заряда вытесняются из пространства, граничащего с обедненной областью, вследствие чего она расширяется, а объемный заряд увеличивается. Существует связь между внешним смещением, объемным зарядом и барьерной емкостью. Зависимость барьерной емкости от внешнего обратного смещения содержит информацию о распределении носителей заряда по глубине структуры, т. е. позволяет определить их концентрационный профиль [1], [3].

Информация о структуре также может быть получена из исследований зависимости фототока от внешнего смещения. При воздействии на полупроводник светом с энергией фотонов, превышающей запрещенную зону, происходит оптическая генерация электронно-дырочных пар. В однородном полупроводнике этот процесс приводит к возникновению избыточных носителей заряда, однако в отсутствие внешнего поля их направленного движения не происходит. Напротив, в области объемного заряда p - n -перехода даже в отсутствие внешнего напряжения существует встроенное поле, которое вызывает направленное движение электронов и дырок – фототок.

Особая ситуация возникает, когда оптическое воздействие локализовано в узкой области структуры, например, на некотором расстоянии от области объемного заряда p - n -перехода. Поскольку электрическое поле в нейтральной области полупроводника отсутствует, генерация электронно-дырочных пар не приводит к возникновению фототока. Однако при увеличении внешнего обратного смещения происходит расширение обедненной области p - n -перехода, в результате чего участок, на котором производится оптическое возбуждение, может оказаться внутри области объемного заряда, что приведет к возникновению фототока. Таким образом, на вольт-амперной характеристике структуры будет наблюдаться особенность в виде ступенчатого увеличения фототока. Подобная ситуация реализуется при исследованиях фототока структур с квантовыми ямами при облучении светом, энергия фотонов которого больше ширины запрещенной зоны материала квантовых ям, но меньше ширины запрещенной зоны материала барьеров.

Для исследования полупроводниковых квантово-размерных структур с использованием описанных методов требовалось создать лабораторную установку, позволяющую измерять дифференциальную емкость и проводимость таких объектов с высокой точностью при различных температурах и в широком диапазоне энергий фотонов.

Блок-схема установки представлена на рис. 1. В состав установки входят следующие устройства [4]:

- 1) источник напряжения «Agilent E3643A»;
- 2) измеритель иммитанса «МНИПИ Е7-20»;
- 3) измерительная камера криостата «Janis CCS-150/204N»;
- 4) масляный насос криостата «Ulvac GHD-030»;
- 5) криокомпрессор «СТІ Cryogenics 8200»;

- б) контроллер температуры «LakeShore 325»;
- 7) блок оптического возбуждения;
- 8) компьютер.

Исследуемый образец помещался в камеру криостата и подключался к измерителю иммитанса через специально предусмотренные разъемы, что позволяло подавать на него смещение от источника напряжения и измерять электрические параметры (емкость, проводимость). Масляный насос производил откачку атмосферы из измерительной камеры для минимизации теплового контакта образца с ее стенками. Компрессор обеспечивал циркуляцию гелия в рабочем контуре и постоянный отвод тепла. Контроллер температуры регулировал мощность электрического нагревателя, установленного на хладопроводе, что позволяло стабилизировать температуру образца в любой точке рабочего диапазона криостата. Блок оптического возбуждения создавал световой поток, сфокусированный на образце через оптическое окно камеры криостата. Компьютер обеспечивал управление устройствами и сохранение экспериментальных данных.

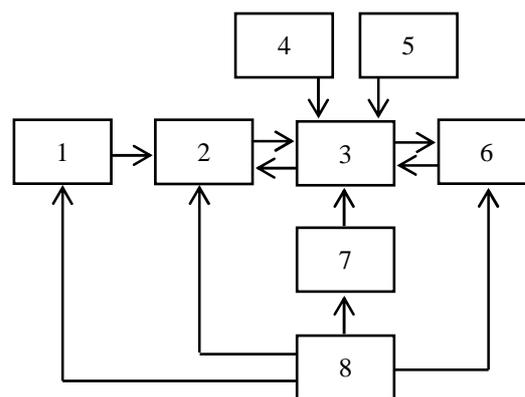


Рис. 1

Измеритель иммитанса «МНИПИ Е7-20» предназначен для измерения активной и реактивной составляющих проводимости объектов при приложении синусоидального напряжения в частотном диапазоне от 25 Гц до 1 МГц. Прибор осуществляет измерение емкости в диапазоне от 0.001 пФ до 1 Ф, проводимости от 0.01 нСм до 10 См, погрешность измерений при этом не превышает 5 %. При малой амплитуде подаваемого сигнала ($\Delta U \sim 40$ мВ) данная методика может быть использована как дифференциальная, так как прибор, фактически, фиксирует изменение тока ΔI или изменение заряда ΔQ при малом изменении напряжения ΔU . Измеряемыми параметрами при этом являются дифференциальная емкость ($C = \Delta Q / \Delta U \approx dQ / dU$) и дифференциальная проводимость ($G = \Delta I / \Delta U \approx dI / dU$). Кроме того, прибор позволяет измерять постоянный сквозной ток в диапазоне от 1 нА до 10 мА.

Источник напряжения «Agilent E3643A» позволял устанавливать напряжение на выходе в пределах от 0 до 60 В с шагом 10 мВ. Вольт-фарадные и вольт-амперные характеристики обычно измерялись при обратном смещении от 0 до -30 В. Однако в ряде случаев исследовался участок прямой ветви от 0 до 2 В. Для автоматического изменения полярности напряжения, подаваемого на образец, было установлено специальное реле, которое подключалось между источником напряжения «Agilent E3643A» и измерителем иммитанса «МНИПИ Е7-20». Изменение полярности происходило при подаче управляющего сигнала от компьютера.

Для проведения исследований в широкой области температур в состав измерительного комплекса был включен гелиевый криостат замкнутого цикла «Janis CCS-150/204N», состоящий из четырех основных блоков: компрессора, измерительной камеры, масляного насоса и контроллера температуры «LakeShore 325». Криостат позволял устанавливать температуру образца в диапазоне от 300 до 8 К.

Для оптического возбуждения образца был создан специальный блок, состоящий из зеленого, синего и фиолетового светодиодов, поворотного устройства и управляющей схемы. Свет одного из светодиодов при помощи линзы фокусировался на образец, установлен-

Для оптического возбуждения образца был создан специальный блок, состоящий из зеленого, синего и фиолетового светодиодов, поворотного устройства и управляющей схемы. Свет одного из светодиодов при помощи линзы фокусировался на образец, установлен-

ный в измерительной камере криостата. При этом обеспечивалась относительно высокая мощность оптического излучения (порядка нескольких милливатт), однако в широкой области спектра. Длина волны в максимуме излучения составляла 525, 470 и 420 нм, соответственно, для зеленого, синего и фиолетового светодиодов, а ширина спектральной линии на полувысоте составляла приблизительно 30 нм. Этот спектральный диапазон оптимален для генерации электронно-дырочных пар в квантовых ямах, в светодиодных структурах на основе InGaN / GaN. Переключение между светодиодами производилось управляющей схемой, а их фокусировка – поворотным устройством. Все процессы управлялись компьютером.

Программное обеспечение автоматизированной установки разработано в среде графического программирования LabVIEW. На рис. 2 представлена лицевая панель разработанной программы, в левой части которой задаются условия эксперимента – диапазоны напряжений, температур, а в правой части отображаются графики экспериментальных зависимостей. На данном рисунке изображены графики зависимостей емкости и тока структуры с множественными квантовыми ямами InGaN / GaN от обратного смещения, полученных при различных температурах.

Созданная программа осуществляла полное управление приборами, считывание информации, построение графиков измеряемых зависимостей, сохранение и систематизацию экспериментальных данных. На программное обеспечение автоматизированной измерительной установки получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [5].

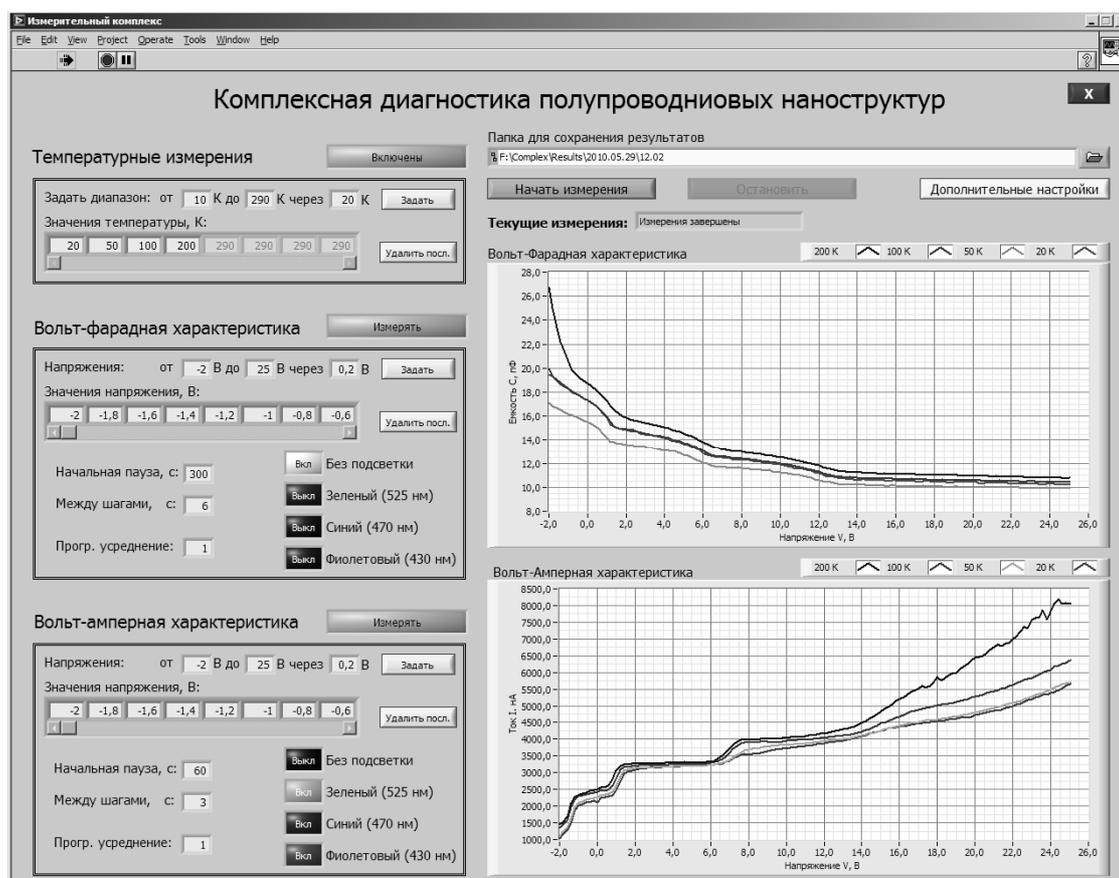


Рис. 2

Разработанная автоматизированная установка позволяет проводить измерения дифференциальной емкости и проводимости, а также сквозного тока в диапазонах температур от 300 до 8 К, частот от 25 Гц до 1 МГц, смещений от +2 до –40 В. Это обеспечивает возможность прове-

дения детальными исследованиями полупроводниковых наногетероструктур (в частности, светодиодных структур с кантовыми ямами InGaN / GaN) методами адмиттансных измерений. Кроме того, возможность использования оптического возбуждения позволяет исследовать фотоэлектрические явления в структурах с квантовыми ямами на основе гетероструктуры InGaN / GaN [6]. Исследование фотоэлектрических свойств полупроводниковых наногетероструктур является актуальной задачей, как с точки зрения расширения аналитических возможностей существующих методик адмиттансных измерений, так и в целях разработки новых неразрушающих диагностических методов, основанных на измерениях фотопроводимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков В. И. Диагностика полупроводниковых наногетероструктур методами спектроскопии адмиттанса. СПб.: ООО «Техномедиа» / Элмор, 2007.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 т. Кн. 1 / пер. с англ. М.: Мир, 1984.
3. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / под ред. В. В. Лучинина, Ю. М. Таирова. М.: Физматлит, 2006.
4. Барановский М. В., Глинский Г. Ф. Автоматизированная установка для неразрушающего контроля качества полупроводниковых наногетероструктур // Тез. докл. 12-й науч. молодежной конф. по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, 25/29 окт. 2010. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. С. 105.
5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011617779. Комплексная диагностика полупроводниковых наноструктур / Барановский М. В., Глинский Г. Ф.
6. Барановский М. В., Глинский Г. Ф. Исследование фотоэлектрических свойств полупроводниковых наногетероструктур InGaN/GaN // Тез. докл. 13-й Всерос. молодежной конф. по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, 21–25 нояб. 2011. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 34.

M. V. Baranovskii, G. F. Glinskii

AUTOMATED SYSTEM FOR RESEARCH OF THE ADMITTANCE OF SEMICONDUCTOR NANOHETEROSTRUCTURES

The developed measurement equipment is described that allows to research capacity, differential conductance and current of semiconductor nanoheterostructures in the temperature range from 8 to 300 K, frequencies from 25 Hz to 1 MHz and bias voltages from +2 to -40 V, with the possibility of optical excitation.

Nanoheterostructures, non-destructive analysis, admittance, photoelectric properties of heterostructures

УДК 539.2(075)

М. Г. Аньчков, И. Е. Грачева

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ АНАЛИЗА ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Описана программа для ЭВМ, позволяющая обрабатывать экспериментальные данные спектроскопии импеданса и адмиттанса, анализировать импедансный отклик в условиях изменения газовой среды и температуры детектирования газов-реагентов. Показаны возможности управления адмиттансным откликом в условиях изменения газовой среды, что раскрывает новые перспективы для увеличения чувствительности и селективности мультисенсорных систем типа «электронный нос».

Спектроскопия полного сопротивления, газочувствительность, металлооксиды

Спектроскопия импеданса давно и эффективно используется в научных исследованиях [1], [2]. Результаты спектроскопии импеданса особенно информативны при использовании комплексных исследований с привлечением методов электронной микроскопии [3],

эллипсометрии [4], атомно-силовой микроскопии [5]. Комплексные исследования позволяют выявить закономерности процессов окисления в поликристаллических слоях, сенсбилизации фоточувствительности. Эти исследования наиболее актуальны для таких нанотехнологий, как создание образцов методом магнетронного распыления, золь-гель-методами [2] и методом гидропиролиза [6]. Важным представляется применение метода для развития представлений об адсорбции и разработки сенсорных устройств на основе иерархических пористых сетчатых структур [5], [7].

Для газочувствительных сенсоров нового поколения большой интерес представляют технологические приемы получения пористых нанокompозитных слоев с управляемыми и воспроизводимыми размерами пор [5], [7], [8]. При этом нанокompозиты должны содержать фазу для улучшения адгезии и одну или более фаз полупроводниковых металлооксидов *n*-типа электропроводности для обеспечения газочувствительности. Принцип действия полупроводниковых газовых сенсоров на основе перколяционных структур [5], [7] металлооксидных слоев заключается в изменении электрофизических свойств при адсорбции заряженных форм кислорода и десорбции продуктов их реакций с молекулами восстанавливающих газов. Из представлений физики полупроводников следует, что если поперечные размеры проводящих ветвей перколяционных нанокompозитов будут соизмеримы со значением характеристической длины дебаевского экранирования, газочувствительность электронных датчиков возрастет на несколько порядков. Однако накопленный экспериментальный материал [5]–[9] свидетельствует о более сложной природе возникновения эффекта резкого повышения газочувствительности. Резкий рост газочувствительности может происходить на сетчатых структурах с геометрическими размерами ветвей, в несколько раз превосходящих значения длины экранирования, и зависеть от условий фракталообразования [5].

Измерение газочувствительности осуществляется в несколько этапов: нагрев сенсорного пленочного нанокompозита в фиксированном потоке атмосферного воздуха до требуемой температуры, измерение сопротивления активного слоя при данной температуре и подача импульса исследуемого вещества до момента стабилизации сопротивления активного слоя в парах этого вещества. Как правило, чувствительность рассчитывается как $S = (R_{\text{возд}} - R_{\text{газ}}) / R_{\text{газ}}$, где $R_{\text{возд}}$ – сопротивление образца на воздухе; $R_{\text{газ}}$ – сопротивление образца в присутствии газа-реагента. Ранее в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» была создана автоматическая измерительная установка для исследования чувствительности нанокompозитов к газам-реагентам [9].

С развитием технологии получения трехмерных сетчатых структур [7] с размерами сечения ветвей, соизмеримых со значением дебаевской длины экранирования при адсорбции кислорода открылись перспективы развития селективных полупроводниковых адсорбционных датчиков с учетом возрастания емкостных составляющих в аналитическом отклике. Трехмерная перколяционная сетчатая структура нанокompозитов (рис. 1, размер атомно-силовых изображений: $a - 2 \times 2$ мкм; $b - 3 \times 3$ мкм) на основе металлооксидов может обеспечить принципиальную возможность повысить селективность за счет различной способности поляризации восстанавливающих газов-реагентов. Иными словами газ, заполняющий поры, может представлять тело воздушного конденсатора, и тогда аналитический отклик, определяемый не только по активной, но и реактивной составляющей, даст возможность повысить селективность.

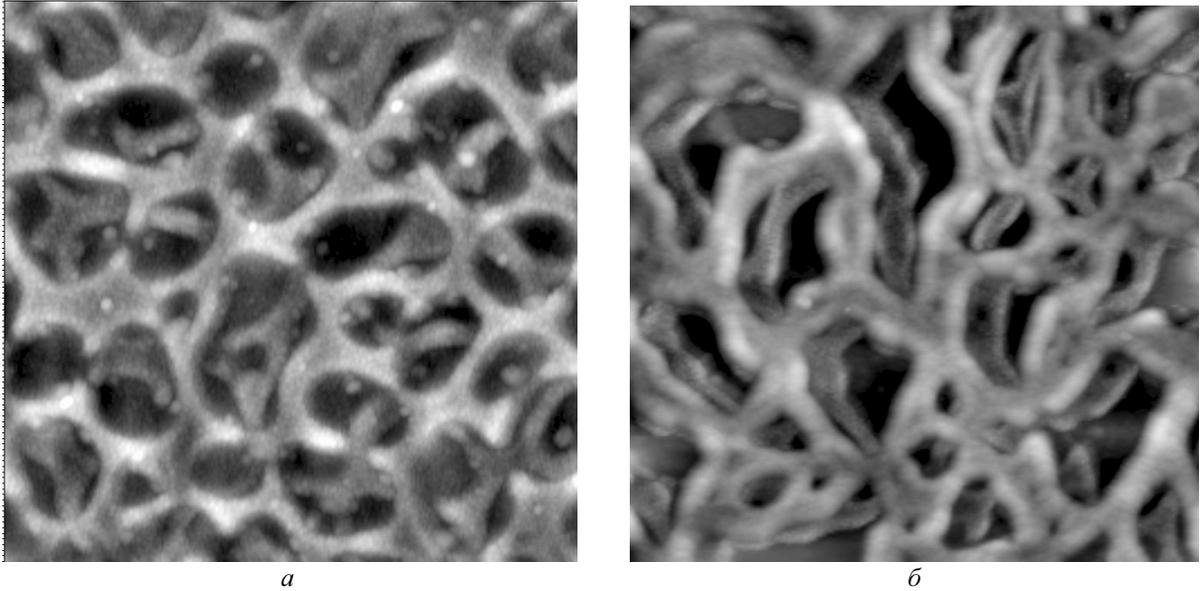


Рис. 1

Целью работы, результаты которой представлены настоящей статьей, являлась разработка программного обеспечения для измерительной установки нового поколения [10], которой осуществляется анализ импедансного отклика в условиях изменения газовой среды и температуры детектирования газов-реагентов.

Исследования электрических свойств полупроводниковых нанокомпозитов проводились с помощью метода спектроскопии импеданса, представляющей средство изучения электрических свойств поверхностей раздела и основанной на изучении электрического воздействия с переменной частотой. Экспериментальные данные спектроскопии импеданса интерпретировались в терминах «эквивалентной электрической схемы», основанной на вероятной физической модели, каждый элемент которой представляет и характеризует электрохимические свойства оксидных слоев, их структурные особенности либо протекающий в исследуемой системе физико-химический процесс. Резисторы в эквивалентной схеме имитировали диэлектрические потери, конденсаторы характеризовали токи смещения. При изучении потерь в структурах использовались две схемы замещения – параллельное и последовательное соединение конденсатора и резистора.

Например, для параллельно соединенных резистора и конденсатора импеданс рассчитывается следующим образом: $Z = \frac{1}{1/R + j\omega C} = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{\omega CR^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$. При этом выражение $(Z' - R/2)^2 + (Z'')^2$ является величиной постоянной, равной $(R/2)^2$, т. е. $(Z' - R/2)^2 + (Z'')^2 = (R/2)^2$. Уравнение представляет собой уравнение окружности с центром в точке с координатами $(R/2, 0)$ и радиусом $(R/2)$. Данную электрическую схему можно характеризовать сопротивлением и емкостью объема отдельных зерен полупроводникового образца.

Годограф импеданса для двух параллельных R - C -цепочек, соединенных последовательно, представляет собой две неперекрывающиеся полуокружности в случае, если постоянные времени релаксации поляризации $\tau_1 = R_1 C_1$ и $\tau_2 = R_2 C_2$ существенно различны. Если же τ_1 и

τ_2 отличаются незначительно, то наблюдается перекрытие полуокружностей. Цепочку R_1-C_1 можно интерпретировать как объемное сопротивление и емкость отдельных зерен полупроводниковой структуры, а цепочку R_2-C_2 – как сопротивление и емкость границ зерен.

Для исследования газочувствительности образцов был использован измеритель иммитанса Е7-20, прецизионный прибор класса точности 0.1 с широким диапазоном рабочих частот 25 Гц...1 МГц и высокой скоростью измерений (до 25 измерений в секунду), предназначенный для измерения при синусоидальном напряжении параметров объектов, представляемых параллельной или последовательной двухэлементной схемой замещения.

Авторами статьи была разработана программа для ЭВМ (рис. 2) [10] с помощью языка программирования Microsoft Visual Basic, позволяющая осуществлять:

- выбор частотного диапазона измерений с заданным количеством рабочих точек;
- выбор уровня измерительного сигнала и напряжения смещения;
- работу с табличными данными, предусматривающую возможность изменения ширины столбцов в таблицах, редактирования и дополнения экспериментальных точек;

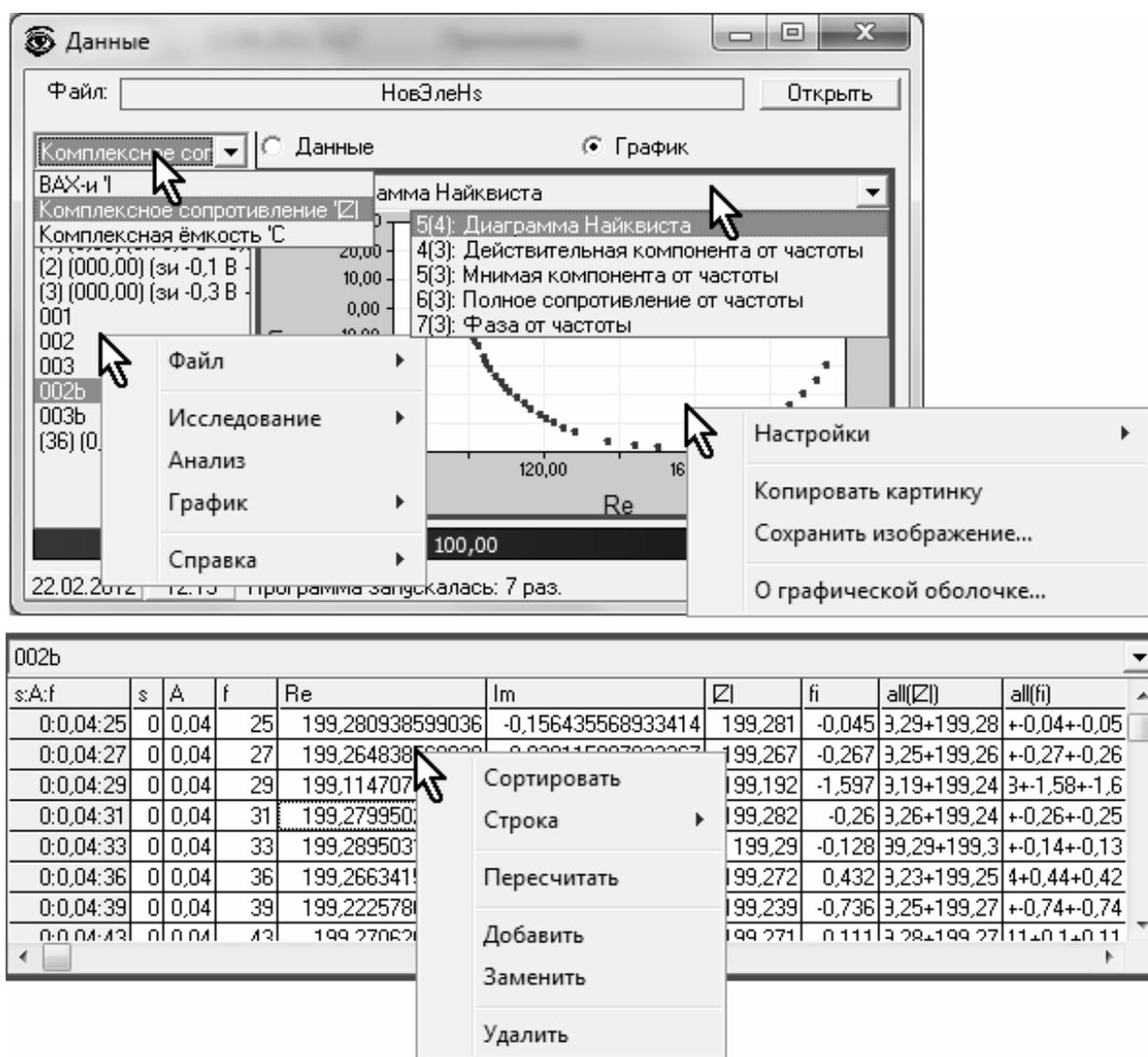


Рис. 2

– удаление аномальных точек на графиках, иллюстрирующих выбросы из общего набора данных и связанных с неверными измерениями исследуемых физических величин, и повторного измерения в заданных точках;

– обработку полученных экспериментальных данных как в табличном, так и в графическом исполнении в виде построения частотных зависимостей вещественной и мнимой составляющих комплексного сопротивления (рис. 3), модуля комплексного сопротивления, емкости и тангенса угла диэлектрических потерь, вещественной и мнимой составляющих комплексной диэлектрической проницаемости, диаграмм Найквиста (рис. 4) и диаграмм Коула–Коула;

– сопоставление годографов импеданса (графики зависимости мнимой от вещественной компоненты комплексного сопротивления (координаты Найквиста)) и эквивалентные схемы различных R – C -цепей;

– сохранение данных в текстовом формате для последующей обработки в Microsoft Office Excel (рис. 3, 4) и графиков рассчитанных и построенных функций в формате изображений *.bmp или *.jpg.

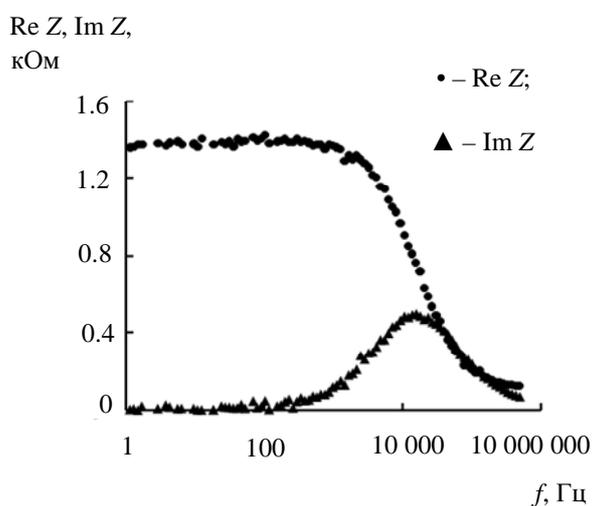


Рис. 3

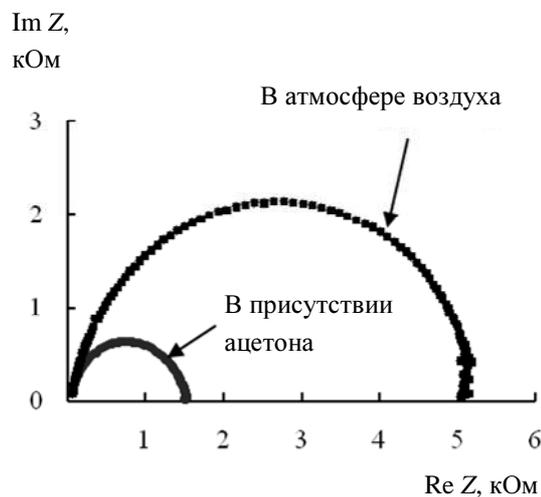


Рис. 4

Анализ экспериментальных результатов и теоретических модельных представлений с помощью созданного программного продукта позволил сделать вывод о том, что в условиях изменения газовой среды можно управлять адмиттансным откликом путем наложения на нанокпозиционные материалы на основе металлооксидов, полученных золь-гель-методом и методом гидропиролитического синтеза, возмущающего воздействия с переменной частотой в диапазоне температур от 300 до 400 °С, что раскрывает новые перспективы для увеличения чувствительности и селективности мультисенсорных систем типа «электронный нос», в которых низкая селективность полупроводниковых наноструктур, являющаяся основным недостатком приборов газового контроля, превращается в неоспоримое достоинство.

Необходимо отметить, что наноструктуры, имеющие высокую кристалличность и большую площадь поверхности, в настоящее время позволяют развивать несколько традиционных направлений построения «электронного носа»: системы, состоящие из элементов, выполненных на основе различных наноматериалов или на основе одного наноматериала, но с различными каталитическими добавками, и системы, в которых все чувствительные элементы созданы в едином технологическом цикле, но работают при разных значениях температуры.

В работе авторами были установлены новые возможности для увеличения чувствительности и селективности систем типа «электронный нос», использование возмущающего электрического воздействия с переменной частотой на образец с иерархической структурой пор при определенной рабочей температуре. Для этого в созданной программе была реализована функция построения лепестковых диаграмм, принцип отображения которых сводился к нормированию рассчитанных величин газочувствительности по снятым экспериментальным данным в атмосфере воздуха и в среде восстанавливающих газов-реагентов. В качестве иллюстрирующих примеров на рис. 5 приведены лепестковые

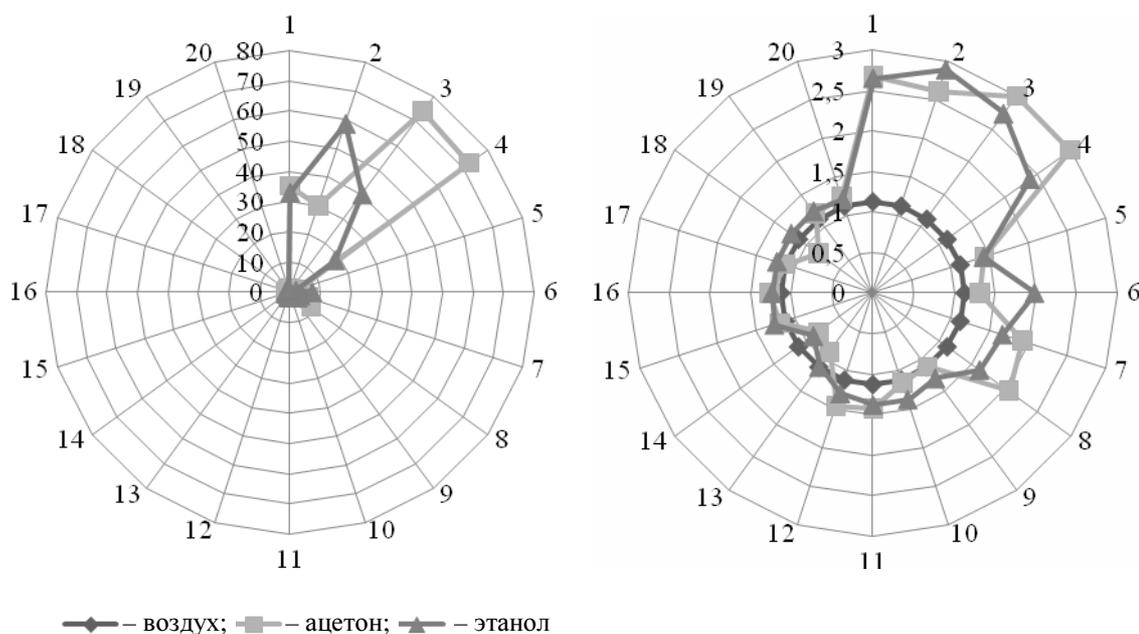


Рис. 5

диаграммы, показывающие различие чувствительности при различных условиях детектирования. Отдельному лучу на лепестковой диаграмме соответствует определенная рабочая частота из диапазона от 100 до 1 МГц и температура детектирования. В дальнейшем планируется модернизация программного продукта и осуществление определения состава газовой среды путем сопоставления построенной лепестковой диаграммы в условиях детектирования газа с уже известными диаграммами из базы данных, находящейся в памяти компьютера.

Работа проводилась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы при выполнении государственного контракта П1249 от 07.06.2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование газочувствительности в наноструктурированных пленках на основе диоксида олова методом импедансной спектроскопии / В. В. Томаев, Л. Н. Гарькин, В. П. Мирошкин, В. А. Мошников // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31, № 2. С. 331–339.
2. Porous silicon with embedded metal oxides for gas sensing applications / V. A. Moshnikov, I. E. Gracheva, A. S. Lenshin et al. // J. of Non-Crystalline Solids. 2012. Vol. 358, № 3. С. 590–595.
3. Электронно-микроскопические исследования структуры газочувствительных нанокмпозитов, полученных гидропиролитическим методом / М. В. Калинина, В. А. Мошников, П. А. Тихонов и др. // Физика и химия стекла. 2003. Т. 29, № 3. С. 450.

4. Эллипсометрия как экспресс-метод установления корреляции между пористостью и газочувствительностью слоев диоксида олова / Д. Ц. Димитров, В. В. Лучинин, В. А. Мошников, М. В. Панов // ЖТФ. 1999. Т. 64, № 4, С. 1219.
5. Грачева И. Е., Мошников В. А. Анализ газочувствительных фрактальных структур на основе диоксида олова методом атомно-силовой микроскопии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. № 5. С. 3–10.
6. Грачева И. Е., Мошников В. А., Осипов Ю. В. Анализ процессов на поверхности газочувствительных наноструктур методом спектроскопии полной проводимости // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2008. № 6. С. 19–24.
7. Hierarchical nanostructured semiconductor porous materials for gas sensors / V. A. Moshnikov, I. E. Gracheva, V. V. Kuznezov et al. // J. of Non-Crystalline Solids. 2010. Vol. 356, № 37–40. P. 2020–2025.
8. Сетчатые иерархические пористые структуры с электроадгезионными контактами / И. Е. Грачева, С. С. Карпова, В. А. Мошников, Н. С. Пщелко // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 8. С. 27–32.
9. Автоматизированная установка для измерения газочувствительности сенсоров на основе полупроводниковых нанокомпозитов / И. Е. Грачева, А. И. Максимов, В. А. Мошников, М. Е. Плех // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 3. С. 143–146.
10. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010615471. Расчет данных для анализа газочувствительности, полученных с помощью прибора E7-20 (E7-20) / Аньчков М. Г., Грачева И. Е., Мошников В. А.; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ: 27 августа 2010 г.

M. G. Anchkov, I. E. Gracheva

SOFTWARE PRODUCT FOR ANALYSIS GAS SENSITIVE PROPERTIES OF NANOMATERIALS

Software product that allows to process the experimental data of impedance and admittance spectroscopy in both tabular and graphical performance, to analyze the impedance response in a changing atmosphere and temperature of gas detection reagents was created. Possibilities of control admittance response were shown, that opens new perspectives for increasing sensitivity and selectivity of multisensor systems like an «electron nose».

Impedance spectroscopy, gas sensitivity, metal oxides



УДК 658.512:004.42 658.512:519.87

В. С. Андреев, Д. Н. Бутусов

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ РЕШАТЕЛИ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЯМЫХ

Рассматривается подход к разработке программно-аппаратных решателей дифференциальных уравнений в частных производных на примере модели колебания струны. Моделирование производится в среде NI LabVIEW с применением модуля Simulation Module. Оценивается погрешность моделирования. Представлены различные аппаратные реализации решателя: на базе PAC-контроллера cRIO-9012 и на базе ARM-контроллера отладочной платы Keil MCB 2368 и Keil MCB 1768.

Дифференциальные уравнения в частных производных, метод прямых, волновое уравнение, модельное проектирование, виртуальный прибор, аппаратная реализация

Существует множество динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных (PDE, Partial Differential Equation). Решение многих научных и инженерных задач неразрывно связано с моделированием подобных уравнений на ЭВМ. К таковым можно отнести задачи гидроакустики, термодинамики, молекулярной динамики, физики взрывных процессов и др. При компьютерном моделировании таких систем возникает ряд сложностей, связанных с требованиями к адекватности получаемой модели, ее временным и точностным характеристикам. В современных пакетах моделирования и проектирования динамических систем решение дифференциальных уравнений в частных производных производится, как правило, методом конечных элементов (МКЭ). При аппаратной реализации этот метод неприменим в связи с большим количеством вычислительных операций, приводящим к существенным временным задержкам. Для разработки встраиваемых систем на основе аппаратных решателей PDE предлагается подход, широко применяемый в аналоговых вычислительных машинах – метод прямых [1]. В основе метода прямых лежит переход от уравнений в частных производных к системе обыкновенных разностных уравнений. Для их решения необходим соответствующий аппаратно-детерминированный метод численного интегрирования ОДУ [2].

На основе встроенного решателя PDE в LabVIEW 2010 невозможна автоматическая генерация кода для целевых платформ. В данной статье представлена методика построения аппаратных решателей PDE на базе программно-аппаратных средств NI.

Важную роль при модельном проектировании решателей ДУ играет верификация полученных результатов с точки зрения точности, времени выполнения и научной достоверности. Поскольку найти точное аналитическое решение для уравнений в частных производных затруднительно, воспользуемся имеющимися в инструментальных пакетах проверенными решениями, полученными при помощи численных методов интегрирования [3]. Существует ряд хорошо изученных систем, математические модели которых являются уравнениями в частных производных. Такие системы и будут использованы в качестве тестовых задач при создании прототипа аппаратного решателя уравнений в частных производных.

В качестве тестовой задачи выберем классическую математическую модель колебания струны, закрепленной в двух точках. Выбор данной модели обоснован тем, что она описывается известным и хорошо изученным дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{1}{4} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0, \quad (1)$$

где $u(t, x)$ – функция, описывающая положение координаты x струны в момент времени t .

Область определения: $0 \leq t \leq 10$, $0 \leq x \leq 1$.

Граничные условия: $u(t, 0) = 0$, $u(t, 1) = 0$.

Граничные значения равны нулю, следовательно, оба конца струны являются фиксированными.

Начальное состояние струны можно определить по следующим формулам:

$$u(0, x) = \begin{cases} \frac{1}{10} \frac{x}{p}, & 0 \leq x \leq p; \\ \frac{1}{10} \frac{1-x}{1-p}, & p \leq x \leq 1, \end{cases} \quad (2)$$

где p – точка натяжения струны в момент времени $t = 0$.

Решим данное уравнение методом прямых. Разбиение произведем равномерно, поскольку поведение фазовой переменной стабильно на всей области определения системы. Шаг дискретизации возьмем равным 0,05, что с учетом области определения x позволит получить 21 отрезок на заданном интервале. Модифицируем уравнение (1) используя метод разностной аппроксимации. Для этого применим следующую замену:

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} = \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{\Delta x^2}, \quad (3)$$

где Δx – шаг дискретизации; i – номер отрезка.

Подставив выражение (3) в уравнение (1) и выполнив некоторые преобразования, получим:

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = 100u_{i-1} - 200u_i + 100u_{i+1}, \quad (4)$$

где i – номер отрезка.

Таким образом, получили математическую модель колебания струны в виде системы из 21 уравнения:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = 100u_0 - 200u_1 + 100u_2, \\ \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = 100u_1 - 200u_2 + 100u_3, \\ \dots \\ \frac{\partial^2 u_{21}}{\partial t^2} = 100u_{20} - 200u_{21} + 100u_{22}. \end{cases} \quad (5)$$

Используя формулы (2) определим начальные значения для каждой функции системы (5) при $p = 0,5$:

$$\begin{aligned} u_1(0) = 0; u_2(0) = 0,01; u_3(0) = 0,02; u_4(0) = 0,03; u_5(0) = 0,04; u_6(0) = 0,05; u_7(0) = 0,06; u_8(0) = 0,07; \\ u_9(0) = 0,08; u_{10}(0) = 0,09; u_{11}(0) = 0,1; u_{12}(0) = 0,09; u_{13}(0) = 0,08; u_{14}(0) = 0,07; u_{15}(0) = 0,06; \\ u_{16}(0) = 0,05; u_{17}(0) = 0,04; u_{18}(0) = 0,03; u_{19}(0) = 0,02; u_{20}(0) = 0,01; u_{21}(0) = 0. \end{aligned}$$

Система (5) с начальными условиями полностью пригодна для моделирования в LabVIEW Simulation Module. Найти явное аналитическое решение уравнения колебания струны сложно, поэтому результаты моделирования оценивались на основе примера PDE String Vibration системы NI LabVIEW. Данная реализация позволяет выбирать начальные условия, воздействие на струну в нулевой момент времени, время моделирования и наглядно показывает процесс колебания струны во времени, однако она непригодна для аппаратной реализации из-за наличия структурированных типов данных (Cluster) и многомерных массивов, а также применения функциональных блоков, не совместимых с целевыми платформами. Очевидно, что для аппаратной реализации необходимо преобразовать модель таким образом, чтобы она разбивалась на элементарные вычислительные операции.

На основе системы уравнений (5) в модуле расширения Simulation Module была разработана модель колебания струны, блок-диаграмма которой представлена на рис. 1.

В качестве ключевых элементов модели выступают подсистемы, каждая из которых решает дифференциальное уравнение вида: $\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = 100u_{i-1} - 200u_i + 100u_{i+1}$, где i – номер уравнения системы. Далее оценивалась погрешность реализации модели колебания струны в Simulation Module относительно модели из примеров LabVIEW, которая упоминалась ранее. Результаты сравнения представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, разница в результатах моделирования на временном интервале в 10 с не превышает значения $1,2 \cdot 10^{-3}$, что допустимо для данной задачи при выбранном методе разностной аппроксимации и порядке разностей в правых частях уравнений. Для снижения погрешности необходимо увеличивать число отрезков или порядок разностей в правых частях.

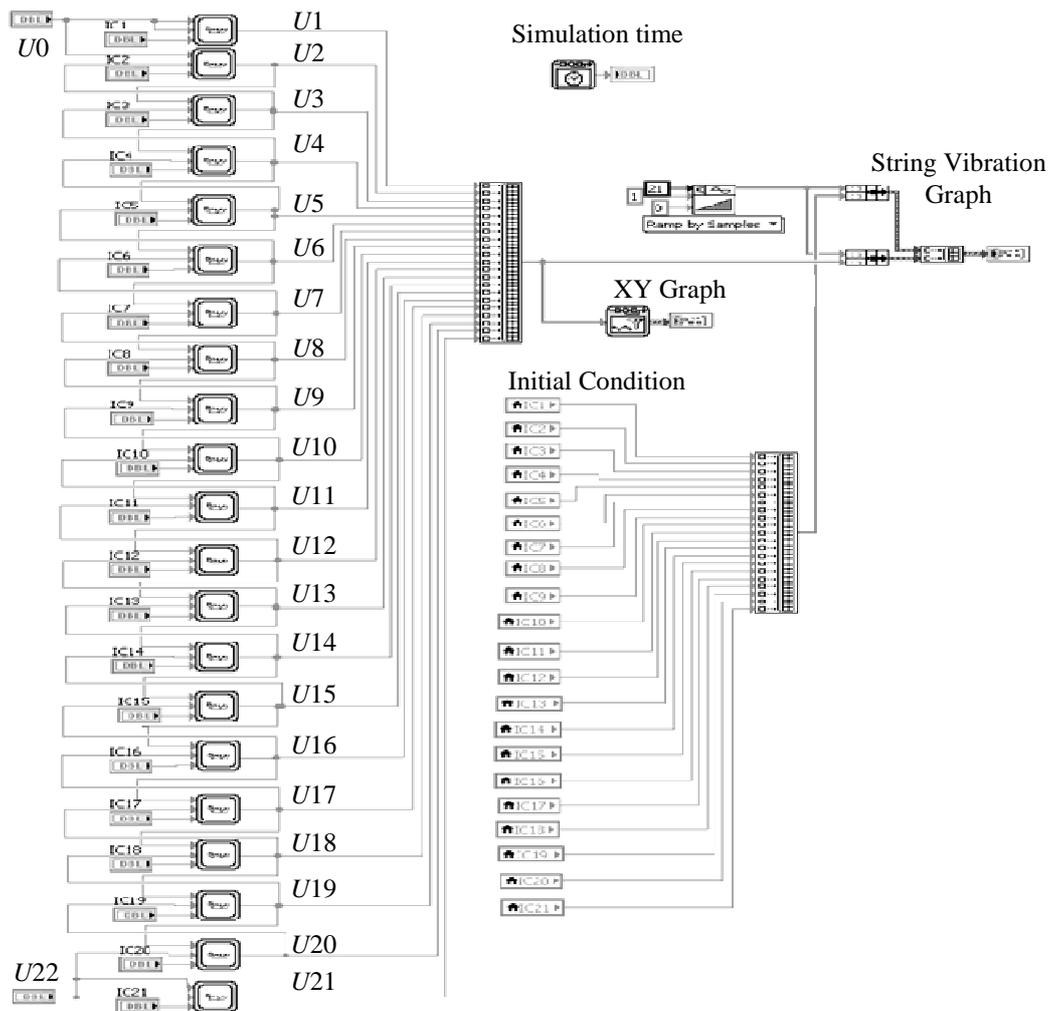


Рис. 1

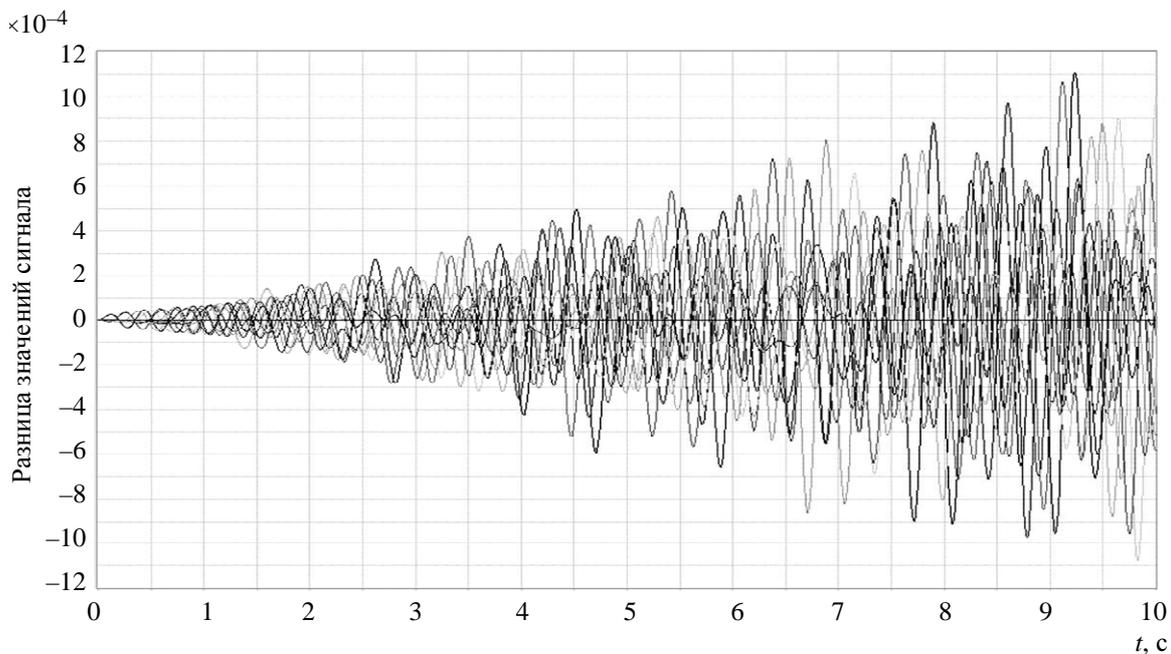


Рис. 2

Разработанная модель непригодна для аппаратной реализации на целевой платформе микроконтроллеров с архитектурой ARM, поскольку выполнена в LabVIEW Simulation Module, который обеспечивает генерацию кода только для PAC-контроллеров. Поэтому необходимо

перейти к реализации в виде схемы из элементарных вычислительных блоков среды LabVIEW. В качестве численного метода интегрирования для решения системы дифференциальных уравнений модели был выбран метод Рунге–Кутты-2. Для его использования необходимо преобразовать систему (5) в систему ДУ первого порядка. Для этого приведем уравнение (4) к нормальной форме Коши. В результате получим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_{1i}}{\partial t} = 100u_{2i-1} - 200u_{2i} + 100u_{2i+1}, \\ \frac{\partial u_{2i}}{\partial t} = u_{1i}. \end{cases} \quad (6)$$

Заменяя в системе (5) каждое ДУ уравнениями (6) получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_{11}}{\partial t} = 100u_{20} - 200u_{21} + 100u_{22}, \\ \frac{\partial u_{21}}{\partial t} = u_{11}, \\ \frac{\partial u_{12}}{\partial t} = 100u_{21} - 200u_{22} + 100u_{23}, \\ \frac{\partial u_{22}}{\partial t} = u_{12}, \\ \dots \\ \frac{\partial u_{121}}{\partial t} = 100u_{220} - 200u_{221} + 100u_{222}, \\ \frac{\partial u_{221}}{\partial t} = u_{121}. \end{cases} \quad (7)$$

Начальные условия для функций вида $u_{2(i)}$ эквивалентны начальным условиям u_i системы (5), для всех $u_{1(i)}$ начальные значения равны нулю.

Таким образом, получена модель колебания струны, пригодная для аппаратной реализации, которая представляет собой систему из 42 уравнений.

На рис. 3 представлена блок-диаграмма решения уравнения колебания струны методом Рунге–Кутты-2. Также реализована визуализация колебаний и оценка погрешности модели относительно реализации из примера NI LabVIEW и реализации в Simulation Module.

Оценка погрешности данной реализации относительно модели из примеров LabVIEW PDE на временном интервале в 10 с не превышает значения $1,2 \cdot 10^{-3}$, как и для модели в Simulation Module. Сравнение модели, реализованной в Simulation Module, и данной модели выявило расхождение лишь в 15-м знаке после запятой, что сопоставимо с точностью представления чисел в типе double. Это доказывает, что предлагаемая методика перехода от уравнения в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных разностных уравнений обеспечивает эквивалентность получаемых моделей.

Лицевая панель прибора, исполняемого на микроконтроллере сRIO-9012, показана на рис. 4. Как и в тестовом примере LabVIEW, реализована возможность выбора начальных условий системы, а также оценена погрешность данной модели, которая не выявила разницы с реализацией на компьютере.

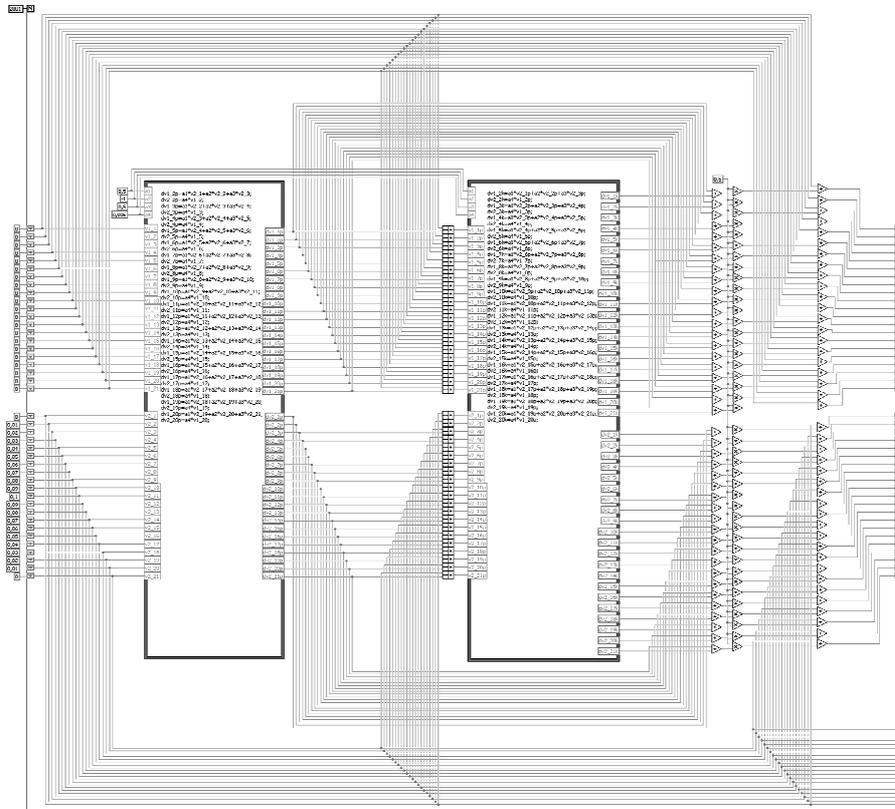


Рис. 3

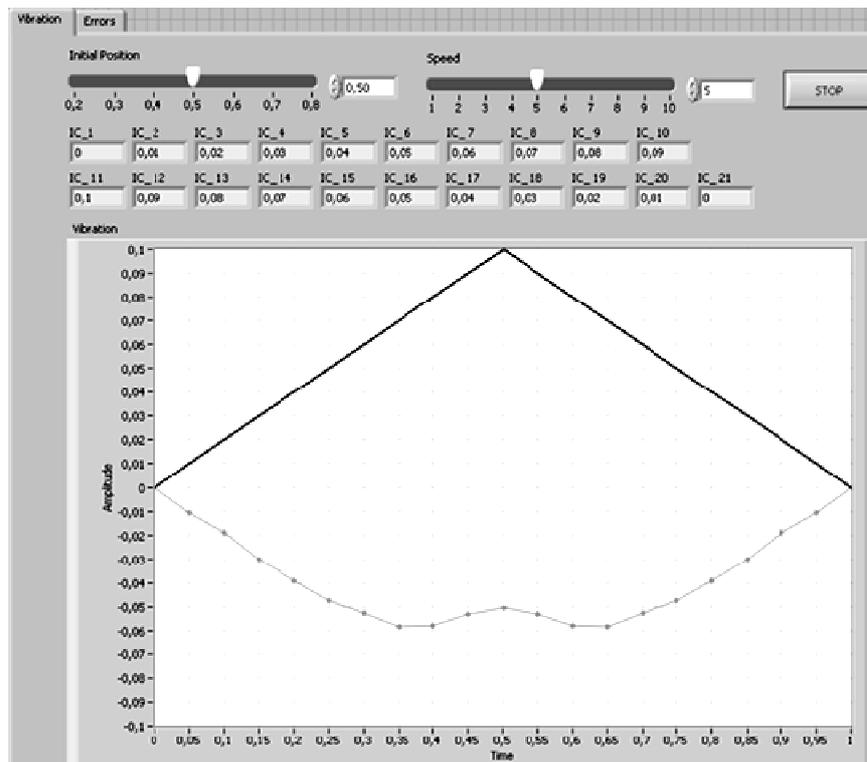


Рис. 4

Реализация прототипа на аппаратной платформе Keil ARM MCB 2368/1768. Отладочная плата Keil MCB 2368 полностью поддерживается модулем LabVIEW ARM Module, что позволяет автоматически генерировать код, исполнимый на микроконтроллере, из блок-диаграммы ВП, разработанного в среде NI LabVIEW. Поэтому данная платформа очень удобна для отладки разработанного решателя и оценки его временных и точностных характеристик. Отладочная плата Keil MCB 1768, напротив, не поддерживается средой NI LabVIEW, что не позволяет автоматически генерировать код. Поэтому для работы с данной платой необходимо вручную перейти от блок-диаграммы к коду, написанному на языке C. Наличие на плате Keil 1768 LCD экрана позволяет организовать визуализацию вибрации струны аналогично тому, что наблюдается на лицевой панели VI-модели.

На рис. 5 слева показан экран платы с финальными на интервале времени в 10 с результатами решения 9-го и 10-го уравнений системы (7). Справа на этом же рисунке изображены результаты решения тех же уравнений на компьютере в среде LabVIEW.



Рис. 5

Как видно из рисунка, результаты моделирования идентичны, что свидетельствует об эквивалентности точности решателей на ПК и на микроконтроллере ARM MCB 2368. Временные характеристики также удовлетворяют поставленной задаче.

Далее был разработан код компьютерной модели колебания струны на языке C, который исполняется на отладочной плате Keil MCB 1768.

На рис. 6 слева показан график программного решения уравнений, а справа – график аппаратного решения уравнений, отображаемый на LCD-экране отладочной платы Keil MCB 1768.

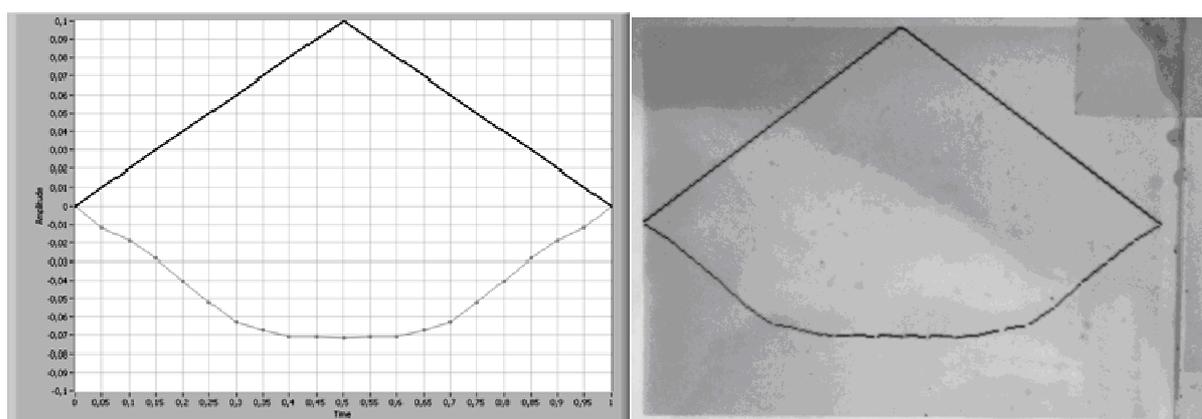


Рис. 6

Таким образом, предложенный математический аппарат позволяет организовать автоматическую генерацию кода для любой из поддерживаемых LabVIEW целевых платформ (ARM, cRIO, PAC и др.) Впервые получены аппаратные решатели уравнений в частных производных на базе микроконтроллеров. Оценка временных и точностных характеристик найденного решения подтверждает достоверность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виттенберг И. М. Программирование аналоговых вычислительных машин. М.: Машиностроение, 1972.
2. Танкелевич Р. Е. Моделирующие микропроцессорные системы. М.: Энергия, 1979.
3. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2011.

V. S. Andreev, D. N. Butusov

FINITE DIFFERENCE METHOD BASED HARDWARE AND SOFTWARE SOLVER OF THE PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

This article discusses an approach to the development of software and hardware solvers of partial differential equations for the model vibrations of the strings. Simulation is performed in the NI LabVIEW using the Simulation Module. We estimate error of modeling. Shows the different hardware implementations solvers: based on the PAC controller cRIO-9012 and ARM-based controller on the development board Keil MCB 2368 and Keil MCB 1768.

Partial differential equations, finite difference method, wave equation, model based design, virtual instrument, hardware implementation

УДК 004.651.5

А. В. Богданов, Тхурейн Киав Левин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАУЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассмотрены применения элементов виртуального полигона для консолидации используемых вычислительных компонентов и средств хранения данных на базе Sun Grid Engine. Анализируются структуры и особенности системы базы данных IBM DB2 в VMware, а также описывается опыт создания таких систем.

Распределенные базы данных, консолидация данных, доступ к распределенным данным

Рассмотрим применение элементов виртуального полигона для консолидации используемых вычислительных компонентов и средств хранения данных на базе Sun Grid Engine. Технология распределенных вычислений и Grid-технологии обеспечивают хранение и обработку больших объемов данных, их консолидацию для сложных проблем на базе гетерогенных вычислительных ресурсов, а также синхронную визуализацию. В реальном времени учет всех процессов, влияющих на конечный результат для сложных объектов поведения, не может быть организован на одном компьютере только потому, что требует адекватного использования различных ресурсов высокопроизводительных вычислений, обработки данных, визуализации и т. д. Будем рассматривать виртуальный полигон как единый комплекс для консолидации используемых вычислительных компонентов, являющихся набором многоуровневых приложений в распределенной вычислительной среде [1].

В результате анализа различных возможных комбинаций вычислительных платформ и промежуточного ПО был сделан следующий выбор:

1. В качестве промежуточного программного менеджера – SGE (Sun Grid Engine).
2. Для хранения и управления данными – IBM DB 2.
3. Создание портала и шлюза – UNICORE.
4. Тестовое приложение – WRF.

Можно рассматривать это решение и как применение базы данных DB2 для консолидации используемых вычислительных компонентов и средств хранения данных в виртуальном полигоне. DB2 UDB является полностью параллельной и поддерживает распараллелен-

ное исполнение большинства операций, включая запросы, вставку, обновление и удаление данных, создание индексов, загрузку и экспорт данных. При этом функциональности DB2, при переходе со стандартной, непараллельной среды исполнения на параллельную, масштабируются практически без ограничений при увеличении эффективности [2]. DB2 UDB была специально разработана для успешной работы в ряде параллельных сред, включая системы MPP, SMP и MPP-кластеры из SMP-узлов [3]. DB2 позволяет хранить данные в процессе решения комплексных вычислительных проблем, поэтому DB2 UDB и была выбрана как платформа для консолидации для виртуального полигона. Нестандартным элементом предлагаемого подхода стало использование IBM DB2 в операционном окружении VMware Infrastructure. Для этого были установлены VMware Tools в гостевой операционной системе и созданы 8 одинаковых однопроцессорных виртуальных машин. Были включены только виртуальные машины, используемые в процессе конкретного теста, а все неиспользуемые виртуальные машины на хосте ESX Server были закрыты.

По результатам этого исследования по запуску виртуальных сред VMware на X-сервере на базе AMD Opteron с использованием IBM DB2 для консолидации данных можно сделать следующие выводы:

- Использование преимуществ виртуализации серверов позволяет достичь почти родной производительности баз данных с минимальными накладными расходами.
- Удастся существенно увеличить масштабируемость по пропускной способности, запустив несколько однопроцессорных и SMP-виртуальных машин на одном физическом сервере.
- Использование NUMA-архитектуры памяти, организованной в базе процессора AMD Opteron, приводит к увеличению производительности DB2 в виртуальной среде.

При организации вычислений приходится применять много функций DB2, таких, как автоматическое хранение, хранимые процедуры, триггеры и целостность данных [4].

Результаты тестирования. Преимущества работы IBM DB2 на сервере VMware ESX становятся очевидными, когда запускается тест с несколькими виртуальными машинами. На рис. 1 показана масштабируемость по пропускной способности при последовательном увеличении числа однопроцессорных виртуальных машин (1-VCPU) с одной до восьми. Пропускная способность демонстрирует линейную масштабируемость в среде виртуальных машин.

На рис. 2 показаны результаты, полученные при запуске двухпроцессорных (2-VCPU) SMP-виртуальных машин. Масштабируемость достигнута последовательным увеличением числа 2-VCPU SMP-виртуальных машин с одной до семи. Пропускная способность продемонстрировала почти линейную масштабируемость до четырех виртуальных машин.

Интересно сравнить работу виртуальных процессоров в различных вычислительных архитектурах. Была смоделирована ситуация, когда одинаковое число процессоров используется в рамках MPP-и NUMA-архитектур. Другими словами, удваивалось число моделируемых пользователями 2-VCPU SMP-виртуальных машин и сравнивалось с таким же количеством 1-VCPU-виртуальных машин. Рис. 3 показывает, что пропускная способность почти вдвое выше в 2-VCPU SMP-виртуальной машине. Результаты показывают, что в виртуальных средах можно достичь масштабируемости SMP-систем, аналогичной тем, которые наблюдались в родной среде.

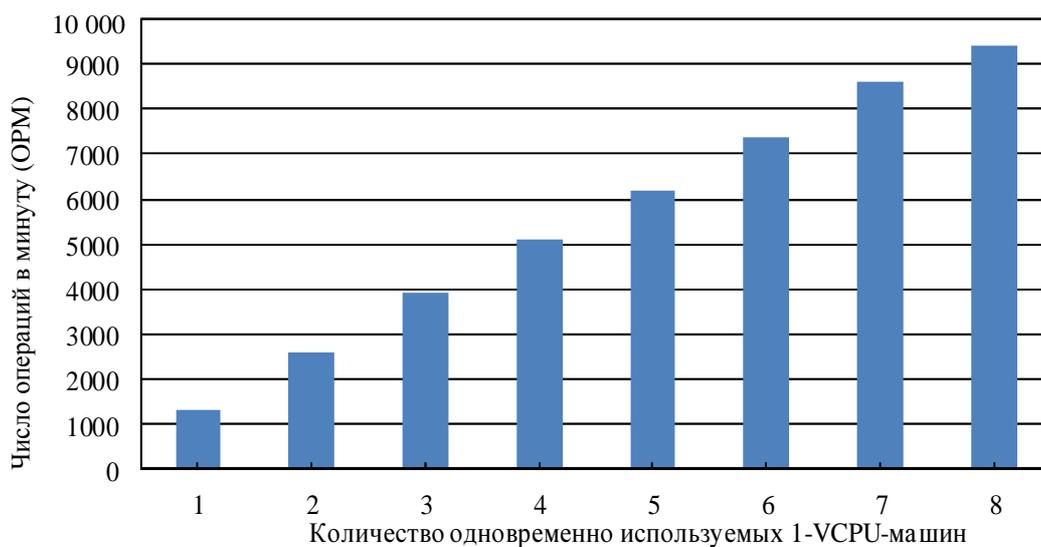


Рис. 1

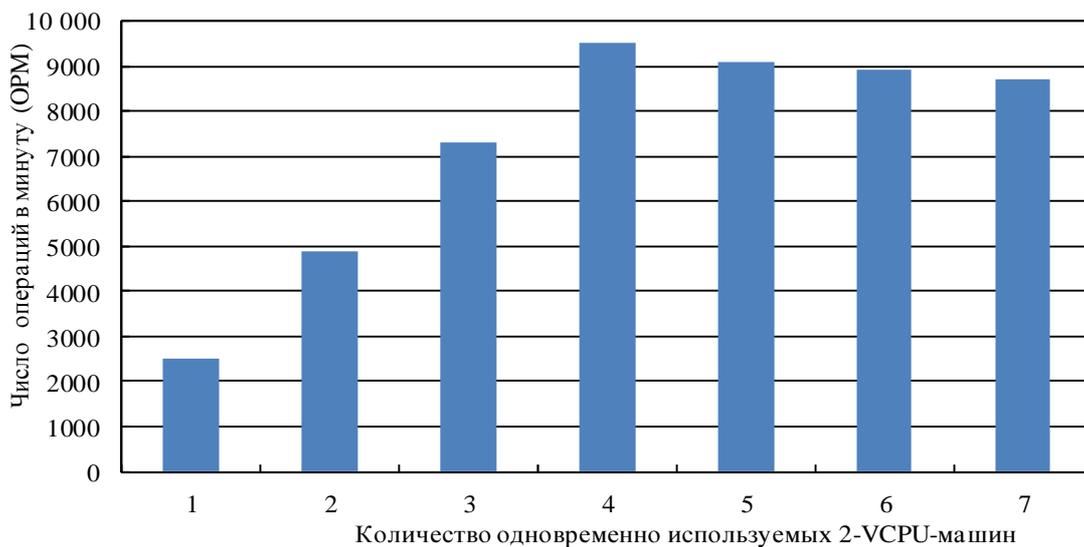


Рис. 2

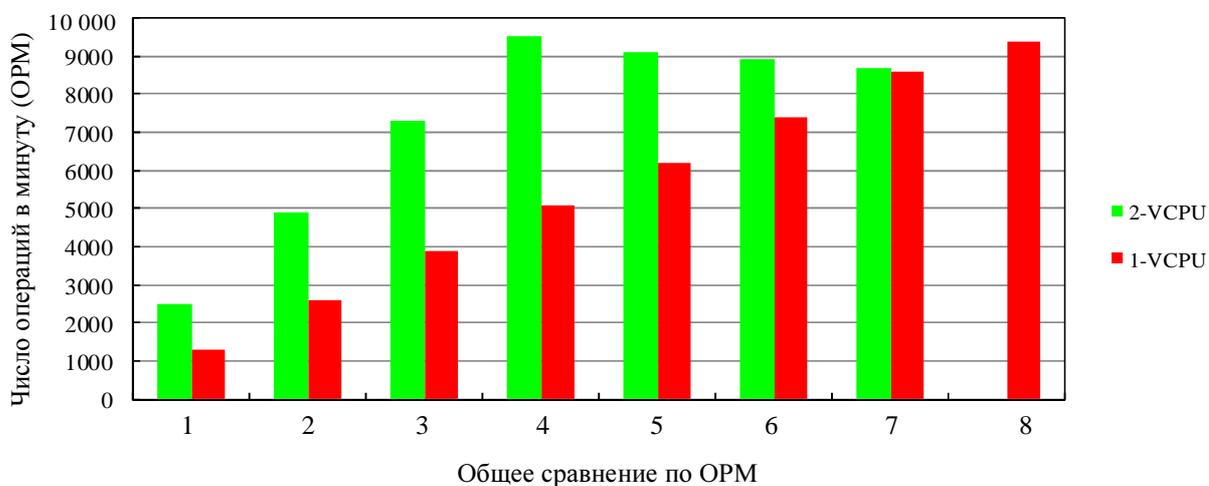


Рис. 3

Многие реальные проекты уже используют компоненты промежуточного программного обеспечения, разработанного для виртуального полигона. UDB DB2 – это не просто удобное операционное окружение с необходимым пользовательским интерфейсом, а практически единственно возможный инструмент для управления очень большими объемами данных, состоящих из набора разнородных данных. В представленной статье подтверждается вывод о том, что запуск виртуальных машин VMware на серверах IBM System x на основе процессоров AMD Opteron и с использованием IBM DB2 может обеспечить высокую эффективность работы в такой ситуации. Результаты ясно показывают, что в виртуальном операционном окружении хорошая пропускная способность сохраняется даже при значительном увеличении общего числа поддерживаемых пользователей и числа виртуальных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Problems of develop of complex multi-layered applications for heterogeneous environment / A.V. Bogdanov, A.B. Degtyarev, Soe Moe Lwin, Thurein Kyaw Lwin // Distributed Computing and Grid-Technologies in Science and Education: Proc. of the 4th Intern. conf., Dubna, June 28-July 3, 2010. Dubna: JINR, 2010. P. 51–57.
2. Bogdanov A. V., Thurein Kyaw Lwin, Shuvalov A. Unconventional use of distributed data bases from server consolidation to consolidation of resources // Distributed Computing and Grid-Technologies in Science and Education: Proc. of the 4th Intern. conf., Dubna, June 28-July 3, 2010. Dubna: JINR, 2010. P. 75–81.
3. Тхуреин Киав Лин. Использование технологии DB2 для интеграции гетерогенных комплексов // Сб. докл. 5-й Общерос. конф. молодых специалистов по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех-юниор 2009», СПб., 10-12 ноября 2009 г. С. 97–99.

A.V. Bogdanov, Thurein Kyaw Lwin

DATABASE TECHNOLOGY USE FOR SYSTEM INTEGRATION OF HETEROGENEOUS COMPLEXES FOR SCIENTIFIC COMPUTATIONS

The article reviews the application of virtual polygon elements for consolidation of available computational components and data storage using Sun Grid Engine. Structure and peculiarities of IBM DB2 database system under VMware. An experience in creating such systems is described in the article.

Distributed Databases, data consolidation, distributed data access

УДК 004.056.55

Хо Нгок Зуй, А. А. Молдовян

ОБРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО БЛОЧНОГО ШИФРА STUDIO-64

Описан новый скоростной блочный шифр на основе управляемых подстановочно-перестановочных сетей, построенных с использованием управляемых элементов $F_{4/1}$ и $F_{2/4}$, обладающий существенно более высокой производительностью и требующий меньших схемотехнических ресурсов по сравнению с известными блочными шифрами. Представлены результаты дифференциального криптоанализа и статистического тестирования шифра Studio-64.

Подстановочно-перестановочные сети, скоростные блочные шифры, аппаратная реализация

В настоящее время проблема информационной безопасности в информационно-вычислительных и телекоммуникационных системах приобрела первостепенное значение. Вследствие этого существенно возросла роль средств шифрования в качестве базового механизма защиты информации, позволяющего значительно повысить уровень защищенности информации на всех этапах ее обработки. Достоинством криптографического метода защиты ин-

формации являются его гибкость, универсальность, высокая стойкость и сравнительно небольшие экономические издержки. Применение механизма шифрования как элемента системы защиты информации в вычислительных и коммуникационных системах приобрело в настоящее время выраженный технологический характер. Использование средств шифрования характеризуется массовостью их применения, разнообразием технологических условий применения, необходимостью сохранения высокой производительности информационной системы. С учетом превращения шифрующих преобразований в технологический элемент современных средств защиты информации при разработке криптографических алгоритмов необходимо обеспечить: 1) криптографическую стойкость независимо от условий технологического применения, которые могут быть использованы для попытки несанкционированного доступа к информации; 2) высокую скорость шифрования с целью минимизации снижения производительности информационных систем, функционирующих в реальном масштабе времени; 3) экономичность их аппаратной и/или программной реализации. Для достижения указанных требований разработан новый скоростной блочный алгоритм Studio-64, основанный на новых примитивах, ориентированный на аппаратную реализацию с использованием ПЛИС нового поколения, обеспечивающий повышение эффективности реализации механизмов конфиденциальности.

Алгоритм Studio-64 представляет собой шестираундовый итеративный блочный шифр, осуществляющий преобразование 64-битовых блоков данных, построенный на основе управляемых элементов (УЭ) $F_{2/4}$ [1] и $F_{4/1}$ [2]. Он использует 128-битовый секретный ключ $K = (K_1, K_2)$, где K_1, K_2 – 64-битовые подключи. В алгоритме не используются процедуры преобразования подключей, что позволяет сохранить высокую скорость шифрования в случае применения шифра в условиях частой смены ключей шифрования (например, в криптографических маршрутизаторах). Предотвращение атак, использующих связанные ключи, обеспечивается тем, что управляющие векторы управляемых операций $F_{32/64}$ формируются в зависимости от подключей. Применение УЭ $F_{2/4}$ с расширенным управляющим входом обеспечивает усиление лавинного эффекта при изменении одиночных бит управляющего подблока данных, а при использовании УЭ $F_{4/1}$ с расширенным входом создаются предпосылки для задания более выраженного влияния входных бит на выходные.

Общий вид шифрующего преобразования показан на рис. 1, а, структура раундового преобразования – на рис. 1, б.

В общем случае процедура преобразования Studio-64 описывается следующим образом: $Y = T^{(e)}(X, K)$, где $X = (A, B)$ – блок данных входа (открытый текст); Y – зашифрованный текст, $X, Y \in \{0, 1\}^{64}$; $T^{(e)}$ – функция преобразования; $e \in \{0, 1\}$ – параметр, определяющий режим шифрования ($e = 0$) или дешифрования ($e = 1$). Процедура преобразования данных Studio-64 включает в себя следующие обобщенные шаги:

1. For $j = 1$ to 6 do: $\{(L, R) \leftarrow \text{Crypt}^{(e)}(L, R, Q_j); (L, R) \leftarrow (R, L)\}$.
2. Конечное преобразование: $\{(L, R) \leftarrow (F_{32/64}(L, Q_7), F_{32/64}(R, Q_7))\}$.

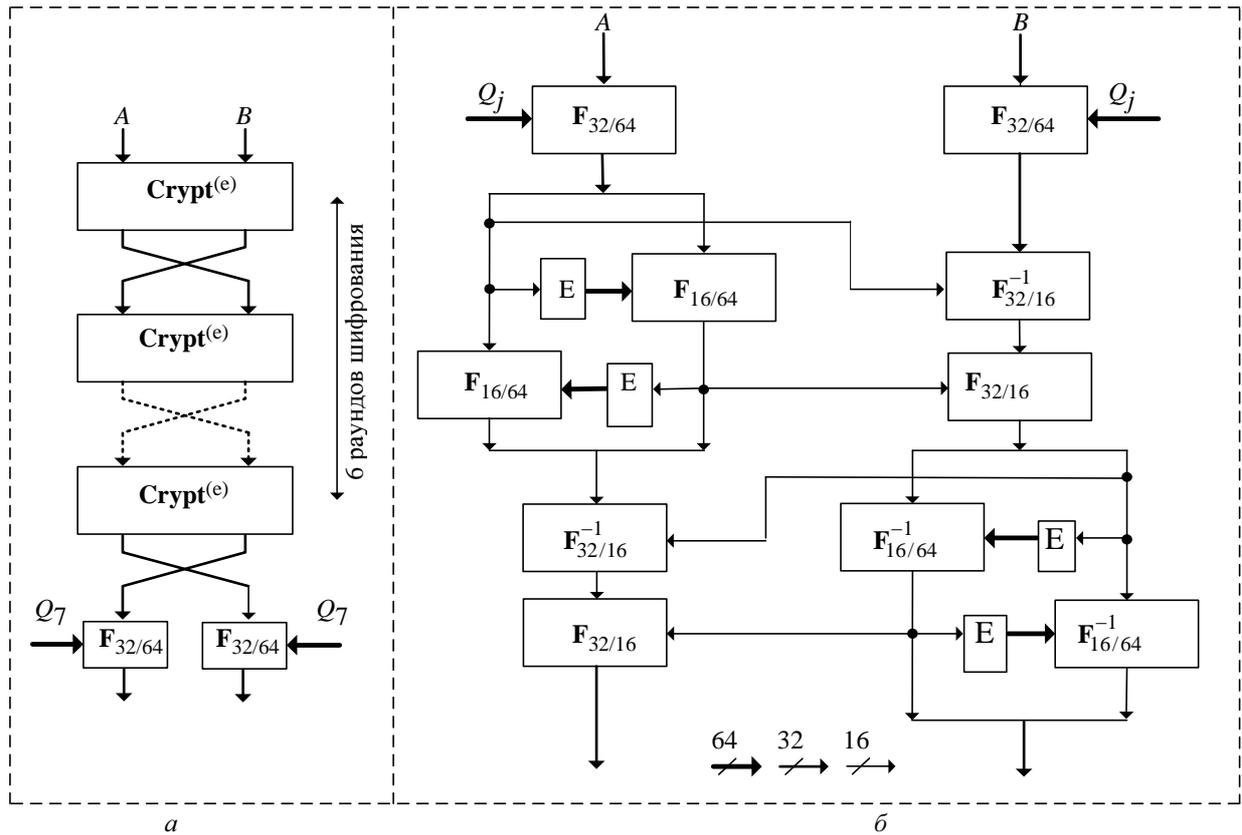


Рис. 1

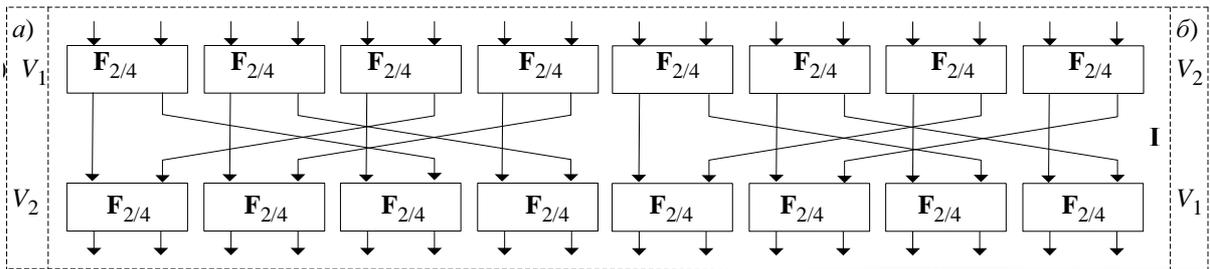


Рис. 2

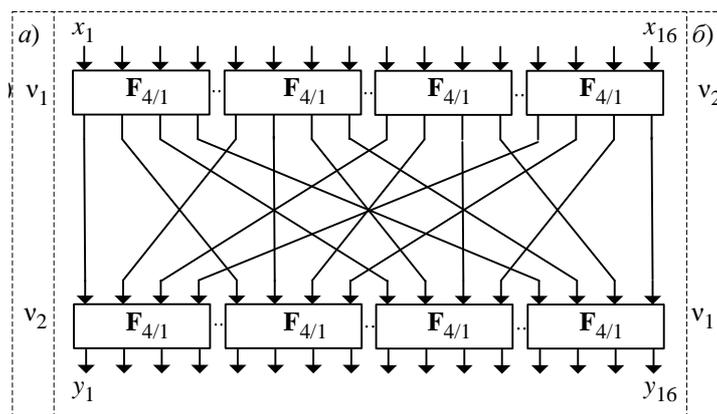


Рис. 3

Шифр Studio-64 комбинирует 3 вида УПС: $F_{16/64}$, $F_{32/16}$ и $F_{32/64}$. Структура операционных блоков $F_{16/64}$ и $F_{32/16}$ приведена на рис. 2. Структурный блок $F_{32/64}$ представляет собой множество из 16 параллельных УЭ $F_{2/4}$. В качестве типового УЭ при построении блоков $F_{16/64}$, $F_{32/16}$ и $F_{32/64}$ используются элементы $F_{2/4}$, описываемые набором мо-

дификаций № 4 из табл. 1 в работе [1]. Операционный блок $F_{32/16}$ представляет собой множество из двух параллельных операционных блоков $F_{16/8}$ (рис. 3, а). Операционный блок $F_{32/16}^{-1}$ представляет собой множество из двух параллельных операционных блоков $F_{16/8}^{-1}$ (рис. 3, б). В качестве типового УЭ при построении блоков $F_{32/16}$ и $F_{32/16}^{-1}$ используются элементы $F_{4/1}$, описываемые набором модификаций № 2 из табл. 3 в работе [2].

Расписание ключей для алгоритма Studio-64 представлено в табл. 1. Управляющие 64-битовые векторы V и V' , соответствующие блокам $F_{16/64}$ и $F_{16/64}^{-1}$, формируются с помощью блока расширения E , который описывается следующим образом:

$$E(X) = V = (V_1, V_2) = (X, X \ll 4, X \ll 8, X \ll 12),$$

где $X \ll b$ обозначает циклический сдвиг $X = (x_1, \dots, x_{16})$ влево на b бит.

Таблица 1

j	1	2	3	4	5	6	7
$Q^{(e=0)}_j$	K_1	K_2	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
$Q^{(e=1)}_j$	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_2	K_1

Сложность аппаратной реализации шифра Studio-64 оценивалась для случая аппаратной реализации в приборах программируемой логики типа Xilinx Virtex-5 FPGA в итеративной архитектуре. Результаты сравнительного анализа эффективности аппаратной реализации шифра Studio-64, оцененной по показателю «Производительность/Стоимость», по сравнению с блочным шифром AES [3] приведены в табл. 2. Результаты показывают, что для рассматриваемой реализации разработанный шифр существенно эффективнее по сравнению с новым американским стандартом AES.

Таблица 2

Шифр	Число раундов	#CLB*	Частота, МГц	Скорость, Мбит/с (Mbps)	Показатель эффективности аппаратной реализации (Mbps/#CLB)
Studio-64	6	64	370.5	3952	61.75
AES [4]	10	200	339.87	4350	21.7

Оценивание эффективности применения любых криптографических примитивов необходимо не только при определении достигаемого уровня производительности или схемотехнической сложности аппаратной реализации, но и, в первую очередь, с учетом результатов их криптографической стойкости. При этом именно криптоанализ представляется наиболее ресурсоемким этапом разработки и внедрения новых криптоалгоритмов.

Для проверки рассеивающих свойств блочных алгоритмов ранее было предложено тестировать их по методике, предложенной в [4], [5]. В соответствии с данной методикой при оценивании статистических свойств алгоритмов блочного шифрования определяются следующие характеристики:

1. Среднее число бит выхода, изменяющихся при изменении одного бита входного вектора – d_1 .
2. Степень полноты преобразования d_c .
3. Степень лавинного эффекта d_a .
4. Степень соответствия строгому лавинному критерию d_{sa} .

Результаты тестирования влияния бит входного текста и влияния бит ключа для алгоритма Studio-64 представлены в табл. 3.

Таблица 3

Число раундов	Влияние бит входного текста				Влияние бит ключа			
	d_1	d_c	d_a	d_{sa}	d_1	d_c	d_a	d_{sa}
1	28.8907	1.0000	0.8963	0.8600	15.7093	0.5358	0.4784	0.4695
2	31.9936	1.0000	0.9989	0.9906	29.5781	1.0000	0.9091	0.8921
3	31.9945	1.0000	0.9991	0.9914	31.9998	1.0000	0.9970	0.9904
4	32.0000	1.0000	0.9990	0.9919	32.0000	1.0000	0.9990	0.9916
5	32.0032	1.0000	0.9991	0.9917	31.9964	1.0000	0.9991	0.9917
6	31.9938	1.0000	0.9991	0.9919	32.0047	1.0000	0.9991	0.9919
8	32.0000	1.0000	0.9991	0.9918	31.9997	1.0000	0.9991	0.9917
10	31.9996	1.0000	0.9991	0.9920	32.0032	1.0000	0.9990	0.9920
12	31.9997	1.0000	0.9991	0.9919	31.9996	1.0000	0.9990	0.9919

Результаты исследования показывают, что разработанный алгоритм шифрования обеспечивает достаточно сильное рассеивающее влияние каждого бита открытого текста на все биты преобразованного. В целом, для всех раундов, начиная с третьего, значения параметров соответственно равны $d_1 \approx 0.5n$, $d_c \approx 1$, $d_a \approx 1$, $d_{sa} \approx 1$. В частности, *критерий полноты*, согласно которому «каждый входной бит должен влиять на каждый выходной бит», выполняется уже на втором раунде шифрования. Данные тестирования алгоритма Studio-64 также свидетельствуют о том, что даже без использования стойкой процедуры генерации расширенного секретного ключа обеспечивается значительное рассеивающее влияние каждого бита ключа на все биты преобразованного текста.

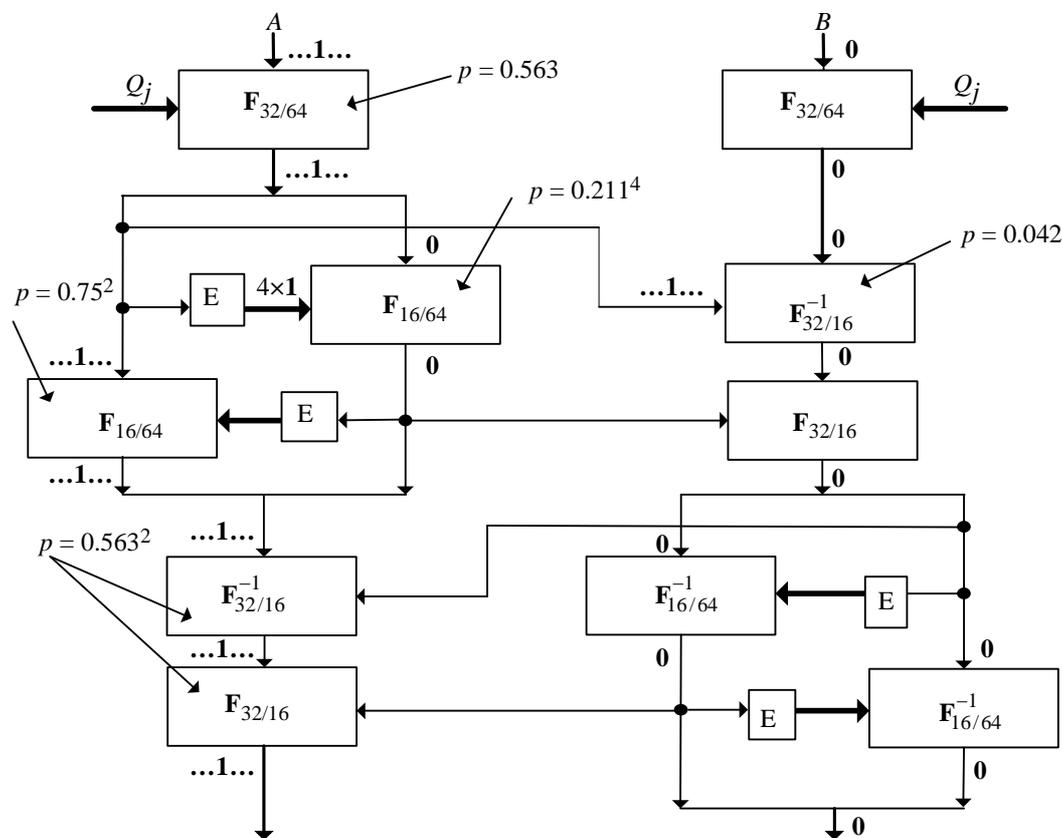


Рис. 4

Предварительное исследование стойкости алгоритма Studio-64 к различным атакам показало, что наиболее эффективным методом криптоанализа является дифференциальный метод. При дифференциальном анализе Studio-64 дифференциальные характеристики с малым числом активных бит также имеют более высокие вероятности по сравнению с характеристиками, включающими разности большого веса. Наибольшую вероятность имеет характеристика, соответствующая прохождению разности (Δ_1) через один раунд шифрования. Механизм прохождения разности (Δ_1) через раунд с результирующей вероятностью получения выходной разности (Δ_1), равной $\text{Pr}(1) \approx 2^{-18.5}$, показан на рис. 4. Экспериментальная проверка подтвердила указанную теоретическую оценку.

В соответствии с полученными значениями вероятностей наилучших дифференциальных характеристик можно сделать вывод, что трех раундов достаточно для того, чтобы шифр был неотличим от случайного преобразования с помощью дифференциального анализа. Три дополнительных раунда создают дополнительный запас по стойкости к дифференциальному криптоанализу.

Таким образом, в данной статье показана перспективность применения УППС на основе УЭ, зависящих от преобразуемых данных, в качестве основного примитива скоростных блочных шифров, ориентированных на недорогую аппаратную реализацию. На основе этого примитива разработан блочный шифр с 64-битовым входом, обладающий высокой эффективностью аппаратной реализации с использованием программируемых логических ПЛИС, оцениваемой в модели отношения производительности к затрачиваемым схемотехническим ресурсам. Экспериментальные исследования статистических свойств Studio-64 показали, что он имеет хорошие рассеивающие свойства. Анализ стойкости этого шифра к дифференциальному криптоанализу показал, что разработанный алгоритм обеспечивает достаточно высокий уровень безопасности. По аналогии можно разработать блочные шифры с размером входа 128 или 256 бит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хо Нгок Зуй, Молдовян Н. А. Управляемые элементы F2/4 как примитив блочных шифров // Вопросы защиты информации. 2011. № 1 (92). С. 2–10.
2. Хо Нгок Зуй, Молдовян Н. А. Управляемые элементы F4/1 как примитив скоростных блочных шифров // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 2. С. 27–32.
3. Muhammad H. Rais and Syed M. Qasim. Efficient Hardware Realization of Advanced Encryption Standard Algorithm using Virtex-5 FPGA // Intern. J. of Computer Science and Network Security. 2009. Vol. 9, № 9.
4. Moldovyan N. A., Moldovyan A. A., Eremeev M. A. A Class of Data-Dependent Operations // Intern. J. of Network Security. 2006. Vol. 2, № 3. P. 187–204.
5. New Class of Cryptographic Primitives and Cipher Design, for Networks Security / N. A. Moldovyan, A. A. Moldovyan, M. A. Eremeev, N. Sklavos // Intern. J. of Network Security. 2006. Vol. 2, № 2. P. 114–125.

Ho Ngoc Duy, A. A. Moldovyan

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF FAST BLOCK CIPHER STUDIO-64

To improve implementation of the confidentiality mechanism has been proposed a new fast block cipher based on the controlled substitution-permutation networks, is constructed by the using controlled elements F4/1 and F2/4, has significantly better performance and require less circuitry resources compared with the known block cipher. Presents the results of differential cryptanalysis and statistical testing cipher Studio-64.

Substitution-permutation networks, fast block ciphers, hardware implementation

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ФОРМАНТНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

Рассматривается разработка подсистемы формантной параметризации, основанной на алгоритме ESA (Energy Separation Algorithm). Получены результаты точности распознавания гласных звуков, сравнимые с актуальными системами автоматического распознавания речи, основанными на СММ (скрытые марковские модели) и параметризации MFCC.

Распознавание речи, форманты, параметризация речевого сигнала, оператор Тиджера, цифровая обработка сигналов

Упрощенная модель формирования речи рассматривает независимо формирующий фильтр в виде речевого тракта человека с присущими ему резонаторами и первичный источник. Для вокализованных звуков первичный источник – прерывистый поток воздуха, формируемый смыканием-размыканием голосовых связок.

Итоговый амплитудный спектр речевого сигнала образуется в результате поэлементного умножения спектра источника на спектр фильтровой функции [1]. Формантами называются максимумы передаточной функции речевого тракта, характеризующие его форму [2, с. 13–15]. Частоты формант обычно обозначаются как F_1 , F_2 , F_3 , а ширины полос формант на уровне 3 дБ от вершины огибающей спектра – B_1 , B_2 , B_3 .

Амплитуды и частоты формант характеризуют форму речевого тракта, поэтому различным звукам соответствуют различные спектры [1], что дает возможность распознавания фонем по параметрам формант. В ходе исследования в этом проекте был проведен эксперимент по восприятию сигнала, восстановленного всего по двум формантным частотам (с учетом амплитуды). После такого упрощенного восстановления получался сигнал, в котором сохранялась удовлетворительная разборчивость на уровне слов и слогов.

Лучше всего формантная параметризация подходит для распознавания гласных звуков [3]. Хотя в обычной речи гласные звуки несут меньше информации, чем остальные, но в сильно зашумленном окружении человек распознает речь преимущественно по вокализованным звукам, так как сигнал на невокализованных участках находится под уровнем шума.

Исторически первыми попытками автоматического распознавания речи были попытки изолированного распознавания гласных по оценкам их формант. В дальнейшем с помощью систем распознавания слитной речи, основанных на скрытых марковских моделях (СММ), на лабораторной речи высокого качества удалось достичь приемлемых результатов распознавания. Методы, основанные на формантном распознавании, были заброшены в связи с отсутствием алгоритмов, позволяющих измерить в реальной речи частоту формант с требуемой точностью. Сложность измерения частот формант связана с линейчатый характером спектра вокализованного звука.

Обзор наиболее популярных среди фонетистов систем анализа речи с открытым кодом (Snack, <http://www.speech.kth.se/snack/>; Praat, <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>) показал, что в этих системах для формантного анализа используется в основном авторегрессионная модель. Однако в ходе исследования выяснилось, что этот метод дает неудовлетворительные результаты, в особенности для низких частот.

Применительно к телефонной речи (с низкой частотой дискретизации 8 кГц) пока нельзя говорить об успешном решении задачи распознавания. Использование СММ с параметризацией MFCC (Mel-frequency cepstral coefficients) на уровне фонемного распознавания (не используя более высокие уровни слов и языка) достигло своего предела. В связи с этим необходимо использовать дополнительные методы, имеющие физическую природу, например формантную параметризацию. На сегодняшний день нет общепризнанно лучшего метода, успешно решающего задачу выделения и достаточно точного измерения формант, что подтверждает актуальность исследований в этом направлении.

Алгоритмы оценки формант.

Поиск максимумов в спектре. Необходимо найти максимальное значение спектра в полосе форманты, которое должно являться локальным максимумом – для того, чтобы исключить ситуацию неверного выбора форманты на границах формантных интервалов. Полосы формант: для F_1 – от 215 до 870 Гц; для F_2 – от 870 до 2500 Гц.

Полюсы в авторегрессионной модели. По полюсам авторегрессионной модели вычисляются соответствующие им частоты; среди частот, попадающих в диапазон формант, выбираются полюсы с наибольшей амплитудой. Если p_k – полюс АР-модели, тогда:

$F_k = \frac{\arg(p_k)}{2\pi F_s}$ – частота, соответствующая полюсу, $A_k = \frac{-\log|p_k|}{2} F_s$ – амплитуда, соответствующая полюсу.

Оператор Тиджера. Алгоритм разделения энергии (Energy separation algorithm – ESA) был разработан Марагосом (Maragos) для выделения амплитудной огибающей и мгновенной частоты сигнала [4]. Алгоритм ESA основывается на операторе Тиджера (Teager), определяемом для непрерывного времени как

$$\psi_c[s(t)] = [\dot{s}(t)]^2 - s(t)\ddot{s}(t),$$

где $\dot{s}(t) = ds/dt$. Если обрабатываемый сигнал порожден резонатором с затуханием, т. е. имеет вид $s(t) = e^{-\alpha t} \cos(\beta t)$, то оператор Тиджера дает *точное* значение полной энергии, что позволяет найти *точные* значения мгновенной амплитуды и частоты.

Если для дискретного времени в качестве оценки производной принять первую разность, то оператор Тиджера примет вид [4]:

$$\psi_d[x(n)] \triangleq [x(n)]^2 - x(n-1)x(n+1), \text{ где } x(n) \text{ – дискретный сигнал, } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Мгновенная частота $\omega(n)$ и амплитуда $a(n)$ будут вычисляться по формулам:

$$y(n) = x(n) - x(n-1),$$

$$\omega(n) \approx \arccos\left(1 - \frac{\psi_d[y(n)] + \psi_d[y(n+1)]}{4\psi_d[x(n)]}\right),$$

$$|a(n)| \approx \sqrt{\frac{\psi_d[x(n)]}{\left(1 - \frac{\psi_d[y(n)] + \psi_d[y(n+1)]}{4\psi_d[x(n)]}\right)^2}}. \quad (1)$$

Этот вариант вычислений предложен под названием DESA1 (Discrete Energy separation algorithm) [4, с. 9]. Мгновенная частота $\omega(n)$ находится в промежутке $0 < \omega(n) < \pi$, что соответствует диапазону частот от нуля до половины частоты дискретизации.

Как уже отмечалось, для сигнала затухающего резонатора найденные оценки являются точными. Однако при существенном отличии входного сигнала от модели результаты ухудшаются вплоть до полной потери работоспособности алгоритма. Например, если обрабатываемый сигнал имеет локальный минимум с положительным значением, то вычисления по формулам (1) приводят к отрицательному значению подкоренного выражения.

В связи с этим для применения DESA1 к измерению частот и амплитуд формант речевого сигнала необходимо предварительно выделить из сигнала колебания только одного резонатора. Очевидными являются подход, основанный на грубой оценке формантной частоты с последующим итерационным уточнением, и описанный далее подход на основе слепого перебора возможных значений.

Исходный речевой сигнал расфильтровывается по полосам гребенкой полосовых фильтров (в [5] использовались фильтры Габора), после чего к выходным сигналам фильтров применяется DESA1 для получения локальных оценок частоты и амплитуды. Тогда оценка форманты может быть найдена как решение уравнения $F_{\omega}(i) - f_c(i) = 0$, где $f_c(i)$ – центральная частота i -го фильтра, а $F_{\omega}(i)$ – оценка мгновенной частоты выходного сигнала i -го фильтра. Поскольку при рассогласовании мгновенной частоты выходного сигнала фильтра и центральной частоты фильтра оценка мгновенной частоты смещается в сторону центральной частоты фильтра, надо отбирать те решения, где $F_{\omega}(i) - f_c(i)$ с ростом i пересекает ноль сверху вниз.

Оценка мгновенной частоты методом ESA локальна (вычисление производится только по пяти соседним точкам), что оставляет место для усреднений и фильтрации выбросов. Усредняемая выборка содержит множество аномальных выбросов, что заставляет применять робастные способы оценки среднего.

На рис. 1 приводится спектр фонемы **а** с максимумом в 533.3 Гц, на рис. 2 – профиль оценок мгновенной частоты ($f_{i\text{ВЫХ}}$) для 80 фильтров, расположенных с шагом 50 Гц (центральная частота f_i).

Сигнал разбит на кадры по 10 мс (80 отсчетов) без перекрытия. В рамках кадра усреднение проводилось последовательно отбраковкой 10 % наибольших и 10 % наименьших отсчетов с последующим усреднением оставшихся отсчетов. В качестве веса использовалась оценка амплитуды по формуле

$$F_{\omega} = \frac{\int_0^{t_0+T} f(t)[a(t)]^2 dt}{\int_0^{t_0+T} [a(t)]^2 dt}.$$

В дальнейшем для распознавания гласных звуков в качестве оценки форманты принималась медиана оценок форманты на всех кадрах распознаваемого звука.

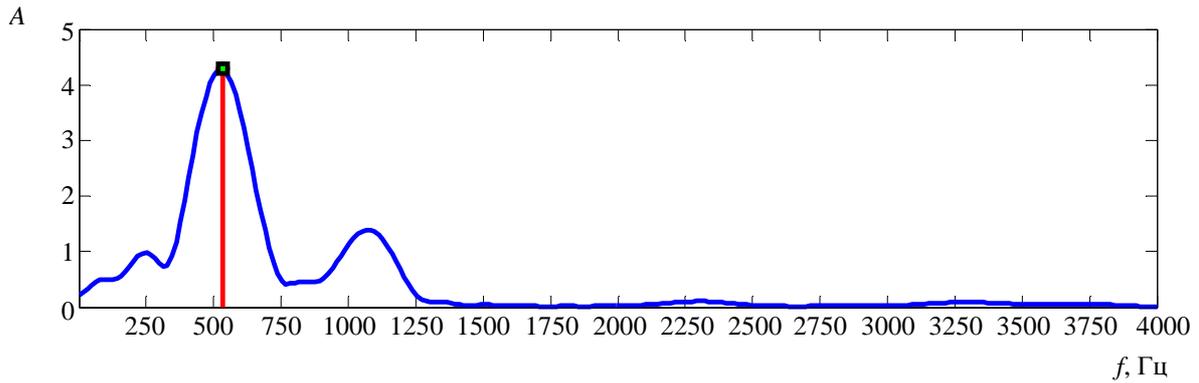


Рис. 1

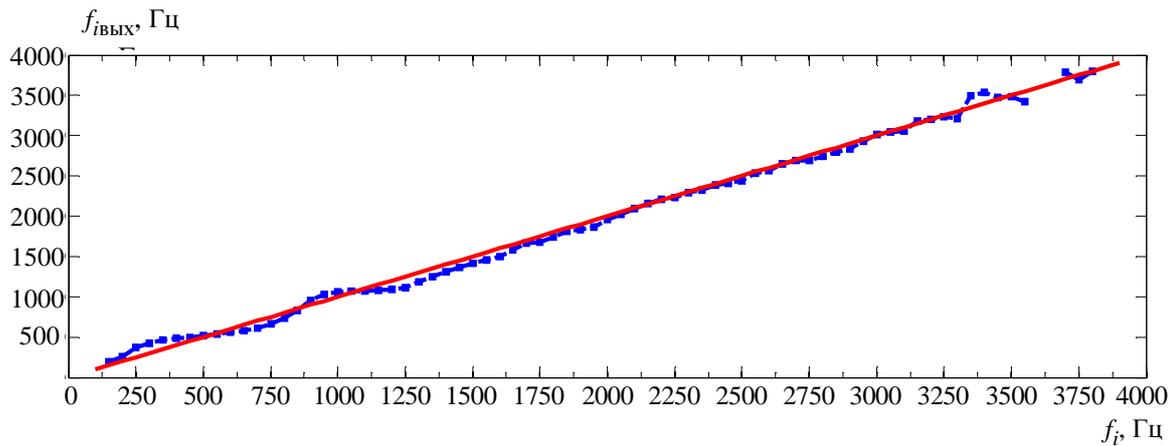


Рис. 2

Возникает проблема отбора формант из кандидатов, так как уравнение $F_{\omega}(i) - f_c(i) = 0$ может иметь несколько решений. В статье [5] предложены критерии, однако при попытке повторить результаты авторов на русской речи с частотой оцифровки 8 кГц встретились трудности. Поэтому был применен следующий критерий отбора:

– форманта F_1 : выбор наименьшего решения в области первой форманты [215; 870]

$$F_{\Delta i\omega} = F_{\omega}(i) - f_c(i), i: F_{\Delta i\omega} > 0 \text{ и } i: F_{\Delta(i+1)\omega} < 0;$$

– форманта F_2 : дополнительное условие в области второй форманты [870; 2400]

$$i: S_i = [F_{\Delta i\omega} + F_{\Delta(i-1)\omega}] - [F_{\Delta(i+1)\omega} + F_{\Delta(i+2)\omega}] \rightarrow \max.$$

Сравнение методов оценки формант. В табл. 1 приводится сравнение алгоритма ESA с базовыми алгоритмами оценки формант (поиск максимума в спектре и по полюсам авторегрессионной модели). Для каждого диктора рассчитано среднее значение первой форманты конкретной фонемы (\bar{F}) и среднее квадратическое отклонение (F_{σ}). Для каждого диктора в строке для столбца-метода сделана запись в виде $\bar{F} \pm F_{\sigma}$. В качестве интегральной оценки для каждого метода было использовано значение $S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_{\sigma i} / \bar{F}_i$. Дополнительно вычислены среднее значение и дисперсия форманты для данных, объединенных по всем дикторам.

Таблица 1

Диктор	DESA1	Спектральный метод	Полюсы AP-модели
001	408.1 ± 24.6	400.0 ± 39.3	432.9 ± 128.6
002	400.4 ± 23.5	394.2 ± 30.8	403.3 ± 96.6
003	408.1 ± 21.7	395.6 ± 32.2	408.5 ± 97.4
004	414.8 ± 28.4	422.0 ± 37.2	448.2 ± 81.7
005	397.0 ± 35.0	332.4 ± 61.4	467.4 ± 159.2
006	442.9 ± 37.1	439.0 ± 64.3	484.6 ± 58.3
009	435.4 ± 35.7	439.3 ± 49.6	472.9 ± 90.2
\bar{F}	415.3	403.2	445.4
F_{σ}	45.0	101.7	55.3
S	0.0707	0.1129	0.2298

Из таблицы видно, что DESA1 превосходит по относительному СКО спектральный метод в 1.5 раза, а метод полюсов AP-модели – в 3 раза.

Распределение формант гласных звуков одного диктора. На рис. 3 приводится распределение оценок формант разных гласных звуков для одного диктора.

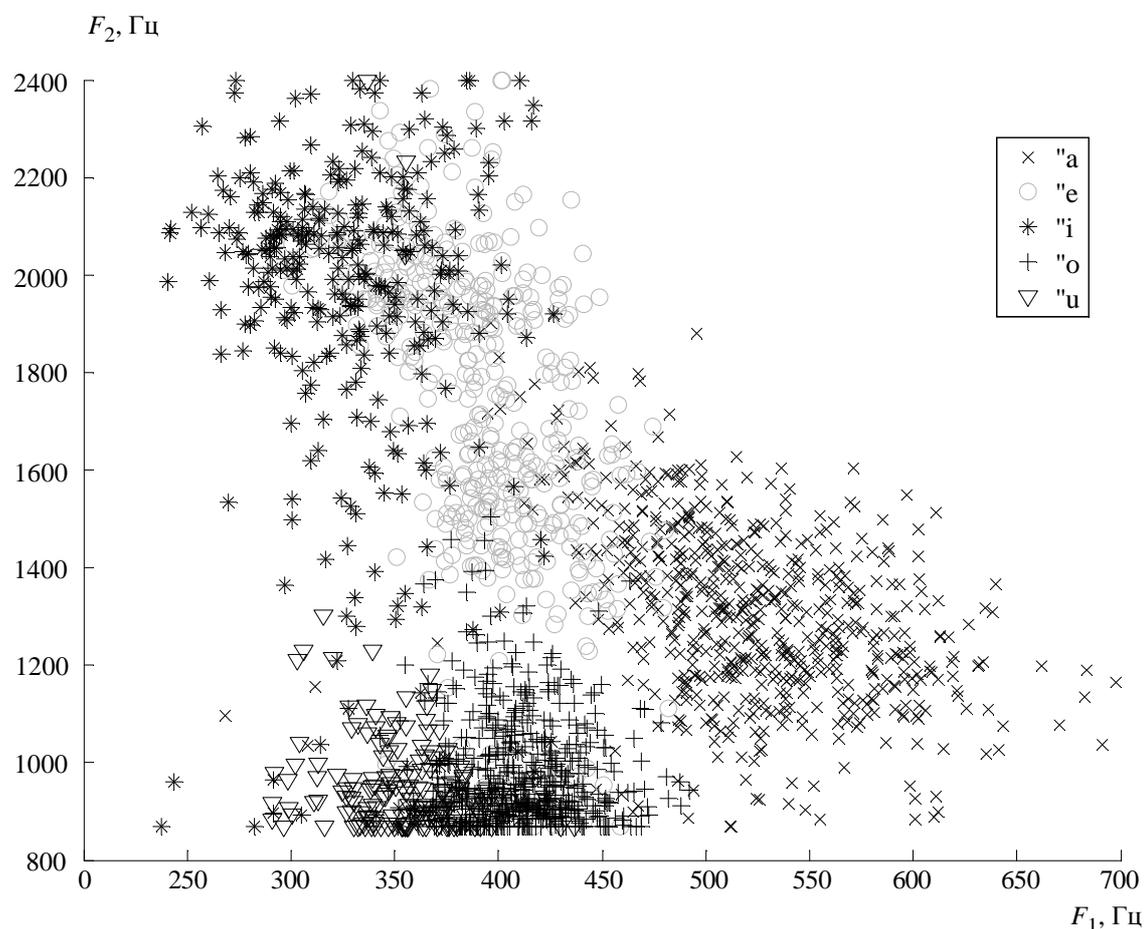


Рис. 3

Наблюдается разделение облаков формант на классы, хотя присутствует значительное перекрытие классов е и і, а также о и u. Кроме того, на рисунке видно заметное количество ошибок в оценке второй форманты гласной і (она должна быть около 2000 Гц). Скорее всего, алгоритм зацепился за неустойчивый максимум в спектре, не имеющий фонеморазличительного смысла. Наличие таких максимумов в мужской русской речи установлено в [6].

Нормализация к диктору. Вариации формант одного гласного звука возникают вследствие двух причин: различие речевых трактов разных людей и место звука во фразе. Чем дальше расположен гласный звук от места удара, тем менее четко он произносится. Заударные гласные часто имеют сокращенную длительность и пониженную громкость, что также затрудняет оценку формант.

В работе [7] проводилось сравнение процедур нормализации формантных частот для шести германских языков. Была отмечена относительная эффективность процедур нормализации, использующих среднее или дисперсии формант системы гласных. Здесь важно отметить, что эффективная для одного языка процедура нормализации может быть неэффективной в другом языке. Однозначного ответа о процедурах нормализации пока нет.

В описываемых экспериментах нормализация проводилась вычитанием среднего значения форманты для данного диктора.

Распознавание гласных звуков. Распознавание проводилось с помощью деревьев решений. Для построения решающего дерева были выбраны первые 5 дикторов, 2 оставшихся диктора использовались для тестирования. При обучении с помощью деревьев решения по пяти дикторам и экзамене на двух было получено среднее значение точности распознавания, равное 0.734. В табл. 2 приводится матрица спутывания гласных фонем для дикторов 006 и 009.

Таблица 2

	"a'	"e'	"i'	"o'	"u'
"a'	0.842	0.110	0.008	0.032	0.008
"e'	0.077	0.634	0.276	0.013	0.000
"i'	0.007	0.161	0.817	0.007	0.008
"o'	0.129	0.108	0.011	0.691	0.062
"u'	0.021	0.043	0.070	0.254	0.612

Непосредственное сравнение качества распознавания гласных по формантам с распознаванием при помощи СММ затруднительно, так как методом СММ распознается не отдельная фонема, а протяженный участок речи как единое целое.

Для сопоставления был проделан следующий эксперимент. Речь распознавалась при помощи метода СММ и параметризации MFCC (реализация средствами пакета НТК). В полученной цепочке фонем гласные фонемы повторно распознавались по формантной параметризации. После этого подсчитывалось качество распознавания (в смысле Phonem Error Rate (PER) [8]) и сравнивалось с PER цепочки, полученной с помощью НТК. Для диктора 006 PER не изменился (был 53.7 и остался 53.7), для диктора 009 распознавание гласных по формантной параметризации оказалось незначительно хуже (PER был 52.3, а стал 53.5).

Получение всего по двум параметрам (частоты F_1 и F_2) качества распознавания гласных звуков, сопоставимого с качеством распознавания СММ по параметризации MFCC с 42-мерным вектором параметров, подтверждает перспективность продолжения исследований в направлении совершенствования формантной параметризации.

Естественное продолжение исследований состоит в устранении аномальных ошибок (см. рис. 3) и совершенствовании процедуры робастного усреднения локальных оценок мгновенной частоты и амплитуды. Интересной является также попытка выделения в сигнале тех участков, на которых голосовые связки сомкнуты, и оценивания мгновенной частоты и амплитуды только на них, что приблизит сигнал к принятой при создании алгоритма DESA1 модели (резонатор с затуханием). Одним из направлений повышения эффективности системы

распознавания речи является объединение с системой обработки текстов на естественном языке, включающей алгоритмы поиска кратных ошибок, морфологического, синтаксического, семантического и прагматического анализа [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фант Г. Акустическая теория речеобразования. М.: Наука, 1964.
2. Динамические спектры речевых сигналов / М. Ф. Деркач, Р. Я. Гумецкий, Б. М. Гура, М. Е. Чабан. Львов: Издательство при Львовском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 1983.
3. Бондаренко М. Ф., Дрюченко А. Я., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Гласные звуки в теории и эксперименте / Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники. Харьков, 2002.
4. Maragos P., Kaiser J. F., Thomas F. Quatieri. Energy separations in signal modulations with application to speech analysis // IEEE transactions on signal proceedings. 1993.
5. Potamianos A., Maragos P. Speech formant frequency and bandwidth tracking using multiband energy demodulation. Б.м.: Acoustical Society of America, 1996.
6. Гарбарук В. И. Особенности признакового восприятия звуков речи: Дис. ... канд. биол. наук. Л., 1984.
7. Disner S. F. Evaluation of vowel normalization procedures // J. Acoust. Soc. Amer. 1980. P. 253–261.
8. Саакян А. А. Исследование свойств показателей качества систем распознавания речи // Проблемы управления. 2009. № 4. С. 66–73.
9. Samsonova M., Pisarev A., Blagov M. Processing of natural language queries to a relational database // Bioinformatics. 2003. 19, Suppl. 1. P. 241–249.

A. N. Yahnev, A. E. Bulashevitch, A. S. Pisarev

ALGORITHMS AND SOFTWARE DEVELOPMENT FOR FORMANT PARAMETERIZATION SUBSYSTEM.

It is considered formant parameterization subsystem development, based on Energy Separation Algorithm (ESA). The results of vowel sounds recognition are similar with actual systems of speech recognition, based on Hidden Markov Models (HMM) and MFCC parameterization.

Speech recognition, formants, speech signal parameterization, Teager operator, digital signal processing

УДК:681.5

Д. М. Савельев, М. Ю. Шестопалов

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ NEURO-FUZZY-ТЕХНОЛОГИИ

Исследуются возможности использования методов neuro-fuzzy-технологии для задач идентификации технологических процессов. Рассматривается способ ее практической реализации в виде приложения в среде Matlab. Анализируется применение разработанного приложения для идентификации и моделирования технологических процессов.

Интеллектуальные технологии управления, технологический процесс, neuro-fuzzy-технология, идентификация, моделирование

В последние десятилетия одним из основных способов повышения эффективности производства является внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на базе компьютерных систем. Несмотря на несомненные успехи в этой области, существует класс задач, в которых процесс автоматизации ТП затруднен. Подобные ТП сложны по своей природе и недостаточно изучены, а потому функционируют в условиях неполной определенности параметров, что по техническим и финансовым причинам не позволяет строить для них адекватные математические модели. В подобных ситуациях использование традиционных методов моделирования, к которым относят аналитический и

статистический подходы [1], не может компенсировать нехватки знаний о характере взаимодействия подсистем ТП и поэтому является малоэффективным.

Появление в 60-х гг. XX в. математической теории нечетких множеств [2] и нечеткой логики, развитие теории нейронных сетей [3] дали начало применению интеллектуальных методов в области создания АСУ ТП. Такие технологии получили название «интеллектуальных технологий управления» [4]. Их суть заключается в качественном описании, имитации и воспроизведении процессов интеллектуальной деятельности человека.

Neuro-Fuzzy-технология. Согласно ей процедура идентификации ТП организована в соответствии с принципом эволюционного синтеза сложных систем, когда математическая модель формируется последовательным раскрытием уровней неопределенностей (соответствующих моделям различных рангов), за которые осуществляется последовательный переход от модели 0-го ранга неопределенности к модели 3-го ранга.

Построение математической модели ТП начинается с определения координат этой модели (измеримых характеристик протекания ТП), т. е. создания модели 0-го ранга неопределенности.

Под нечеткой кластерной моделью исследуемого ТП понимается набор эталонных кластеров, представленных в виде нечетких множеств и соответствующих различным состояниям (режимам, подсистемам) ТП. Целью процедуры нечеткой кластеризации является выделение экспериментальных данных, соответствующих интересующему состоянию ТП, для которого и будет строиться математическая модель.

На основе комбинации экспериментальных и экспертных данных для выбранной подсистемы ТП осуществляется процедура топологической идентификации, т. е. переход от модели 0-го ранга неопределенности к модели 1-го ранга. Она включает в себя этапы определения наличия взаимосвязей координат процесса (т. е. построения неориентированного графа модели) и анализа причинно-следственных парных или множественных отношений (т. е. ориентации связей графа модели). Использование нечеткого подхода к решению задач топологической идентификации не ограничено требованиями линейности, что выгодно отличает данный подход от традиционных методов моделирования.

Целями структурной и параметрической идентификации являются построение моделей 2-го и 3-го рангов неопределенности, т. е. определение структуры оператора каждого парного отношения координат модели, а также оценка значений параметров этих операторов. В отличие от традиционных методов моделирования, в которых связь между координатами представляется в виде передаточных функций, в данной методике каждая подобная связь является нейронной сетью. Данный подход позволяет вводить в модель как линейные, так и нелинейные связи, причем зачастую полученные модели будут более компактны, нежели альтернативные аппроксимирующие элементы.

Таким образом, построив нейронные подсети для каждого парного или множественного отношения координат и объединив их, получают структурированную нейросетевую модель ТП 3-го ранга неопределенности, на чем процесс моделирования завершается.

Приложение в среде Matlab. Приложение «Инструментальный комплекс для построения математических моделей ТП» (ИМТП) реализовано в виде библиотеки функций на языке Matlab и представляет собой базу данных, содержащую записи об экспериментах с ТП, и набор средств анализа данных этих экспериментов с целью построения математических моделей ТП.

Кластерная модель ТП строится с помощью нечеткого алгоритма кластеризации Fuzzy C-Means (FCM). Данный алгоритм обладает рядом достоинств, среди которых универсальность, простота и быстрое действие. Готовая реализация этого алгоритма представлена в математическом пакете функций Matlab «Fuzzy Logic Toolbox».

Задачи моделирования технологических процессов относятся к классу задач регрессии, так как их целью является оценка значения числовой выходной переменной по значениям входных переменных. Анализ показывает, что из существующих типов нейронных сетей, способных решать задачи данного класса, наиболее подходят многослойный персептрон (МЛП) и радиально-базисная функция (РБФ) [5].

МЛП-сети являются наиболее универсальным инструментом для моделирования. Они состоят из входного, выходного и нескольких скрытых слоев нейронов. РБФ-сети обладают единственным скрытым слоем, и их достоинством является меньшее (по сравнению с МЛП) время обучения. Готовая реализация этих видов сетей представлена в математическом пакете функций Matlab «Neural Network Toolbox».

Критерием оценки качества создаваемых моделей является среднеквадратичная ошибка (или ошибка результата), которая рассчитывается как квадрат нормы разности между значениями сигнала (X) и его аппроксимирующими значениями (\hat{X}), поделенный на количество значений сигнала (n):

$$E_{\text{рез}} = \frac{\|X - \hat{X}\|^2}{n}.$$

Дополнительным критерием оценки качества получаемых моделей является коэффициент регрессии – это характеристика связи между аппроксимирующими значениями (\hat{X}) и независимым значением сигнала (X). Коэффициент регрессии показывает, насколько изменяется значение, принимаемое \hat{X} , при изменении значения переменной X . Коэффициент регрессии принимает действительные значения на интервале $[0,1]$, причем $K_{\text{рег max}} = 1$.

Апробация. В качестве примера рассмотрим ТП, обладающий тремя измерительными каналами. Данный ТП характеризуется нелинейной зависимостью показаний измерительного канала 2 от значений канала 1 при его линейном возрастании (рис. 1).

Рассмотрим 2 примера. В первом случае создается модель для парной связи между координатами ТП. Процесс моделирования сопровождается построением двумерных поясняющих графиков – они наглядны и просты в восприятии. Во втором случае создается модель множественной связи между координатами ТП.

Пример № 1. Перед проведением процедуры кластерного анализа неизвестна априорная оценка числа кластеров в исходном массиве данных. Анализируя рис. 1 можно сделать предположение о наличии на нем двух кластеров (соответствующих параболической и синусоидальной частям графика канала 2). Если воспользоваться функцией приложения ИМТП для определения наиболее вероятного количества кластеров, то будет получен результат, близкий к представленному на рис. 2. Расчеты программы подтверждают первоначальную оценку – 2 кластера. На рис. 3 представлено исходное распределение данных на плоскости: по оси абсцисс отложены результаты измерений по каналу 1, по оси ординат – по каналу 2.

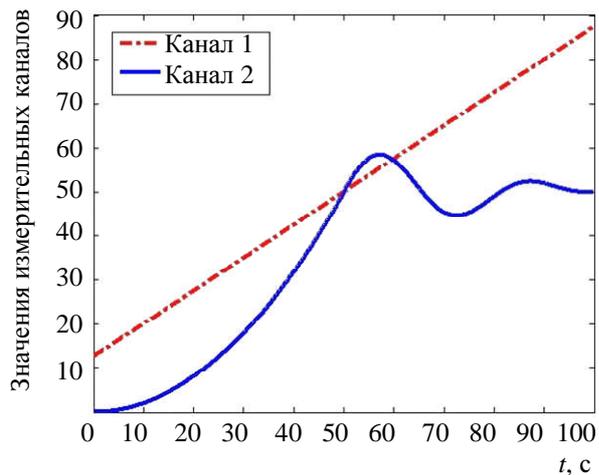


Рис. 1

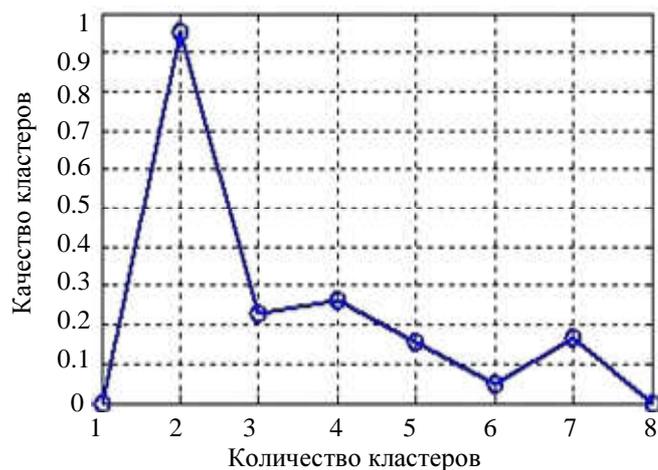


Рис. 2

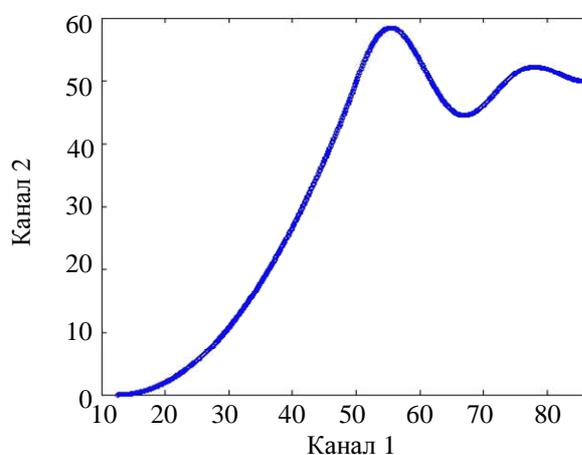


Рис. 3

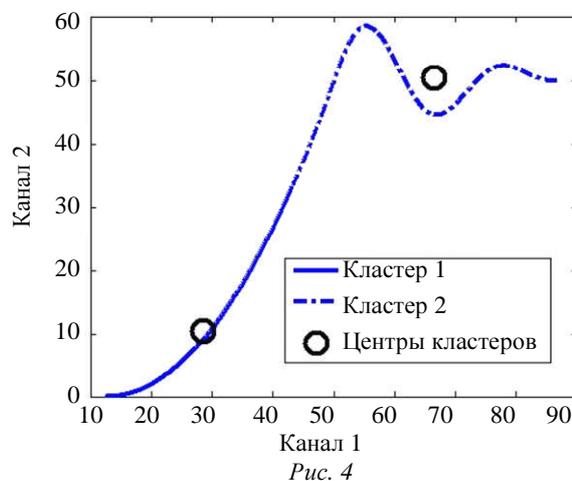


Рис. 4

Проведя процедуру кластеризации получим результаты, представленные на рис. 4. Различными маркерами на нем изображены точки, принадлежащие разным кластерам, жирными окружностями – центры соответствующих кластеров. Заметим, что данные в приложении ИМТП были корректно разделены на 2 кластера. Каждый из выделенных кластеров имеет физический смысл подсистемы в рассматриваемом ТП и может быть смоделирован с помощью аппарата искусственных нейронных сетей.

Экспертный граф

	Канал 1	Канал 2
Канал 1		0
Канал 2	0	0,5000

Рис. 5

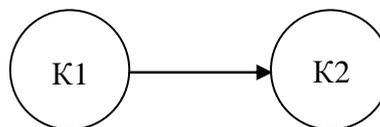


Рис. 6

При проведении процедур топологической, структурной и параметрической идентификации рассмотрим подсистему, определяемую вторым кластером (рис. 4). В начале рассмотрения данного ТП отмечалось, что данные канала 2 зависят от данных канала 1 – отразим этот факт наличием парной связи в экспертном графе системы (рис. 5). Согласно исходному предположению в выбранной подсистеме (кластере) присутствует лишь одна

парная зависимость, поэтому модель системы является простой (рис. 6). Единственная парная связь может быть смоделирована как с помощью МЛП-, так и РБФ-сетей. Конфигурации этих сетей также могут быть различны.

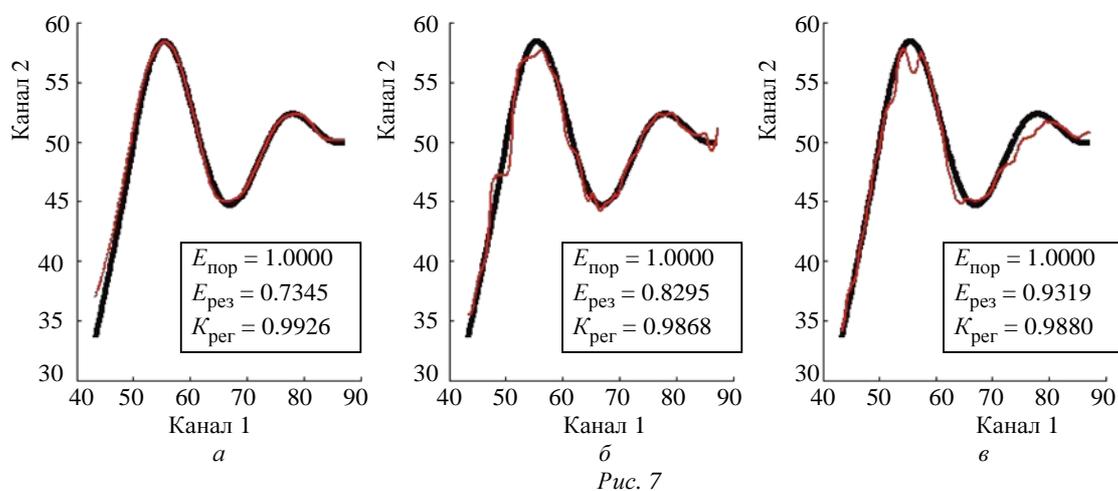


Рис. 7

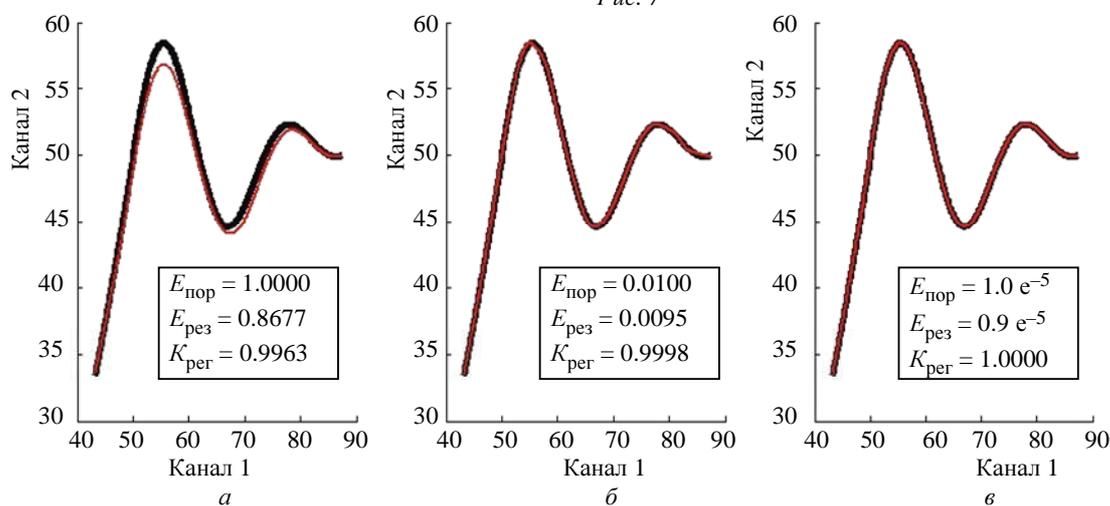


Рис. 8

МЛП-сети – изменение структуры. Создадим 3 МЛП-сети с различным числом слоев и нейронов в каждом скрытом слое: первая сеть – 1 слой с девятью нейронами; вторая сеть – 2 слоя, 18 и 9 нейронов в каждом соответственно; третья сеть – 3 слоя, 27, 18 и 9 нейронов. Примем для всех сетей пороговое значение ошибки $E_{\text{пор}} = 1$. Результаты моделирования связи первой, второй и третьей сетями представлены на рис. 7, а–в соответственно. Анализ рис. 7 показывает, что все представленные сети успешно выполнили задачу моделирования; некоторое ухудшение результатов третьей сети (рис. 7, в) по сравнению с первой (рис. 7, а) связано не с увеличением размерности сети, а с тем, что третья сеть имеет несколько большее значение результирующей ошибки $E_{\text{рез}}$ (потенциально, сеть большей размерности способна решать более сложные задачи моделирования по сравнению с сетью меньшей размерности).

МЛП-сети – изменение значения ошибки. Создадим модели взятой на рассмотрение связи с помощью единственной однослойной МЛП-сети с девятью нейронами (первая в предыдущем сравнении), но установим различные оценки пороговой ошибки: $E_{\text{пор}1} = 10^0$ (рис. 8, а), $E_{\text{пор}2} = 10^{-2}$ (рис. 8, б) и $E_{\text{пор}3} = 10^{-4}$ (рис. 8, в). Результат оказался очевид-

ным: с уменьшением порогового значения ошибки улучшается качество полученной модели. Также необходимо отметить, что даже самая простая по структуре (однослойная) МЛП-сеть смогла создать модель связи высокого качества.

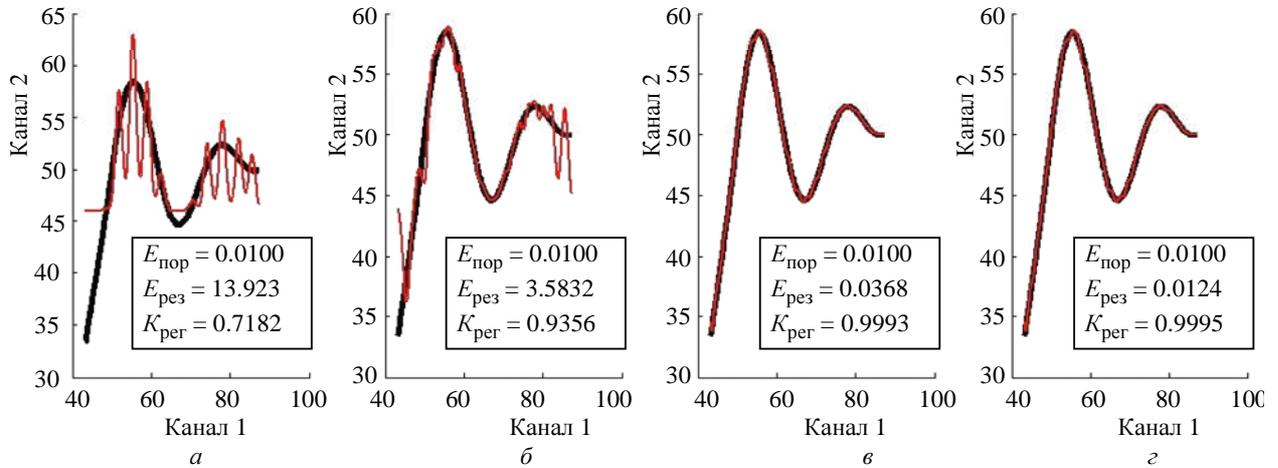


Рис. 9

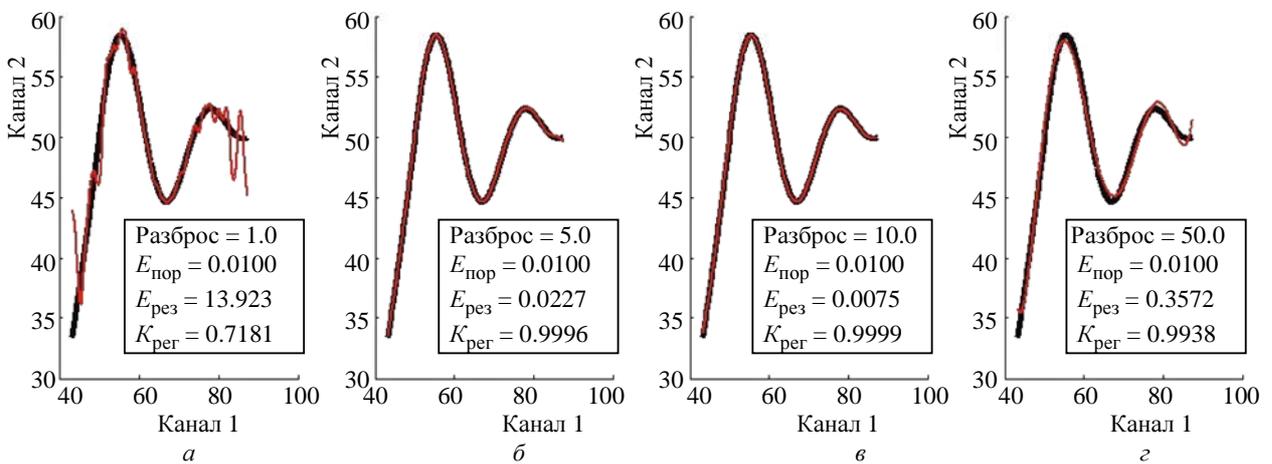


Рис. 10

РБФ-сети – изменение структуры. По определению РБФ-сеть всегда содержит один скрытый слой, но число нейронов в нем может варьироваться. Создадим несколько РБФ-сетей с различным числом нейронов в скрытом слое, а именно с 10, 20, 30 и 40 нейронами. В теории каждый добавляемый нейрон уменьшает общую ошибку сети, но при достижении определенного уровня малости ошибки добавление новых нейронов перестает улучшать качество сети. Оба эти утверждения подтверждаются на практике (рис. 9). При увеличении числа нейронов в сети уменьшается и ошибка результата; добавление 10 нейронов при переходе от 1-й сети (рис. 9, а) к 2-й (рис. 9, б) дает значительно больший эффект, чем добавление тех же 10 нейронов при переходе от 3-й сети (рис. 9, в) к 4-й (рис. 9, з). При дальнейшем увеличении числа нейронов эта тенденция сохранится.

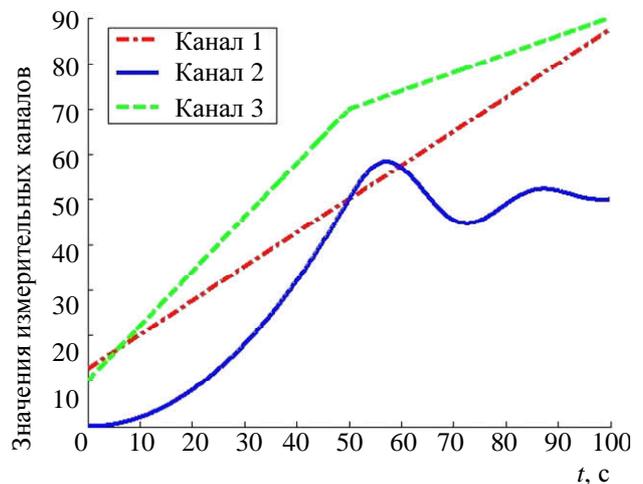


Рис. 11

РБФ-сети – изменение разброса. РБФ-сети обладают важным параметром, влияющим на качество получаемой модели – это «разброс» (spread). Варьируя данный параметр можно даже с помощью меньшего числа нейронов получить модель не худшего качества, нежели с большим числом нейронов. Построим 4 РБФ-сети, состоящие из 10 нейронов каждая, с различным значением параметра «разброс» (рис. 10). Первая сеть (рис. 10, а) использует стандартное значение для разброса, и значение результирующей ошибки сравнительно велико. Остальные сети (рис. 10, б–г) используют измененные значения варьируемого параметра. В результате 3-я сеть (рис. 10, в) дает значение $E_{рез}$ даже ниже, чем 40-нейронная сеть из предыдущего теста!

Пример № 2. Рассмотрим абстрактный ТП, содержащий 3 измерительных канала (рис. 11). Построим модели множественной связи, в которой значения каналов 1 и 3 влияют на значения канала 2.

Оценка количества кластеров оставлена без изменений (2 кластера). На рис. 12 представлено исходное распределение данных на плоскости: в горизонтальной плоскости отложены результаты измерений по каналам 1 и 3, а в вертикальной – по каналу 2. Проведя процедуру кластеризации получим результаты, представленные на рис. 13.

При проведении процедур топологической, структурной и параметрической идентификации рассмотрим подсистему, определяемую первым кластером (рис. 13). Отразим факт наличия множественной связи между измерительными каналами введением в экспертный граф соответствующих ребер (рис. 14).

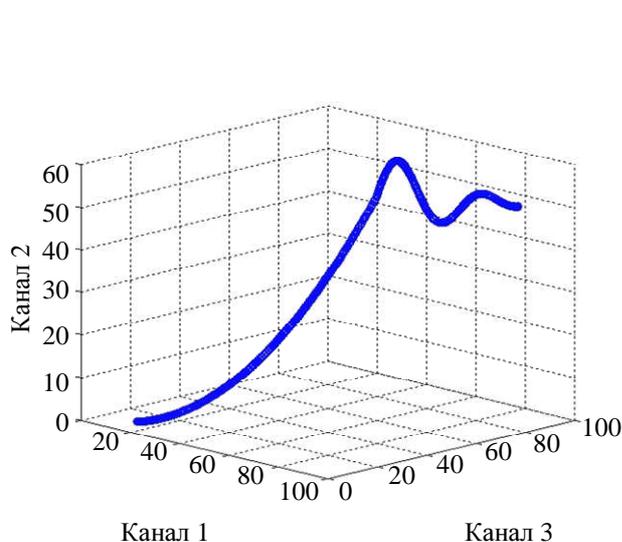


Рис. 12

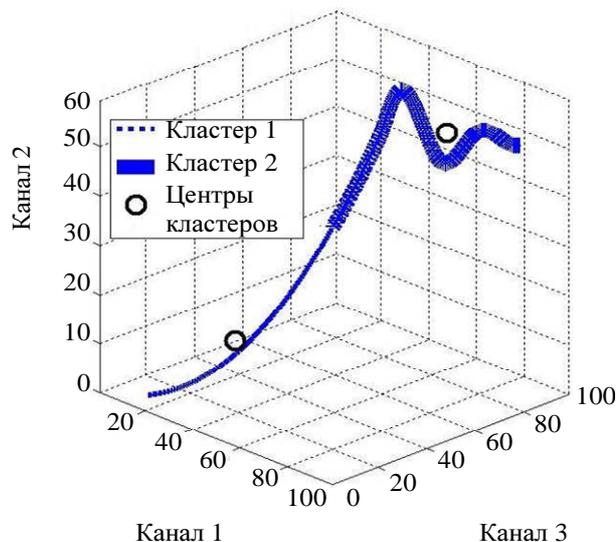


Рис. 13

Согласно исходному предположению в выбранной подсистеме (кластере) присутствует лишь одна множественная зависимость, поэтому модель системы является простой (рис. 15).

– Экспертный граф –

	Канал 1	Канал 2	Канал 3
Канал 1	0	0.5000	0
Канал 2	0	0	0
Канал 3	0	0.3000	0

Рис. 14

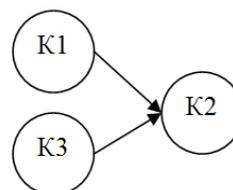


Рис. 15

На рис. 16 показаны наиболее компактные (по размерности) представители МЛП- и РБФ-сетей, моделирующих искомую множественную связь.

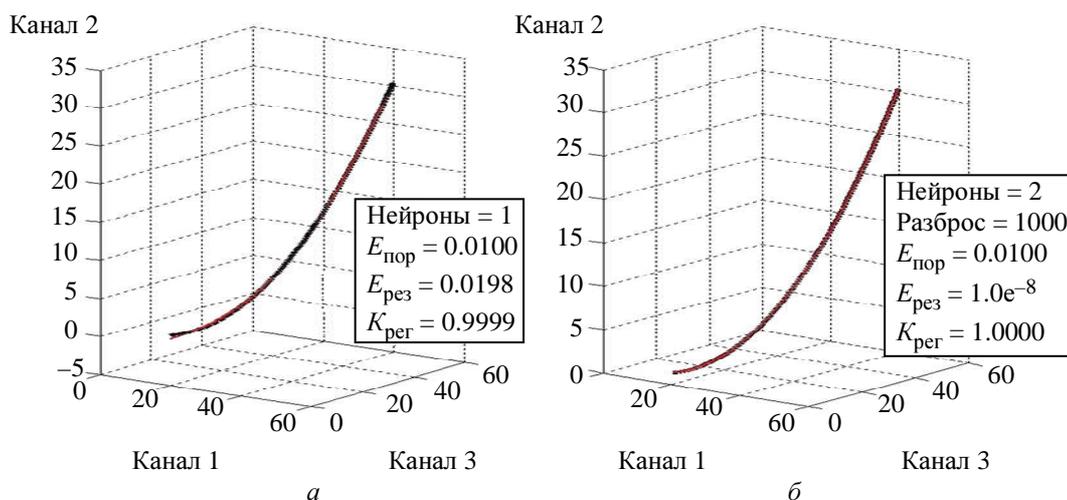


Рис. 16

Анализ рис. 16 позволяет сделать следующие выводы: МЛП-сети (рис. 16, а) удалось создать самую компактную модель – она имеет лишь один скрытый слой, состоящий из одного нейрона; РБФ-сеть (рис. 16, б) имеет 2 нейрона в скрытом слое, но позволяет свести ошибку результата фактически к нулю.

Таким образом, основным преимуществом разработанного метода идентификации, базирующегося на принципах эволюционного синтеза сложных систем, является возможность построения математических моделей ТП в условиях неполной определенности параметров.

Созданные приложения обеспечивают реализацию математических моделей сложных ТП, основываясь на моделировании отдельных связей ТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щеклеин В. С. Моделирование информационных систем: Конспект лекций. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2002.
2. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. 1965 (№ 8). P. 338–353.
3. Минский М., Пейперт С. Перцептроны. М.: Мир, 1971.
4. Шестопалов М. Ю. Методика построения математических моделей непрерывных ТП на основе Neuro-Fuzzy-технологии // Сб. докл. 6-й Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2003, 25-27 июня 2003 г. С. 374–375.
5. Нейронные сети. Statistica neural networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под ред. В. П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2008.

D. M. Savelyev, M. Y. Shestopalov

IDENTIFICATION AND MODELING OF MANUFACTURING PROCESSES ON BASIS OF NEURO-FUZZY TECHNOLOGY

The matter of this article is the research of the ability to use the methods of neuro-fuzzy technology for the identification of manufacturing processes tasks. The implementation of this technology as a Matlab application is introduced. The analysis of practical use of this application for identification and modeling of manufacturing processes is carried out.

Intelligent control technology, manufacturing process, neuro-fuzzy-technology, identification, modeling



УДК 62-83-523(62.50)

*В. В. Путов, В. Н. Шелудько,
Е. В. Дряян, А. В. Путов*

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ С БАРАБАННЫМ ИМИТАТОРОМ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ КОЛЕС ТРАНСПОРТА

Рассмотрены вопросы построения математической модели, постановки задач адаптивного управления и разработки двух вариантов систем управления движением электромеханического испытательного комплекса, состоящего из испытательного стенда с управляемым с помощью электропривода барабанным имитатором и закрепленного на нем в подвеске испытуемого пневматического транспортного колеса с энергообратимым электромеханическим двигателем, выполненным на базе электромеханического каскада встречно включенных электрических машин постоянного тока, управляемого по возбуждению одной из машин.

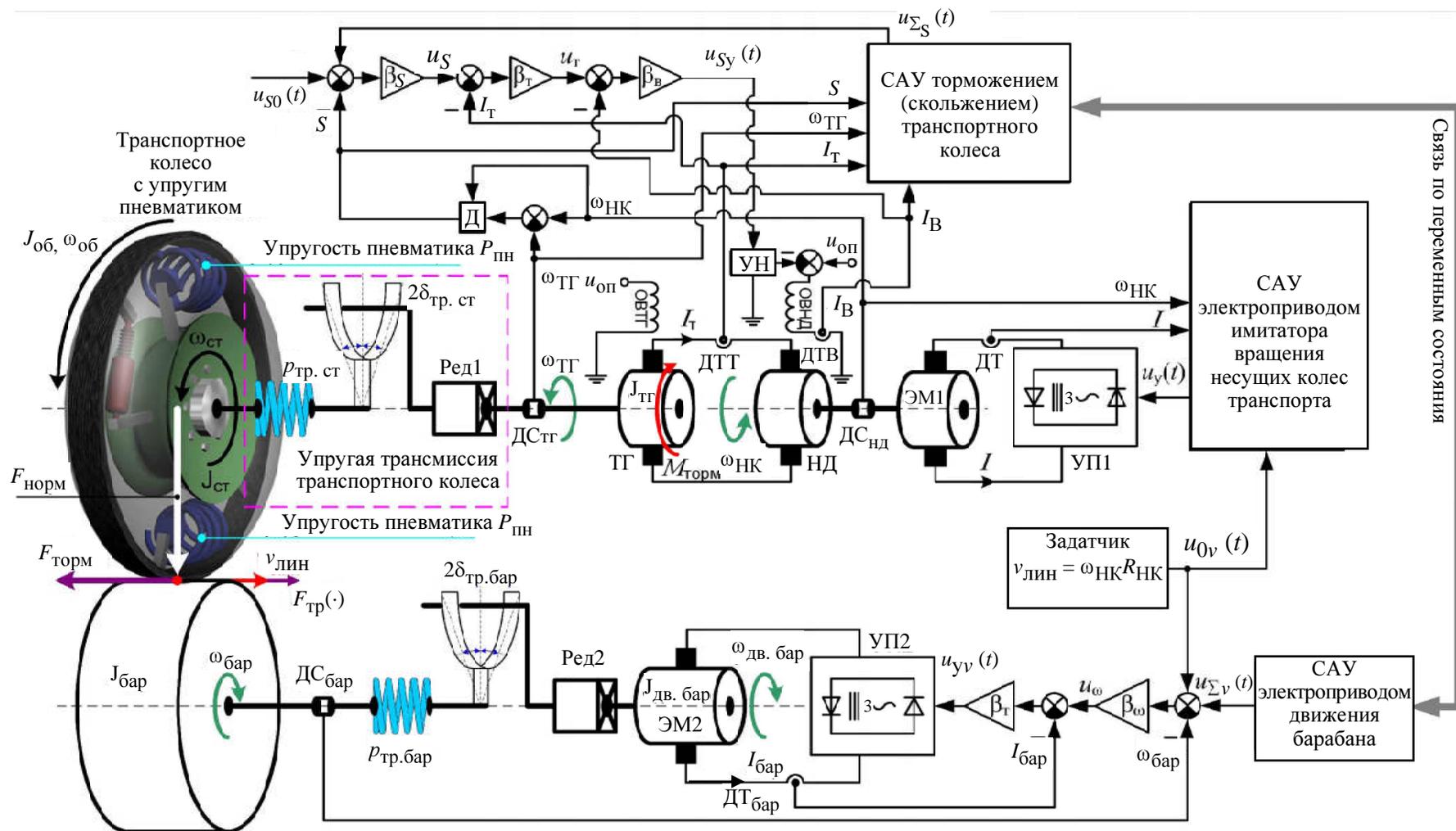
Электромеханический испытательный комплекс; транспортное колесо; упругость пневматика и трансмиссий; зазоры; энергообратимый электромеханический двигатель на базе электромеханического каскада, управляемого по возбуждению; адаптивное управление

Стендовые испытания управляемых двигателей колес транспортных средств являются важным этапом их проектирования и исследования эксплуатационных характеристик новых разработок, а также позволяют осуществлять отладку, калибровку и метрологическую поверку уже существующей техники.

Рассмотрим разработанный в СПбГЭТУ (на кафедре систем автоматического управления) электромеханический испытательный комплекс, состоящий из электромеханического испытательного стенда с барабанным имитатором, управляемым с помощью электропривода постоянного тока, и закрепленной на нем подвески с испытуемым транспортным колесом с энергообратимым электромеханическим двигателем [1]–[3], выполненным на основе электромеханического каскада встречно включенных электрических машин постоянного тока, управляемого по возбуждению одной из машин, показана на рисунке и состоит из испытуемого транспортного колеса (ТК), помещенного на стенд и нагруженного нормальной силой $F_{\text{норм}}$, ступица которого соединена через редуктор РЕД1 с энерго-

обратимым электромеханическим движителем, выполненным на основе двух электрических машин постоянного тока, включенных по схеме электромеханического каскада взаимной нагрузки, одна из которых (тормозной генератор ТГ) выполнена с постоянным возбуждением обмотки возбуждения ОВТГ, создаваемой опорным напряжением $u_{оп}$, а другая (нагрузочный двигатель НД) – с независимым возбуждением обмотки возбуждения ОВНД, управляющим через посредство усилителя напряжения УН двигательными и тормозными режимами каскада (см. подробнее [2], [4]). Каскад снабжен первичной системой подчиненного автоматического управления торможением (скольжением) с главной обратной связью по скольжению S транспортного колеса относительно поверхности барабанного имитатора стэнда, играющей роль поверхности дорожного покрытия, и внутренними обратными связями по току I_T торможения якорных цепей каскада и току I_B обмотки возбуждения НД, измеряемых датчиками ДТГ и ДТВ соответственно, $\beta_S, \beta_T, \beta_B$ – передаточные функции (или коэффициенты усиления) с постоянными настройками контурных регуляторов соответственно скольжения и токов торможения и возбуждения, а u_S, u_T и $u_{Sy}(t)$ – выходные сигналы контурных регуляторов. Скольжение S вычисляется по формуле $S = (\omega_{НК} - \omega_{ТГ}) \omega_{НК}^{-1}$ с помощью блока деления Д и вычислителя разности угловых скоростей $\omega_{НК}$ и $\omega_{ТГ}$ несущих колес транспорта и вала тормозного генератора, измеряемых датчиками ДСНД и ДСТГ, $u_{S0}(t)$ – задатчик программного скольжения $S_{prog}(t)$. Для проведения испытаний электромеханический каскад отсоединяется от расположенного на транспорте нагрузочного двигателя и присоединяется к аналогичной электрической машине НД, играющей роль нагрузочной и имеющей электропривод, выполненный на базе электрической машины ЭМ1 постоянного тока, управляемой трехфазным мостовым реверсивным преобразователем-выпрямителем УП1 с обратными связями по угловой скорости несущих колес $\omega_{НК}$, или, что то же самое, нагрузочного двигателя НД и току I якорной цепи ЭМ1, измеряемому датчиком ДТ.

Электромеханический испытательный стэнд представляет собой раму и закрепленный на ней пандус-трансформер, позволяющий формировать различные поверхности для опоры несущих колес шасси испытываемых транспортных средств. На раме стэнда установлен барабанный имитатор движущейся поверхности покрытия, закрытый крышкой с прорезанным в ней окном, через которое испытываемое транспортное колесо опирается на движущуюся поверхность вращающегося барабана, имитирующего качение колеса. Барабан приводится в движение соединенным с ним через редуктор РЕД2 регулируемым электроприводом, выполненным на базе электрической машины ЭМ2 постоянного тока, управляемой трехфазным мостовым реверсивным преобразователем-выпрямителем УП2. Электропривод барабана, как и электромеханический каскад, снабжен первичной двухконтурной подчиненной системой автоматического управления с главной обратной связью по угловой скорости $\omega_{бар}$ барабана, или, что то же самое, по линейной скорости $v_{лин}$ поверхности качения испытываемого транспортного колеса, и подчиненным контуром с обратной связью по току $I_{бар}$



якорной цепи электрической машины ЭМ2, измеряемые датчиками $ДС_{\text{бар}}$ и $ДТ_{\text{бар}}$ соответственно; β_{ω} и β_T – передаточные функции (или коэффициенты усиления) контурных регуляторов с постоянными настройками соответственно угловой скорости $\omega_{\text{дв.бар}}$ привода барабана ЭМ2 и тока его якорной цепи, $u_S, u_{vy}(t)$ – выходные сигналы контурных регуляторов и $u_{v0}(t)$ – задатчик программной линейной скорости $v_{\text{прог. лин}}(t)$ движения поверхности барабана; $v_{\text{лин}} = \omega_{\text{НК}} R_{\text{НК}} = \omega_{\text{бар}} R_{\text{бар}}$, где $R_{\text{НК}}, R_{\text{бар}}$ – радиусы несущих колес транспортного средства и барабана соответственно.

Математическая модель динамики электромеханического испытательного комплекса. Для рассмотрения вопросов построения систем автоматического управления электромеханическим испытательным комплексом с установленным на нем испытуемым транспортным средством необходимо разработать математическую модель динамики комплекса, учитывающую основные особенности (неидеальности) электромеханического комплекса как объекта управления, препятствующие обеспечению быстродействующей и точной отработки программных управлений $u_{S0}(t)$ и $u_{v0}(t)$ и достижения программных движений $S_{\text{прог}}(t)$ и $v_{\text{прог. лин}}(t)$ и вызванные такими неустраняемыми в процессе проектирования и изготовления стенда факторами, как [2], [3]:

- нелинейные электромагнитные процессы двухмашинного каскада, управляемого по цепи возбуждения нагрузочной машины НД, характеризующиеся нелинейностью характеристики намагничивания $\Phi_B(I_B)$, где Φ_B – поток возбуждения НД;
- нелинейные упругие свойства пневматика транспортного колеса;
- нелинейная характеристика сухого трения $M_{\text{тр}}(\cdot)$ с круто падающим участком в начале пробуксовки, учитывающим так называемый эффект Штрибека, который приводит при совместном действии с упругостью пневматика к неравномерному «срывному» скольжению шины колеса по покрытию (так называемым фрикционным автоколебаниям при скольжении);
- нелинейные упругие свойства и зазоры механических трансмиссий, соединяющих транспортное колесо с тормозным генератором управляемого электромеханического движителя и барабанный имитатор с электрической машиной ЭМ2 управляемого электропривода барабана;
- неопределенность числовых параметров описательных характеристик электромеханического комплекса (параметрическая и функциональная неопределенность);
- неполная измеримость переменных состояния электромеханического испытательного комплекса с помощью датчиков;
- неопределенность описательной характеристики дорожного покрытия, моделируемой специальной обработкой поверхности барабана (неопределенность коэффициента сцепления покрытия с транспортным колесом).

Составим математическую модель динамики испытательного комплекса, учитывающую все вышеперечисленные особенности его динамики (см. рисунок). При учете упругих свойств шины введем два диска, учитывающие моменты инерции обода $J_{\text{об}}$ шины и $J_{\text{ст}}$ ступицы с соответствующими угловыми скоростями $\omega_{\text{об}}$ и $\omega_{\text{ст}}$ и соединяющую их

невесомую упругую связь с коэффициентом упругости $p_{\text{пн}}(\cdot)$, полагая, что в общем случае параметры $J_{\text{об}}(\cdot)$, $J_{\text{ст}}(\cdot)$, $p_{\text{пн}}(\cdot)$, $M_{\text{тр}}(\cdot)$ являются неопределенными нелинейными функциями, зависящими от величины скольжения S , состояния покрытия (поверхности барабана), прижимной силы $F_{\text{норм}}$, состояния шины и других неучтенных факторов.

При учете упругих свойств трансмиссий транспортного колеса и барабана введем момент инерции $J_{\text{ТГ}}$ ротора тормозного генератора и невесомую упругую связь, соединяющую ступицу транспортного колеса с ротором ТГ, с коэффициентом упругости $p_{\text{тр.ст}}$ и зазором $2\delta_{\text{тр.ст}}$; моменты инерции $J_{\text{бар}}$ барабана и $J_{\text{дв.бар}}$ ротора электрической машины ЭМ2 и соединяющую их невесомую упругую связь с коэффициентом упругости $p_{\text{тр.бар}}$ и зазором $2\delta_{\text{тр.ст}}$; угловые скорости $\omega_{\text{ТГ}}$, $\omega_{\text{бар}}$ и $\omega_{\text{дв.бар}}$ введенных дисков с моментом инерции $J_{\text{ТГ}}$, $J_{\text{бар}}$ и $J_{\text{дв.бар}}$.

Введем также упругие моменты, возникающие при крутильных деформациях упругих связей $p_{\text{пн}}$, $p_{\text{тр.ст}}$ и $p_{\text{бар}}$ в виде переменных $m_{\text{у.пн}}$, $m_{\text{у.тр.ст}}$ и $m_{\text{у.тр.бар}}$ соответственно.

Запишем математическую модель испытательного электромеханического комплекса как объекта управления в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений относительно введенных переменных состояния I_{T} ; $\omega_{\text{ТГ}}$; $I_{\text{В}}$; $I_{\text{бар}}$; $\omega_{\text{дв.бар}}$; $\omega_{\text{бар}}$; $m_{\text{у.тр.бар}}$; $\omega_{\text{об}}$; $m_{\text{у.пн}}$; $m_{\text{у.тр.ст}}$; $\omega_{\text{ст}}$:

$$\dot{M}_{\text{торм}} = k_m \dot{I}_{\text{T}} = L_{\text{я}}^{-1}(k_m k_e \omega_{\text{ТГ}} - k_m c_e \Phi_{\text{В}}(I_{\text{В}}) I_{\text{В}} \omega_{\text{НД}} - R_{\text{я}} M_{\text{торм}}); \quad (1)$$

$$\dot{I}_{\text{В}} = L_{\text{В}}^{-1}(-R_{\text{В}} I_{\text{В}} + u_{\text{оп}} - k_{\text{УН}} u_{\text{Су}}(t)); \quad (2)$$

$$\dot{M}_{\text{дв.бар}} = k_m \dot{I}_{\text{бар}} = L_{\text{я.бар}}^{-1}(-R_{\text{я.бар}} I_{\text{я.бар}} + k_{\text{УП2}} - u_{\text{у}}(t) - k_e \text{бар} \omega_{\text{дв.бар}}); \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_{\text{бар}} = J_{\text{бар}}^{-1}(f_{\text{у.тр.бар}} - M_{\text{тр.бар}}(\cdot)); \quad M_{\text{тр.бар}}(\cdot) = F_{\text{тр}}(\cdot) R_{\text{бар}}; \quad (4)$$

$$\dot{m}_{\text{у.тр.бар}} = p_{\text{тр.бар}}(\omega_{\text{дв.бар}} - \omega_{\text{бар}}); \quad (5)$$

$$\dot{\omega}_{\text{дв.бар}} = J_{\text{дв.бар}}^{-1}(M_{\text{дв.бар}} - f_{\text{у.тр.бар}}); \quad (6)$$

$$f_{\text{у.тр.бар}} = \begin{cases} m_{\text{у.тр.бар}} - p_{\text{тр.бар}} \delta_{\text{тр.бар}}, & m_{\text{у.тр.бар}} \geq p_{\text{тр.бар}} \delta_{\text{тр.бар}}; \\ 0, & |m_{\text{у.тр.бар}}| < p_{\text{тр.бар}} \delta_{\text{тр.бар}}; \\ m_{\text{у.тр.бар}} + p_{\text{тр.бар}} \delta_{\text{тр.бар}}, & m_{\text{у.тр.бар}} \leq -p_{\text{тр.бар}} \delta_{\text{тр.бар}}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\dot{\omega}_{\text{об}} = J_{\text{об}}^{-1}(M_{\text{тр.об}}(\cdot) - m_{\text{у.пн}}); \quad M_{\text{тр.об}}(\cdot) = F_{\text{тр}}(\cdot) R_{\text{об}}; \quad (8)$$

$$\dot{m}_{\text{у.пн}} = p_{\text{пн}}(\omega_{\text{об}} - \omega_{\text{ст}}); \quad (9)$$

$$\dot{\omega}_{\text{ст}} = J_{\text{ст}}^{-1}(m_{\text{у.пн}} - f_{\text{у.тр.ст}}); \quad (10)$$

$$\dot{m}_{\text{у.тр.ст}} = p_{\text{тр.ст}}(\omega_{\text{ст}} - \omega_{\text{ТГ}}); \quad (11)$$

$$f_{y,тр.ст} = \begin{cases} m_{y,тр.ст} - p_{тр.ст} \delta_{тр.ст}, & m_{y,тр.ст} \geq p_{тр.ст} \delta_{тр.ст}; \\ 0, & |m_{y,тр.ст}| < p_{тр.ст} \delta_{тр.ст}; \\ m_{y,тр.ст} + p_{тр.ст} \delta_{тр.ст}, & m_{y,тр.ст} \leq -p_{тр.ст} \delta_{тр.ст}; \end{cases} \quad (12)$$

$$\dot{\omega}_{ТГ} = J_{ТГ}^{-1}(f_{y,тр.ст} - M_{торм}); \quad (13)$$

$$\begin{cases} u_{Sy}(t) = \beta_B(u_T - k_B I_B); \\ u_T = \beta_T(u_S - k_m^{-1} k_T M_{торм}); \\ u_S = \beta_S(u_S^0(t) - k_S S_{об} + u_{S\Sigma}(t)); \quad S_{об} = \omega_{бар}^{-1}(\omega_{бар} - \omega_{об} k); \quad k = R_{об} R_{бар}^{-1}; \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} u_{vy}(t) = \beta_I(u_\omega - k_I I_{бар}); \\ u_\omega = \beta_\omega(u_{v0}(t) - k_\omega \omega_{дв.бар} + u_{v\Sigma}(t)). \end{cases} \quad (15)$$

Возникающая при нагружении электромеханического испытательного комплекса сила трения $F_{тр}(\cdot)$ выражается как

$$F_{тр}(\cdot) = \mu(\cdot) F_{норм}, \quad (16)$$

где коэффициент трения (сцепления) $\mu(\cdot)$ в «пятне» контакта шины транспортного колеса с поверхностью барабана является неопределенной характеристикой трущихся поверхностей, но обладает выраженным эффектом «сухого» трения с характерным спадающим «срывным» участком, возникающим при начале скольжения (эффект Штрибека), и в целом, аналитическая зависимость $\mu(S)$ от скольжения может быть приблизительно определена следующим выражением (удобным при исследовании моделированием процессов торможения) [4]:

$$\mu(S) = M_3 \exp(-M_2 S) + M_1 S + M_0, \quad (17)$$

где неопределенные числовые коэффициенты определяют характерные точки кривой $\mu(S)$:

$$\begin{cases} M_0 = \mu_{\min}; \quad M_1 = \mu_{\text{block}} - \mu_{\min}; \quad M_2 = \frac{d}{S_{\min}}; \quad M_3 = \mu_{\max} - \mu_{\min}; \\ \mu_{\max} = \mu(0); \quad \mu_{\text{block}} = \mu(1); \quad \mu_{\min} = \mu(S_{\min}); \quad S_{\min} = 0,05 \dots 0,1; \end{cases} \quad (18)$$

$d = 3 \dots 100$ – постоянная, определяющая крутизну кривой $\mu(S)$ в зоне эффекта Штрибека вблизи $S = 0$ справа.

Получили нелинейную систему из одиннадцати дифференциальных уравнений (одиннадцатого порядка), описывающую динамику рассматриваемого испытательного комплекса как объекта управления с двумя входами $u_{S\Sigma}(t)$ и $u_{v\Sigma}(t)$ и с учетом всех вышеупомянутых основных неидеальностей.

Замечание. Описание объекта управления включает две типовые подсистемы подчиненного управления: подсистему управления скольжением вида (14) и подсистему управления линейной скоростью вида (15), заданные на стадии проектирования промышленных

систем электроприводов постоянного тока и рассчитанные по стандартным методикам [5] при условиях отсутствия упругих деформаций и нелинейностей характеристик, а также известности и постоянства всех числовых параметров и полной измеримости объектов управления. Отметим, что эти стандартные подсистемы, построенные и рассчитанные для «жестких» линейных полностью измеримых объектов с постоянными параметрами, не подлежат исключению или изменению, являясь неотъемлемой принадлежностью промышленного электрооборудования, и должны быть включены в математическое описание объектов управления, исходное для построения более сложных систем, обеспечивающих эффективное управление в условиях учета указанных нелинейных и упругих свойств присоединяемых к электроприводам сложных механических объектов.

Постановка задач управления и обсуждение путей их решения. Сформулируем задачу управления испытательным электромеханическим комплексом в рамках построенной математической модели его динамики в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений (1)–(18) следующим образом.

Построить систему автоматического управления программным движением $v_{\text{прог. лин}}(t)$ барабанного имитатора, обеспечивающую (диссипативное) сближение семейства возбуждаемых множеством допустимых программных управлений $u_{v0}(t)$ интегральных кривых (траекторий) дифференциальной системы (1)–(18) с заданными (эталонными) интегральными кривыми (траекториями) с динамической точностью и быстродействием, близкими к предельным показателям, достигаемым в рамках стандартных систем подчиненного управления электроприводами с одномассовыми («жесткими») полностью измеримыми линейными объектами с известными постоянными параметрами, в условиях реально имеющих место нелинейных много-резонансных (многомассовых) упругих деформаций, возбуждающихся при действии программных управлений, нелинейности электромагнитной динамики, неопределенности параметров и нелинейных электрических и механических характеристик и неполной измеримости испытательного комплекса как объекта управления.

Поставленную задачу управления целесообразно решать в рамках адаптивного подхода и строить аналитическую (беспоисковую) прямую (с эталонной моделью) адаптивную систему автоматического управления объектом (1)–(18) с параметрическими алгоритмами настройки и мажорирующими функциями, обеспечивающими ту или иную нелинейную параметризацию неизвестных нелинейных функций в правых частях дифференциальных уравнений (1)–(18) [5].

Можно указать два варианта решения поставленной задачи управления электромеханическим испытательным комплексом в силу того, что он является объектом управления с двумя скалярными входами: $u_{v\Sigma}(t)$ и $u_{S\Sigma}(t)$ и может трактоваться как объект, состоящий из двух взаимосвязанных подобъектов, описываемых двумя подсистемами дифференциальных уравнений:

– первый подобъект седьмого порядка, состоящий из транспортного колеса с управляемым электромеханическим двигателем и трехконтурной подчиненной системой управления (14) со скалярным входом $u_{S\Sigma}(t)$ и программным управлением $u_{S0}(t)$, описывается уравнениями (1), (2), (8)–(14), (16)–(18);

– второй подобъект четвертого порядка, состоящий из барабана с управляемым электроприводом движения и двухконтурной подчиненной системой управления (15) со скалярным входом $u_{v\Sigma}(t)$ и программным управлением $u_{v0}(t)$, описывается уравнениями (3)–(7), (15)–(18), причем оба подобъекта связаны друг с другом через общую силу момента трения скольжения, описываемую уравнениями (16)–(18), общими для уравнений обоих подобъектов.

Отметим, что дифференциальные уравнения одномассовых («жестких») подобъектов, упомянутых в постановке задачи управления, могут быть получены для каждого объекта соответствующим упрощением исходных уравнений подобъектов, а именно:

– первый «жесткий» подобъект описывается упрощенной дифференциальной системой вида

$$\begin{cases} \dot{M}_{\text{торм}} = k_m I_T = L_{\text{я}}^{-1} (k_m k_e \omega_{\text{ТГ}} - k_m c_e \Phi_{\text{В}}(I_{\text{В}}) I_{\text{В}} \omega_{\text{НД}} - R_{\text{я}} M_{\text{торм}}); \\ \dot{I}_{\text{В}} = L_{\text{В}}^{-1} (-R_{\text{В}} I_{\text{В}} + u_{\text{оп}} - k_{\text{УН}} u_{\text{Су}}(t)); \\ \dot{\omega}_{\text{ТГ}} = J_{\Sigma}^{-1} (F_{\text{тр}}(\cdot) R_{\text{об}} - M_{\text{торм}}); \quad J_{\Sigma} = J_3 + J_4 + J_5, \end{cases} \quad (19)$$

включающей трехконтурную систему подчиненного управления (14);

– второй «жесткий» подобъект описывается упрощенной дифференциальной системой вида

$$\begin{cases} \dot{I}_{\text{бар}} = L_{\text{я.бар}}^{-1} (-R_{\text{я.бар}} I_{\text{бар}} + k_{\text{УП2}} u_{\text{vy}}(t) - k_e \text{бар} \omega_{\text{бар}}); \\ \dot{\omega}_{\text{бар}} = -J_{\Sigma}^{-1} \text{бар} (M_{\text{дв.бар}} - F_{\text{тр}}(\cdot) R_{\text{бар}}), \end{cases} \quad (20)$$

включающей двухконтурную систему подчиненного управления (15).

Учитывая полученные описания «жестких» подобъектов (19), (14) и (20), (15), сформулированную задачу управления можно перефразировать так: построить адаптивную систему автоматического управления линейной (угловой) скоростью барабанного имитатора, обеспечивающую диссипативное сближение динамики нелинейных упругих первого и второго подобъектов объекта (1)–(18) с динамикой соответствующих одномассовых «жестких» подобъектов (19), (14) и (20), (15) с наперед заданными эталонными показателями точности и быстродействия процессов диссипативного «убывания» ошибок адаптации.

Обсудим два основных варианта построения адаптивной системы автоматического управления движением барабанного имитатора электромеханическим испытательным комплексом: первый вариант – построение полной (полноразмерной) адаптивной системы управления объектом управления (1)–(18) одиннадцатого порядка по входу $u_{v\Sigma}(t)$; второй вариант – построение декомпозированной адаптивной системы, состоящей из двух адаптивных подсистем, построенных для каждого из нелинейных упругих подобъектов соответственно седьмого и четвертого порядков по входам $u_{S\Sigma}(t)$ и $u_{v\Sigma}(t)$.

Построение адаптивных систем автоматического управления движением электромеханического испытательного комплекса. Оба варианта адаптивных систем, указанных выше, строятся по единой методике, изложенной в [5].

Построение первого варианта адаптивной системы управления – полной прямой аналитической адаптивной системы с алгоритмами параметрической настройки и мажорирующими функциями рассмотрим, следуя общей методике, изложенной в [5]. Объектом управления для полной адаптивной системы является полная математическая модель динамики электромеханического испытательного комплекса, представленная системой нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений (1)–(18) (с подчиненным управлением (14), (15)).

Отметим, что неопределенными являются следующие параметры и нелинейные функциональные зависимости уравнений полного объекта управления (1)–(18):

$$\begin{aligned} & J_{\text{бар}}(\cdot); J_{\text{об}}(\cdot); J_{\text{ст}}(\cdot); p_{\text{тр.бар}}(\cdot); p_{\text{пн}}(\cdot); p_{\text{тр.ст}}(\cdot); S(\cdot); \\ & \Phi_{\text{в}}(I_{\text{в}}); f_{\text{у.тр.бар}}(\delta_{\text{тр.бар}}); f_{\text{у.тр.ст}}(\delta_{\text{тр.ст}}); F_{\text{тр}}(\cdot); L_{\text{в}}; L_{\text{я}}, \end{aligned} \quad (21)$$

причем все величины, отмеченные неопределенным аргументом (\cdot) , являются неизвестными ограниченными функциями переменных состояния объекта и других факторов, в том числе времени t , и придают объекту управления (1)–(18) свойства параметрической и функциональной неопределенности.

Вектор состояния \mathbf{x} электромеханического испытательного комплекса как объекта управления составляют одиннадцать независимых переменных состояния объекта

$$\mathbf{x} = \left(I_{\text{т}}, I_{\text{в}}, I_{\text{бар}}, \omega_{\text{бар}}, m_{\text{у.тр.бар}}, \omega_{\text{дв.бар}}, \omega_{\text{об}}, m_{\text{у.пн}}, \omega_{\text{ст}}, m_{\text{у.тр.ст}}, \omega_{\text{тг}} \right)^{\text{T}}, \quad (22)$$

из которых первые три переменные (токи) характеризуют нелинейные электромагнитные процессы, а остальные переменные относятся к механическим процессам испытательного комплекса. Искомое управление

$$u_{\text{в}\Sigma}(t) = u_{\text{ва}}(t) + u_{\text{вл}}(t)$$

по управляющему входу $u_{\text{в}0}(t)$ со стороны барабанного имитатора строим как составное [5], где $u_{\text{а}}(t)$ – адаптивное управление, вырабатываемое полной адаптивной системой, а $u_{\text{л}}(t)$ – линейное (модальное) управление, рассматриваемое по линеаризованным уравнениям нелинейного объекта (1)–(18). Полагаем, что по управляющему входу $u_{\text{с}0}(t)$ со стороны транспортного колеса имеется только управление $u_{\text{с}y}(t)$, вырабатываемое трехконтурной подчиненной системой. Заметим, что этот случай наихудший с точки зрения решения задачи построения полной системы адаптивного управления, так как система подчиненного управления не ориентирована на подавление нелинейных и упругих свойств и функционально-параметрической неопределенности подбъекта управления – транспортного колеса с двигателем, и эти функции также возлагаются на искомое адаптивное управление, действующее со стороны барабанного имитатора.

Виртуальные переменные $m_{\text{у.тр.бар}}, \omega_{\text{об}}, m_{\text{у.пн}}, \omega_{\text{ст}}, m_{\text{у.тр.ст}}$ вектора состояния (22), недоступны измерению с помощью датчиков и поэтому объект управления (1)–(18) является неполностью измеримым, и значит, для реализации адаптивного и модального

управлений необходимо построить наблюдатель вектора состояния (22) по линеаризованным уравнениям полного объекта (1)–(18). Для линеаризации нелинейного объекта (1)–(18) выберем рабочую точку (*) на характеристике намагничивания $\Phi_B^*(I_B^*)$ и угловую скорость $\omega_{\text{НД}}^*$, соответствующую например, $v_{\text{лин}} = 60$ км/ч, а для остальных параметров (21) примем некоторые усредненные значения величин:

$$\begin{aligned} J_{\text{дв.бар}}^0, J_{\text{бар}}^0, J_{\text{об}}^0, J_{\text{ст}}^0, J_{\text{ТГ}}^0, P_{\text{тр.бар}}^0, P_{\text{пн}}^0, P_{\text{тр.ст}}^0, \\ L_{\text{я}}^0, L_{\text{в}}^0, L_{\text{я.бар}}^0, k_{\Phi}^0 = \Phi_B^*(I_B^*), R_{\text{я}}^0, R_{\text{я.бар}}^0, R_{\text{в}}^0. \end{aligned} \quad (23)$$

Для простоты записи линеаризованных уравнений приращением $\Delta \mathbf{x}$ компонент вектора состояния (22) присвоим наименования самим компонент, тогда линеаризованный объект (1)–(18) с постоянными параметрами (23) запишем в векторно-матричном виде:

$$\dot{\mathbf{x}}_0 = \mathbf{A}_0 \mathbf{x}_0 + \mathbf{b}_0 (u_{v_0}(t) + u_{v_{\Sigma}}(t)); \quad \mathbf{y}_0 = \mathbf{c}_0^T \mathbf{x}_0, \quad (24)$$

где постоянная (11×11)-матрица \mathbf{A}_0 и (11×1)-столбец \mathbf{b}_0 составлены из постоянных коэффициентов, получаемых из (1)–(18) после линеаризации и подстановки усредненных величин (23), а 11-мерный вектор \mathbf{c}_0 состоит из коэффициентов передачи датчиков измеряемых переменных

$$I_{\text{Т}}, I_{\text{В}}, I_{\text{бар}}, \omega_{\text{бар}}, \omega_{\text{дв.бар}}, \omega_{\text{ТГ}}. \quad (25)$$

Наблюдатель состояния линеаризованного объекта (24) может быть построен по измерению любой из переменных (25), например по $\omega_{\text{ТГ}}$, и тогда вектор \mathbf{c}_0 имеет вид

$$\mathbf{c}_0 = (0, 0, \dots, 0, c_{\text{ТГ}})^T,$$

где $c_{\text{ТГ}}$ – коэффициент передачи датчика скорости ДС_{ТГ}, а наблюдатель состояния имеет вид

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}_0 \hat{\mathbf{x}} + \mathbf{l} \mathbf{c}_0^T (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}) + \mathbf{b}_0 (u_{v_0}(t) + u_{v_{\Sigma}}(t)), \quad (26)$$

где 11-мерный вещественный числовой вектор \mathbf{l} линейных обратных связей по ошибке наблюдателя $\hat{\mathbf{e}} = \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}$ вычисляется по известной методике [5], так чтобы линейная система (26) оценки $\hat{\mathbf{x}}$ вектора состояния \mathbf{x} линеаризованного объекта (24) была асимптотически устойчива по ошибке $\hat{\mathbf{e}}$, т. е. $\lim_{t \rightarrow +\infty} \|\hat{\mathbf{e}}\| = \lim_{t \rightarrow +\infty} \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\| = 0$, где $\|\cdot\|$ – векторная евклидова норма.

Располагая асимптотической оценкой $\hat{\mathbf{x}}$ вектора состояния \mathbf{x} , можно построить линейное управление $u_{\text{вЛ}}(t)$ в виде полной линейной обратной связи (модального управления) по оценке состояния (вектора (22)) в виде

$$\begin{aligned} u_{\text{вЛ}}(t) = \mathbf{k}^T \hat{\mathbf{x}} = k_1 \hat{I}_{\text{Т}} + k_2 \hat{I}_{\text{В}} + k_3 \hat{I}_{\text{бар}} + k_4 \hat{\omega}_{\text{бар}} + k_5 \hat{m}_{\text{у.тр.бар}} + \\ + k_6 \hat{\omega}_{\text{дв.бар}} + k_7 \hat{\omega}_{\text{об}} + k_8 \hat{m}_{\text{у.пн}} + k_9 \hat{\omega}_{\text{ст}} + k_{10} \hat{m}_{\text{у.тр.ст}} + k_{11} \hat{\omega}_{\text{ТГ}}, \end{aligned} \quad (27)$$

эффективное при параметрах объекта (1)–(18), близких к усредненным величинам (23) и режимам работы, близким к номинальным.

Отметим, что при заданных параметрах матриц \mathbf{A}_0 , \mathbf{b}_0 , \mathbf{c}_0 наблюдатель состояния (26) и модальное управление (27) легко рассчитываются в Matlab-Simulink для любых наперед заданных характеристических многочленов

$$\det(\mathbf{A}_0 + \mathbf{b}_0 \mathbf{k}^T - \lambda \mathbf{E}) \text{ и } \det(\mathbf{A}_0 + \mathbf{I} \mathbf{c}^T - \lambda \mathbf{E}) \quad (28)$$

относительно формальной скалярной переменной λ (\mathbf{E} – единичная матрица, \det – определитель).

В качестве эталонной модели, задающей желаемую эталонную динамику диссипативной сходимости процессов управления объектом (1)–(18), в [5] предлагается принять замкнутую систему, состоящую из линеаризованного объекта (24) и модального управления (27), названную эталонной моделью «в физических переменных», что весьма удобно для исследования эффективности построенного адаптивного управления $u_v(t)$, которое в соответствии с постановкой задачи адаптивного управления должно диссипативно сближать решения (траектории) нелинейного объекта (1)–(18) с траекториями эталонной модели при $t \rightarrow +\infty$. При предлагаемом выборе эталонной модели «в физических переменных» можно наглядно изучать физическую реализуемость построенных модального $u_{vд}(t)$ и адаптивного $u_{vа}(t)$ управлений, стесненную ограниченной мощностью (ограничениями токов (моментов)) электрических машин.

Эталонная модель «в физических переменных» имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_M = \mathbf{A}_M \mathbf{x}_M + \mathbf{b}_M u_{v0}(t); \\ \mathbf{A}_M \mathbf{x}_M = \mathbf{A}_0 + \mathbf{b}_M \mathbf{k}^T; \\ \mathbf{x}_M = \left(I_{M.Т}, I_{M.В}, I_{M.бар}, \omega_{M.бар}, m_{M.у.тр.бар}, \omega_{M.дв.бар}, \omega_{M.об}, \right. \\ \left. m_{M.у.пн}, \omega_{M.ст}, m_{M.у.тр.ст}, \omega_{M.ТГ} \right)^T, \end{cases} \quad (29)$$

где \mathbf{k} – вектор линейной обратной связи (27), вычисленный для того же характеристического многочлена (28).

Для построения полной прямой адаптивной системы управления с алгоритмами параметрической настройки и мажорирующими функциями выберем наиболее подходящую для наших целей адаптивную структуру с адаптивным законом $u_{vа}(t)$ и алгоритмами его настройки, включающими мажорирующие функции только старших степеней роста p , одинаковых по каждой из переменных состояния – компонентов x_r вектора состояния \mathbf{x} вида (22) [5].

Выбирая в качестве мажорирующих функций степенные (любой нечетной степени) функции переменных состояния

$$f_p(x_r) = x_p^r, \quad r = 1, 2, \dots, 11, \quad (30)$$

укажем те переменные – компоненты вектора состояния (22), которые являются аргументами нелинейностей правых частей дифференциальных уравнений (1)–(18) объекта управления, и по которым вводится нелинейная параметризация нелинейных правых частей. Тако-

выми переменными для объекта управления (1)–(18) являются: I_B – аргумент нелинейной характеристики намагничивания; $m_{y.тр.бар}$ – аргумент нелинейности в виде зазора $\delta_{тр.бар}$ в упругой связи трансмиссии барабана; $\omega_{об}$, $\omega_{бар}$ – аргументы нелинейного сухого трения; $m_{y.пн}$, $\omega_{ст}$ – аргументы нелинейного упругого пневматика; $m_{y.тр.ст}$ – аргумент нелинейности в виде зазора $\delta_{тр.ст}$ в упругой связи трансмиссии транспортного колеса, и только по переменным I_T , $I_{бар}$, $\omega_{дв.бар}$, $\omega_{ТГ}$ мажорирующие функции не вводятся (в диагональной матрице мажорирующих функций для этих переменных будут стоять единицы). С учетом (30) и сказанного, диагональная матрица мажорирующих (параметризирующих) функций будет иметь вид (для оценок переменных, вырабатываемых наблюдателем (26)):

$$\mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^{11} = \mathbf{diag} \left\{ 1, \hat{I}_{pв}, 1, \hat{\omega}_{бар}^p, \hat{m}_{пу.тр.бар}, 1, \hat{\omega}_{роб}, \hat{m}_{пу.пн}, \hat{\omega}_{рст}, \hat{m}_{пу.тр.ст}, 1 \right\}; \quad (31)$$

$$r = 1, 2, \dots, 11; \quad p = 1, 3, 5, \dots$$

Принимая во внимание, что порядок адаптируемого объекта равен 11 и входное воздействие является скалярной величиной, запишем адаптивный закон в виде:

$$u_{va}(t) = \mathbf{k}_A^T(t) \mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^{11} \hat{\mathbf{x}} + k_b(t) u_{v0}(t), \quad (32)$$

где \mathbf{k}_A^T – 11-мерный вектор-строка настраиваемых параметров адаптивного закона; $k_b(t)$ – скалярный настраиваемый входной коэффициент (всего 12 настраиваемых параметров), а компоненты диагональной матрицы и вектора состояния в адаптивном законе записаны с помощью оценок, вырабатываемых наблюдателем, что позволяет реализовать адаптивный закон в условиях неполной измеримости переменных состояния (22) объекта управления (1)–(18).

Алгоритмы настройки параметров \mathbf{k}_A^T , k_b адаптивного закона (31), (32) представляются в соответствии с [5] системой из 12 дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{k}}_A^T(t) = -\gamma_a \delta(\hat{\mathbf{e}}) \hat{\mathbf{x}}^T \mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^{11} - \lambda_a \mathbf{k}_A^T(t), \\ r = 1, 2, \dots, 11; \quad p = 1, 3, 5, \dots; \\ \dot{k}_b(t) = -\gamma_b \delta(\hat{\mathbf{e}}) u_{v0}(t) - \lambda_b k_b(t), \end{cases} \quad (33)$$

где $\gamma_a, \lambda_a, \gamma_b, \lambda_b$ – положительные коэффициенты усиления алгоритмов настройки; $\hat{\mathbf{e}} = \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}_M$ – вектор ошибок – разностей между соответствующими переменными оценок наблюдателя (26) и эталонной модели (29); $\delta(\hat{\mathbf{e}}) = \mathbf{b}_M^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{e}}$ – векторно-матричное соотношение с квадратной матрицей \mathbf{P} порядка 11, симметричной, $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T$, положительно определенной, $\mathbf{P} > 0$, и являющейся единственным решением матричного уравнения Ляпунова вида

$$\mathbf{A}_M^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A}_M = -\mathbf{G}, \quad (34)$$

где \mathbf{G} – квадратная симметричная матрица 11 порядка, выбираемая по условиям удовлетворительной диссипативной сходимости процессов параметрической настройки (33).

Этим завершается построение первого варианта – полной адаптивной системы управления динамическими процессами электромеханического испытательного комплекса, описываемого как объект управления системой нелинейных дифференциальных уравнений 11 порядка вида (1)–(18), состоящей из наблюдателя состояния (26); линейного (модального) управления (27); эталонной модели «в физических переменных» (29); адаптивного закона управления (32); алгоритмов настройки его параметров (33) с мажорирующими функциями (31).

Построение второго варианта адаптивной системы управления – декомпозированной адаптивной системы – состоит из построения двух адаптивных подсистем для объекта (1)–(18), декомпозированного на два подобъекта.

Вектор состояния первого подобъекта (1), (2), (8)–(13), (16)–(18) с подчиненным управлением (14) составляют 7 независимых переменных:

$$\mathbf{x}_S = (I_T, I_B, \omega_{об}, m_{у.пн}, \omega_{ст}, m_{у.тр.ст}, \omega_{тг})^T, \quad (35)$$

недоступны измерению переменные $\omega_{об}, m_{у.пн}, \omega_{ст}, m_{у.тр.ст}$, а неопределенными являются соответствующие параметры и нелинейные функции первого подобъекта, выбранные из (21):

$$J_{об}(\cdot), J_{ст}(\cdot), p_{пн}(\cdot), p_{тр.ст}(\cdot), S(\cdot), \Phi_B(I_B), f_{у.тр.бар}(\delta_{тр.бар}), f_{у.тр.ст}(\delta_{тр.ст}).$$

Вектор состояния второго подобъекта (3)–(7), (16)–(18) с подчиненным управлением (15) составляют 4 независимые переменные:

$$\mathbf{x}_V = (I_{бар}, \omega_{бар}, m_{у.тр.бар}, \omega_{дв.бар})^T, \quad (36)$$

недоступна измерению переменная $m_{у.тр.бар}$, а неопределенными являются соответствующие параметры и нелинейные функции второго подобъекта, выбранные из (21):

$$J_{бар}(\cdot), p_{тр.бар}(\cdot), f_{у.тр.бар}(\delta_{тр.бар}).$$

Линеаризованное описание первого подобъекта (1), (2), (8)–(14) с постоянными усредненными параметрами

$$J_{об}^0, J_{ст}^0, J_{тг}^0, p_{пн}^0, p_{тр.ст}^0, L_{я}, L_B^0, k_{\Phi}^0 = \Phi_B^*(I_B^*), R_{я}^0, R_B^0$$

имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}}_{S0} = \mathbf{A}_{S0}\mathbf{x}_{S0} + \mathbf{b}_{S0}(u_{S0}(t) + u_{S\Sigma}(t)); \quad \mathbf{y}_{S0} = \mathbf{c}_{S0}^T \mathbf{x}_{S0}, \quad (37)$$

где в уравнение измерения включена одна измеряемая переменная – $\omega_{тг}$.

Линеаризованное описание второго подобъекта (3)–(7), (15) с постоянными усредненными параметрами $J_{дв.бар}^0, J_{бар}^0, p_{тр.бар}^0, L_{я.бар}^0, R_{я.бар}^0$ имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}}_{V0} = \mathbf{A}_{V0}\mathbf{x}_{V0} + \mathbf{b}_{V0}(u_{V0}(t) + u_{V\Sigma}(t)); \quad \mathbf{y}_{V0} = \mathbf{c}_{V0}^T \mathbf{x}_{V0}, \quad (38)$$

где в уравнение измерения включена одна измеряемая переменная – $\omega_{бар}$.

Все матрицы и векторы в уравнениях (37), (38) имеют размерности, соответствующие размерностям подобъектов и их скалярным входам.

Адаптивная подсистема первого подобъекта (1), (2), (8)–(14), (16)–(18) строится вполне аналогично построению полной адаптивной системы (26), (27), (29), (31)–(33) и состоит:

а) из наблюдателя состояния

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}_S = \mathbf{A}_{S0}\mathbf{x}_S + \mathbf{l}_S\mathbf{c}_{S0}^T (\hat{\mathbf{x}}_S - \mathbf{x}_S) + \mathbf{b}_{S0}(u_{S0}(t) + u_{S\Sigma}(t)); \quad (39)$$

б) линейного (модального) управления

$$u_{Sл}(t) = \mathbf{k}_S^T \hat{\mathbf{x}}_S = k_{S1}\hat{I}_T + k_{S2}\hat{I}_B + k_{S3}\hat{\omega}_{об} + k_{S4}\hat{m}_{у.пн} + k_{S5}\hat{\omega}_{ст} + k_{S6}\hat{m}_{у.тр.ст} + k_{S7}\hat{\omega}_{ТГ}; \quad (40)$$

в) эталонной модели

$$\dot{\mathbf{x}}_{SM} = \mathbf{A}_{SM}\mathbf{x}_{SM} + \mathbf{b}_{SM}u_{S0}(t); \quad (41)$$

$$\mathbf{A}_{SM} = \mathbf{A}_{S0} + \mathbf{b}_{SM}\mathbf{k}_S^T;$$

г) адаптивного закона

$$u_{Sa}(t) = \mathbf{k}_{SA}^T (t) \mathbf{diag} \left\{ f_{Sp}(\hat{x}_{Sr}) \right\}_1^7 + k_{Sb}(t)u_{S0}(t), \quad (42)$$

где матрица мажорирующих функций имеет вид

$$\mathbf{diag} \left\{ f_{Sp}(\hat{x}_{Sr}) \right\}_1^7 = \mathbf{diag} \left\{ 1, \hat{I}_{pB}, \hat{\omega}_{pоб}, \hat{m}_{pу.пн}, \hat{\omega}_{pст}, \hat{m}_{pу.тр.ст}, 1 \right\}; \quad (43)$$

$$r = 1, 2, \dots, 7; \quad p = 1, 3, 5, \dots;$$

д) алгоритмов настройки параметров адаптивного закона (42) в виде системы из 8 дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{k}}_{SA}^T (t) = -\gamma_{Sa}\delta_S(\hat{\mathbf{e}}_S)\hat{\mathbf{x}}_S^T \mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^7 - \lambda_{Sa}\mathbf{k}_{SA}^T (t); \\ \dot{k}_{Sb}(t) = -\gamma_{Sb}\delta_S(\hat{\mathbf{e}}_S)u_{S0}(t) - \lambda_{Sb}k_{Sb}(t), \end{cases} \quad (44)$$

где $\gamma_{Sa}, \lambda_{Sa}, \gamma_{Sb}, \lambda_{Sb}$ – положительные коэффициенты; $\hat{\mathbf{e}}_S = \hat{\mathbf{x}}_S - \mathbf{x}_{SM}$ – вектор ошибок;

$\delta_S(\hat{\mathbf{e}}_S) = \mathbf{b}_{SM}^T \mathbf{P}_S(\hat{\mathbf{e}}_S)$, \mathbf{P}_S – (7×7)-матрица-решение матричного уравнения Ляпунова вида

$$\mathbf{A}_{SM}^T \mathbf{P}_S + \mathbf{P}_S \mathbf{A}_{SM} = \mathbf{G}_S, \quad \mathbf{G}_S = \mathbf{G}_S^T, \quad \mathbf{G}_S > 0; \quad \mathbf{P}_S = \mathbf{P}_S^T, \quad \mathbf{P}_S > 0. \quad (45)$$

Построили адаптивную подсистему первого подобъекта в виде дифференциальных и алгебраических уравнений (39)–(45), в которых все матрицы и векторы имеют размерности, соответствующие размерности 7 первого подобъекта и его скалярному входу.

Адаптивная подсистема второго подобъекта (3)–(7), (15)–(18) строится вполне аналогично построению первой адаптивной подсистемы (39)–(45) и состоит:

а) из наблюдателя состояния

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}_v = \mathbf{A}_{v0}\hat{\mathbf{x}}_v + \mathbf{l} \mathbf{c}_{v0}^T (\hat{\mathbf{x}}_v - \mathbf{x}_v) + \mathbf{b}_{v0}(u_{v0}(t) + u_{v\Sigma}(t)); \quad (46)$$

б) линейного (модального) управления

$$u_{vл}(t) = \mathbf{k}_v^T \hat{\mathbf{x}}_v = k_{v1}\hat{I}_{бар} + k_{v2}\hat{\omega}_{бар} + k_{v3}\hat{m}_{у.тр.бар} + k_{v4}\hat{\omega}_{дв.бар}; \quad (47)$$

в) эталонной модели

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_{vM} = \mathbf{A}_{vM}\mathbf{x}_{vM} + \mathbf{b}_{vM}u_{v0}(t); \\ \mathbf{A}_{vM} = \mathbf{A}_{v0} + \mathbf{b}_{vM}\mathbf{k}_v^T; \end{cases} \quad (48)$$

г) адаптивного закона

$$u_{va}(t) = \mathbf{k}_{vA}^T(t) \mathbf{diag} \left\{ f_{vp}(\hat{x}_{vr}) \right\}_1^4 + k_{vb}(t) u_{v0}(t), \quad (49)$$

где матрица мажорирующих функций имеет вид

$$\mathbf{diag} \left\{ f_{vp}(\hat{x}_{vr}) \right\}_1^4 = \mathbf{diag} \left\{ 1, \hat{\omega}_p \text{ бар}, \hat{m}_p \text{ у.тр.бар}, 1 \right\}, \quad r = 1, 2, 3, 4, \quad p = 1, 3, 5, \dots; \quad (50)$$

д) алгоритмов настройки параметров адаптивного закона (50) в виде системы из 5 дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{k}}_{vA}^T(t) = -\gamma_{va} \delta_v(\hat{\mathbf{e}}_v) \hat{\mathbf{x}}_v^T \mathbf{diag} \left\{ f_{vp}(\hat{x}_{vr}) \right\}_1^4 - \lambda_{va} \mathbf{k}_{vA}^T(t); \\ \dot{k}_{vb}(t) = -\gamma_{vb} \delta_v(\hat{\mathbf{e}}_v) u_{v2}(t) - \lambda_{vb} k_{vb}(t), \end{cases} \quad (51)$$

где $\gamma_{va}, \lambda_{va}, \gamma_{vb}, \lambda_{vb}$ – положительные коэффициенты; $\hat{\mathbf{e}}_v = \hat{\mathbf{x}}_v - \mathbf{x}_{vM}$ – вектор ошибок; $\delta_v(\hat{\mathbf{e}}_v) = \mathbf{b}_{vM}^T \mathbf{P}_v(\hat{\mathbf{e}}_v)$, \mathbf{P}_v – (4×4)-матрица – решение матричного уравнения Ляпунова вида

$$\mathbf{A}_{vM}^T \mathbf{P}_v + \mathbf{P}_v \mathbf{A}_{vM} = \mathbf{G}_v, \quad \mathbf{G}_v = \mathbf{G}_v^T, \quad \mathbf{G}_v > 0; \quad \mathbf{P}_v = \mathbf{P}_v^T, \quad \mathbf{P}_v > 0. \quad (52)$$

Построили адаптивную подсистему второго подобъекта в виде дифференциальных и алгебраических уравнений (46)–(52), в которых все матрицы и векторы имеют размерности, соответствующие размерности 4 второго подобъекта и его скалярному входу. Тем самым завершили построение второго декомпозированного варианта адаптивной системы управления имитатором движения электромеханического испытательного комплекса (1)–(18).

Обсуждение полученных результатов. Очевидно, что из построенных двух вариантов адаптивных систем управления движением электромеханического испытательного комплекса полностью отвечающей требованиям, сформулированным в постановке задачи, является полная адаптивная система (26), (27), (29), (31)–(33) (первый вариант), обеспечивающая динамику объекта (1)–(18) 11-го порядка, близкую к наперед заданной динамике эталонной модели в «физических переменных» (29), определяемой асимптотически устойчивой линейной системой дифференциальных уравнений 11 порядка с постоянными параметрами (\mathbf{A}_M – гурвицева матрица). Однако расчет, отладка и настройка микроконтроллерной реализации полной адаптивной системы является довольно непростой задачей, осложняющейся тем, что процессы выбора коэффициентов усиления алгоритмов настройки (33) и мажорирующих функций (31) в принципе неформализуемы [5].

Декомпозированная адаптивная система (второй вариант) по существу состоит из двух взаимосвязанных адаптивных подсистем управления (39)–(45) и (46)–(52) подобъектами 7-го и 4-го порядков соответственно, поэтому расчет, отладка и настройка микроконтроллерной реализации их как независимых адаптивных систем значительно упрощается по сравнению с полной адаптивной системой. Однако недостаток декомпозированного подхода состоит в том, что в силу взаимосвязанности подобъектов, выбор эталонных моделей (41) и (48) адаптивных подсистем «стеснен» компромиссом выбора таких независимых динамик адаптивных подсистем, которые обеспечивали бы удовлетворительную динамику полного взаимосвязанного объекта, отвечающую требованиям, сформулированным в постановке задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытательный стенд для нового поколения буксируемых электромеханических установок аэродромного обслуживания / Е. В. Друян, А. В. Путов, В. В. Путов, В. Н. Шелудько // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 4. С. 22–28.
2. Автоматически управляемые электромеханические устройства торможения транспортных колес / В. В. Путов, В. Н. Шелудько, А. В. Путов, Я. Н. Сколяров // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 8. С. 61–68.
3. Адаптивная система управления торможением электромеханических двигателей транспортных колес с пневматическими шинами / В. В. Путов, В. Н. Шелудько, А. В. Путов, Е. В. Друян // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 9. С. 73–81.
4. Путов А. В. Автоматизированный мобильный электромеханический комплекс для непрерывного изменения фрикционных свойств аэродромных и автодорожных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2010. 278 с.
5. Путов В. В., Шелудько В. Н. Адаптивные и модальные системы управления многомассовыми нелинейными упругими механическими объектами. СПб.: ООО «Техномедиа» / Элмор, 2007. 244 с.

V. V. Putov, V. N. Sheludko, E. V. Druyan, A. V. Putov

ELECTROMECHANICAL TEST COMPLEX WITH DRUM MOTION SIMULATOR FOR ELECTROMECHANICAL PROPULSION WHEEL OF TRANSPORT MANAGEMENT ISSUES

The problems of constructing a mathematical model, the adaptive-tasking corporate governance and the development of the two variants of motion control systems complexity of electromechanical test facility consisting of a test stand with a controlled using electric drum simulator and fixed on it in the suspension of the test vehicle pneumatic wheels electromechanical driving force, made on the basis of electromechanical cascade opposite included dc electrical machines, controlled by the excitation of one of the machines.

Electromechanical testing facility, vehicle wheel, the elasticity of the pneumatic and transmissions, electromechanical propulsion, adaptive control systems, excitation controlled electromechanica

УДК 681.51.011; 681.513.6; 62-83-52

А. В. Вейнмейстер, Н. Д. Поляхов,

И. А. Приходько, Д. М. Филатов, О. Э. Якупов

АДАПТИВНО-НЕЧЕТКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Представлены результаты исследования устойчивости и грубости систем с нечеткими регуляторами для управления гидро- и электроприводами как техническими объектами с ограниченной неопределенностью, выработанные с привлечением концепции универсального аппроксиматора и квадратичных неравенств, характерных для метода функций Ляпунова. Показана возможность построения комбинированных нечетких регуляторов, таких как «нечеткий регулятор + штатный регулятор».

Нечеткие регуляторы, грубость управления, метод функций Ляпунова, гидро- и электроприводы

В электроприводах (ЭП) с асинхронным двигателем изменение температуры приводит к заметной вариации (50 % и более) активного сопротивления ротора, что до сих пор является препятствием в построении электромеханических систем без датчика скорости вращения. В гидроприводах (ГП) причинами вариации параметров кроме температурного фактора являются изменение давления нагнетания рабочей жидкости в гидроприводе, степени ее очистки и т. п., а также изменение числа резервированных каналов управления, используемое в системах управления движением летательных аппаратов. Особенности нелинейных характеристик ЭП и ГП главным образом определяются областью нечувствительности и различными значениями крутизны статических характеристик в зависимости от уровней управляющих сигналов. Кроме того, сильно изменяется динамика приводов, особенно без-

редукторных ЭП, работающих с механизмами, у которых в силу сложных режимных условий также изменяются параметры и характеристики. Таким образом, можно полагать, что реальный привод представляет собой динамический объект управления с некоторой ограниченной неопределенностью. По преодолению (компенсации или подавлению) такого рода неопределенности можно предложить применение адаптивного управления [1] и построение законов управления на основе методов искусственного интеллекта [2]–[4]. Адаптивные системы с параметрическими законами отличаются негрубой сходимостью алгоритмов. Сравнительно перспективнее на наш взгляд является применение интеллектуального управления при построении и реализации грубых регуляторов [5]. В работе рассматриваются нечеткие структуры, а точнее системы с нечеткими регуляторами, обладающие потенциальной грубостью. Применительно к приводам можно получить:

- стабильность динамических характеристик в условиях ограниченной неопределенности и действующих возмущений;
- значительное упрощение структур регуляторов;
- комбинирование нечетких алгоритмов с традиционными алгоритмами для усиления эффективности последних.

Тем не менее, вопрос устойчивости и грубости нечетких систем управления был и остается предметом особого внимания исследователей в этой области. Современные работы по вопросам устойчивости нечетких систем можно классифицировать по двум направлениям: метод функций Ляпунова и его развития (внутренний подход) и вход-выходные отношения (внешний подход). Например, часть результатов по асимптотической устойчивости нечеткой системы выработаны через существование единого решения линейных матричных неравенств ляпуновского типа для всех нечетких правил Takagi–Sugeno (T–S)-систем [2]. Другие результаты по устойчивости нечетких систем получены исключительно на использовании концепции универсального аппроксиматора и относятся к внешнему подходу [6], [3].

1. Нечеткий регулятор как универсальный аппроксиматор. Рассмотрим две системы $S(R, L)$, $S(R_f, L)$ с двумя типами регуляторов: четким $R(\cdot)$ с выходом $u(t)$ и нечетким $R_f(\cdot)$ (НР) с выходом $\delta(t)$. Здесь L – объект с нелинейным нестационарным оператором, а регуляторы находятся в прямом канале системы с единичной обратной связью. Кроме того, функции $y(t)$ (выход системы), $r = r(t)$ (программное управление на входе системы), $e(t) = r - y(t)$ (ошибка управления) определены на замкнутых интервалах I_1 , I_2 , I_3 соответственно.

В структуре нечетких регуляторов кроме ошибки $e(t)$ предусмотрено введение производной $\dot{e}(t)$ с областями определения I_3 и один дефазифицированный выход $\delta(t)$. Тогда НР с учетом дифференцирования примет вид $R_f(\cdot) = R_f(e, \dot{e}) = \delta(t)$.

Предполагается, что для оператора R_f выполнены условия [2]:

- 1) $(R_f(e), e) > 0$ при $e \neq 0$, $R_f(0) = 0$;
- 2) непрерывная дифференцируемость.

Универсальный аппроксиматор определяется как множество нечетких регуляторов [6]: множество U является универсальным аппроксиматором, если для любой непрерывной функции $R(e): I_3 \rightarrow I_2$ и $\forall \varepsilon > 0$, $\exists R_f(e)$ из U такой, что при $e \in I_3 \times I_3$

$\max \left\{ \left| R(e) - R_f(e) \right| \right\} \leq \varepsilon$, где $R(\cdot)$ – четкий регулятор, обеспечивающий требуемую устойчивость и качество системы $S(R, L)$.

Теорема 1. Нечеткий регулятор $R_f \in U$ – универсальный аппроксиматор [6].

Теорема 2. Система $S(R_f, L)$ обладает устойчивостью и грубостью с нечетким регулятором из множества U [5].

Следствие. Нечеткий регулятор $\delta(t) = R_f(\cdot)$ можно представить объединением нечетких регуляторов $\delta(t) = \bigcup_{i=1}^m \delta_i(t)$.

2. Устойчивость и грубость системы с нечетким регулятором. Исследование устойчивости и грубости проведем на основе метода функции Ляпунова с привлечением концепции универсального аппроксиматора [6], [7].

Пусть описание управляемого объекта (ОУ) $L(\cdot)$ выбрано в виде

$$L(\cdot) : \dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\delta, \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \quad \mathbf{y} = C\mathbf{x}, \quad (1)$$

где A, B – матрицы с ограниченными функциональными элементами; матрица C задана и постоянна. Также выполнены свойства управляемости и наблюдаемости ОУ. Кроме того, матрицы A, B таковы, что: $A - A_0 = \Delta A, B - B_0 = \Delta B$, где A_0, B_0 – постоянные «номинальные» матрицы. Тогда считаем, что $L = L_0 + \Delta L$, где $L_0 = \mathbf{x} = A_0\mathbf{x} + B_0\delta$, $\Delta L = \varphi(\mathbf{x}, \delta, t) = \Delta A\mathbf{x} + \Delta B\delta(t)$.

Рассмотрим устойчивость нулевого решения $\mathbf{x}(t) = 0$. При $r(t) = 0$, $\mathbf{e}(t) = -\mathbf{y}(t)$ и $\delta(t) = R_f(\mathbf{e}) = -R_f(\mathbf{y})$, $\mathbf{y}^T R_{fi}(\mathbf{y}) > 0, \mathbf{y} \neq 0, i = 1, 2, R_f(0) = 0$.

Теорема 3. Пусть выполнены указанные выше предположения и выполнено условие согласованности $\mathbf{x}^T P B_0 B_0^+ \varphi = \mathbf{x}^T P \varphi$, $B_0^T P = C$. Тогда нечетким регулятором $\delta(t) = R_f(\mathbf{e})$ обеспечивается асимптотическая устойчивость в целом и грубость системы (1). Верхний знак «+» у матрицы означает псевдоинверсию.

Для доказательства используется метод функций Ляпунова с введением квадратичной формы и анализом ее полной производной по времени:

$$V(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T P \mathbf{x}, \quad \dot{V}(\bar{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T (P A_0 + A_0^T P) \mathbf{x} + \mathbf{x}^T P \varphi - \mathbf{x}^T P B_0 R_f(\mathbf{y}).$$

На основании следствия из теоремы 2 имеем $R_f(\mathbf{y}) = R_{f1}(\mathbf{y}) + R_{f2}(\mathbf{y})$. Тогда с учетом непрерывной дифференцируемости $R_f(\mathbf{y})$ получаем:

$$\begin{aligned} \dot{V}(\mathbf{x}) &= \frac{1}{2} \mathbf{x}^T (P A_0 + A_0^T P) \mathbf{x} + \mathbf{x}^T P B_0 B_0^+ \varphi - \mathbf{y}^T \frac{\partial R_{f1}(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{y}} B_0^T P \mathbf{x} - \mathbf{y}^T R_{f2}(\mathbf{y}) = \\ &= \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \left(P (A_0 - B_0 \frac{\partial R_{f1}(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{y}} B_0^T P) \right) + \left((A_0 - B_0 \frac{\partial R_{f1}(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{y}} B_0^T P)^T P \right) \mathbf{x} + \mathbf{y}^T B_0^+ \varphi - \mathbf{y}^T R_{f2}(\mathbf{y}). \end{aligned}$$

Для асимптотической устойчивости достаточно выполнения условий:

- 1) гурвицевость матрицы $A_0 - B_0 \frac{\partial R_{f1}(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{y}} B_0^T P$;

$$2) \mathbf{y}^T B_0^+ \varphi - \mathbf{y}^T R_{f2}(\mathbf{y}) \leq 0. \quad (2)$$

Последнее условие будет выполнено, если обеспечить неравенство

$$\|R_{f2}(\mathbf{y})\| \geq \|B_0^+\| \|\varphi\| \geq \|B_0\|^{-1} \|\varphi\|, \quad (3)$$

где $\|\varphi\| \leq \|\Delta A_{\max}\| \|x\| + \|\Delta B_{\max}\| \|R_f(\mathbf{y})\|$, $\|\cdot\|$ – эвклидова норма.

Применим неравенство $\|R_{f2}\| = \|R_f - R_{f1}\| \geq \|R_f\| - \|R_{f1}\|$, которое следует из соотношения $\|R_f\| = \|R_{f2} + R_{f1}\| \leq \|R_{f2}\| + \|R_{f1}\|$. В результате получаем неравенство, обеспечивающее условие асимптотической устойчивости и грубость системы,

$$\|R_f(\mathbf{y})\| \geq \|B_0^+\| \|\varphi\| + \|R_{f1}\|. \quad (4)$$

Оператор R_{f1} использован для управления динамикой и выполняет функцию стабилизирующего регулятора. Оператор R_{f2} при указанной ранее ограниченности функции $\varphi(\cdot)$ обеспечивает неположительность суммы последних слагаемых в выражении (2) и, следовательно, компенсацию влияния $\Delta L(\cdot)$.

Аппроксимация нечетким регулятором четкого есть ε -аппроксимация; малые ε достигаются выбором большого числа нечетких правил. В силу влияния неточности аппроксимации имеет место устойчивость типа диссипативности с радиусом ε предельного множества, т. е. ε -диссипативность.

Структура системы с включенным нечетким регулятором показана на рис. 1.

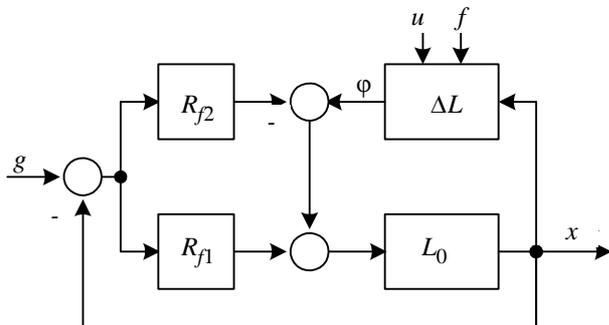


Рис. 1

3. Комбинированные нечеткие регуляторы. НР можно использовать для построения схем комбинированных НР как, например, параллельного/последовательного включения НР с традиционными («четкими») регуляторами.

НР + классический закон управления (параллельное включение). Комбинированная нечеткая система, кроме описания ОУ (1), содержит регулятор в обратной связи по состоянию $u = Gx$, где G – постоянная матрица обратных связей, найденных одним из известных линейных методов синтеза. Нечеткий регулятор задан в виде $\delta(t) = R_f(e)$, $e(t) = -y(t)$, C – заданная матрица измерений. Таким образом, нечеткая система управления с комбинированным законом управления $\tilde{y} = u + \delta$ имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}} = A_0 \mathbf{x} + B_0(u + \delta) + \Delta A \mathbf{x} + \Delta B(u + \delta) + \eta(t),$$

где $\eta(t)$ – внешние ограниченные возмущения. Приведенное ко входу возмущение в системе можно записать как

$$\varphi(\mathbf{x}, \delta, t) = \Delta A \mathbf{x} + \Delta B(u + \delta) + \eta(t).$$

Применяя квадратичные неравенства метода функций Ляпунова, получаем условие типа (4) для грубости (компенсация возмущения φ) комбинированной системы с обеспечением устойчивости:

$$\|R_f(\mathbf{e})\| \geq \frac{\|B_0^+\|(\|\Delta A\| + \|\Delta B\|\|G\| + \|\eta\|)\|\mathbf{x}\|}{1 - \|B_0^+\|\|\Delta B\|}, \quad \|\Delta B\| < \|B_0^+\|^{-1}.$$

Таким образом, имеем следующий результат:

Теорема 4. Нечетким регулятором $R_f(\mathbf{y})$ выполняется функция аппроксимации и компенсации возмущения $\varphi(x, \delta, t)$. Асимптотическая устойчивость и качество комбинированной системы сохраняется законом управления $u = G\mathbf{x}$.

Адаптивно-нечеткий регулятор. Из адаптивных законов можно взять параметрическую адаптацию вида $u(t) = (k_i - k_{i_0})x_i = \left[\gamma_i \int_{t_0}^{\infty} \Phi(e)x_i dt \right] x_i$, где k_i – настраиваемый параметр по переменной x_i , или сигнального типа $u = \text{sgn} \sigma(\mathbf{e})$, где $\sigma(\mathbf{e})$ – линейная комбинация относительно вектора ошибки $e(t)$ в схеме с эталонной моделью [6]. Тогда, комбинированная нечеткая система примет вид $\dot{\mathbf{x}} = A_M \mathbf{x} + \delta + \varphi + B_0 u + (A_0 - A_M) \mathbf{x}$, где последняя скобка «уничтожается» адаптивным законом. В результате имеем следующий результат.

Теорема 5. Нечетким регулятором $R_f(\mathbf{y})$ выполняются функция аппроксимации и компенсации возмущения $\varphi(\mathbf{x}, \delta, t)$ при выполнении условия (3). Асимптотическая устойчивость относительно движения эталонной модели $\dot{\mathbf{x}}_M = A_M \mathbf{x}_M + B_M g$ (g – программное управление) сохраняется указанными адаптивными законами.

Замечание. Включение нечеткого регулятора параллельно сигнальной адаптации при необходимости можно предусмотреть по мультипликативной схеме [3]. В этом случае функциональные свойства комбинированного регулятора также обеспечиваются.

Рулевой привод маневренного самолета представлен как электрогидравлический привод. Основными факторами, негативно влияющими на динамику электрогидравлического привода, являются нелинейные характеристики золотниковых распределителей и параметрические возмущения, такие, как изменение давления в гидросистеме, изменение постоянной времени сервопривода золотникового распределителя, связанное с возможностью отказа одного из резервированных каналов управления, технологическим разбросом параметров при серийном производстве, и т. д. [1].

Для стабилизации характеристик гидропривода в условиях действия нелинейных и нестационарных возмущающих факторов предложено адаптивно-нечеткое управление в виде комбинации сигнального алгоритма адаптации и алгоритма нечеткого вывода Такаги–Сугено по мультипликативной схеме (параметры адаптивного закона управления подстраиваются с помощью нечеткого регулятора в процессе работы). В качестве критерия оценки эффективности подавления параметрических возмущений и негативного влияния нелинейностей выбрано максимальное значение отклонения выхода системы от выхода эталонной модели $e_c = y - y_m$. Основные результаты работы получены при помощи компьютерного моделирования в пакете Matlab/Simulink. На рис. 2 представлены графики e_c ,

нормированные по амплитуде задающего воздействия g , с использованием алгоритма сигнальной адаптации (рис. 2, а) и адаптивно-нечеткого регулятора (рис. 2, б) при различных значениях ступенчатого задающего воздействия при номинальных параметрах.

Применение модифицированного адаптивного закона управления позволило при номинальных параметрах объекта управления снизить максимальное значение ошибки следования за эталонной моделью (для $g = 1$ максимальная ошибка следования системы за эталонной моделью уменьшилась почти в 2 раза) и в некоторых случаях (при $g = 0,1$, $g = 1$) существенно уменьшить колебательность и ускорить процесс адаптации. Параметрические возмущения моделировались изменением значений давления питания и постоянной времени сервопривода на 30 % как в сторону увеличения значения, так и в сторону его уменьшения. Проведенные исследования показали, что в системе с нечетким регулятором и при номинальных значениях параметров, и при наличии ограниченных параметрических возмущений удастся снизить максимальное значение отклонения движения системы от эталонной модели, на малых и средних уровнях задающего воздействия также достигается уменьшение среднего значения ошибки следования за ЭМ. При отработке сверхмалых задающих воздействий в системе с параметрическими возмущениями показатели адаптивного и нечеткого регуляторов различаются незначительно.

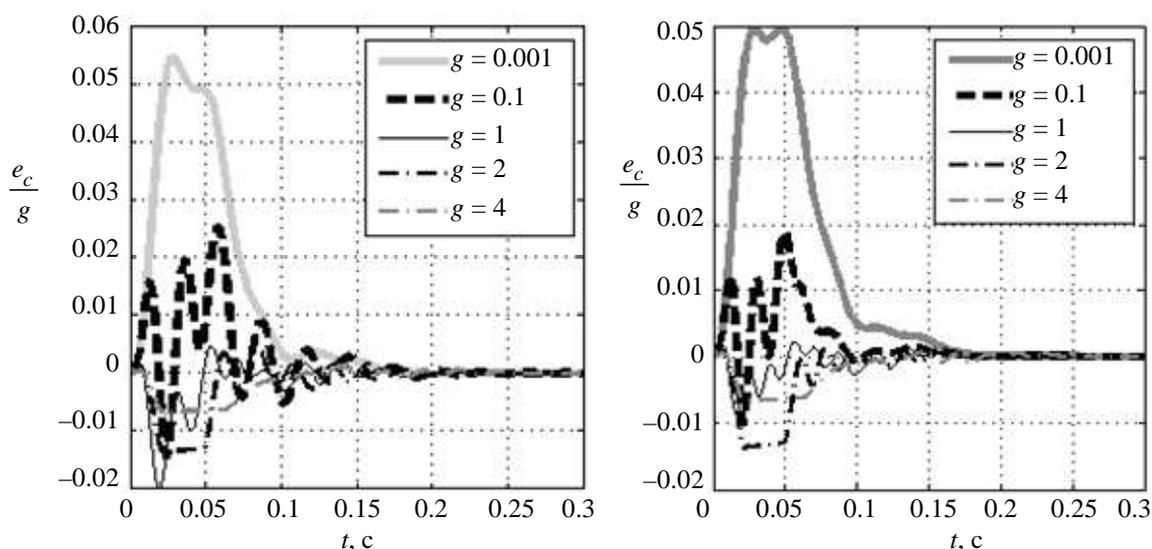


Рис. 2

Электропривод с асинхронным двигателем. Цель исследований – улучшение оценки скорости вращения в модели (наблюдателе) асинхронного двигателя (АД), используемой для построения системы без датчика угловой скорости. Исследования проводились моделированием в пакете Simulink/Matlab. В качестве исходной выбрана структура электропривода с АД и его моделью, корректируемой нелинейными операторами в электромагнитной части, которые найдены с помощью метода функций Ляпунова [4], [8]. Синтезирован адаптивно нечеткий регулятор с целью усиления грубости оценивания скорости в механической части АД. Параметры АД: $R_s = R_r = 0.311$ Ом, $L_s = L_r = 94e-3$ Гн, $L_m = 92e-3$ Гн, $I_{ном} = 40$ А, $P = 22$ кВт, 50 Гц, 2890 об/мин, $J = 0.08$ кг·м². Условия исследований таковы: начальное рассогласование R_r на 5 %, наброс нагрузки 70 % номинального значения и постепенное увеличение R_r на 20 %. Результаты оценки скорости, полученные наблюдателем с исходными параметрами, сравниваются со скоростью модели АД с возмущенными параметрами.

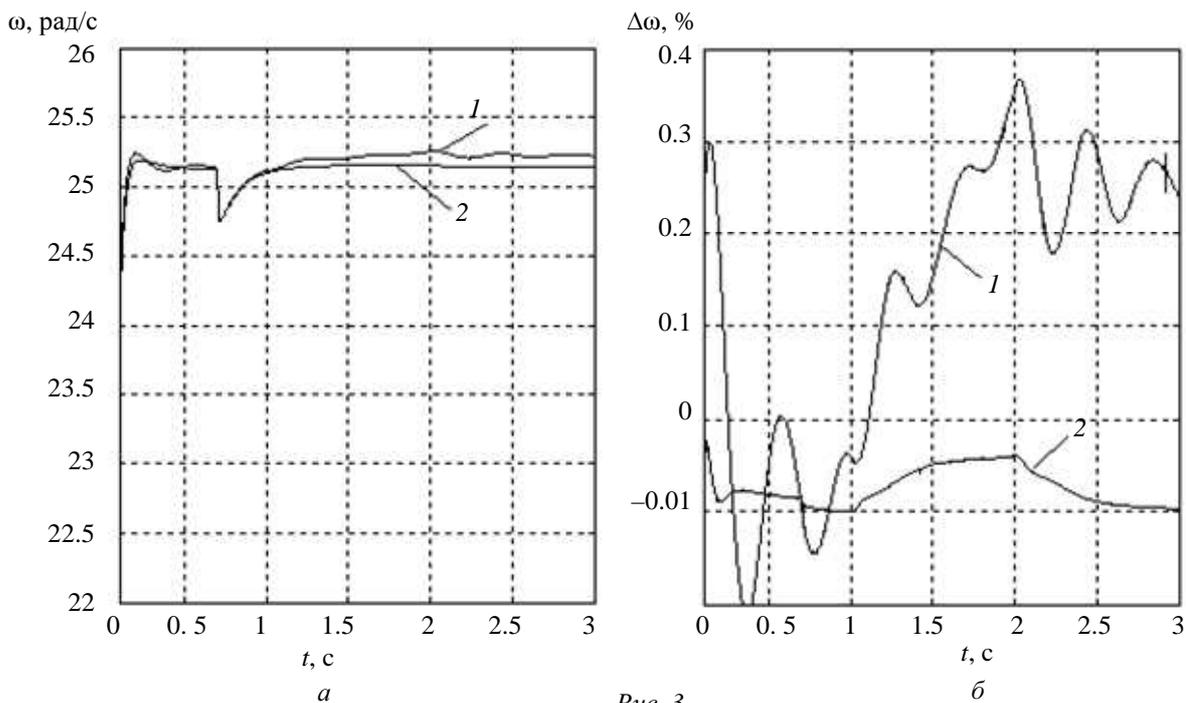


Рис. 3

При работе в широком диапазоне скоростей и нагрузок изменяя параметры АД, невозможно подобрать универсальные коэффициенты наблюдателя. Разработанный адаптивный регулятор позволяет производить подстройку коэффициентов наблюдателя в зависимости от режима работы двигателя. Результаты исследований отражены на кривых переходных процессов (рис. 3) при пуске на частоту вращения 4 Гц, набросе нагрузки 70 % на 0.75 с и увеличении сопротивления ротора с 1-й секунды. Сравнение показывает, что без ухудшения динамики достигнуто улучшение статической точности: ошибка по скорости вращения под нагрузкой и с измененным параметром Rr без нечеткой коррекции (рис. 3 – кривые 1) приводит к появлению установившейся ошибки по скорости; с нечеткой коррекцией (рис. 3 – кривые 2) ошибка сходится к нулю при прекращении процесса изменения сопротивления. Увеличение эффективности оценивания скорости вращения в исходной системе позволяет повысить диапазон регулирования без использования датчика скорости до 1:400.

В качестве основы построения нечетких регуляторов для управления гидро- и электроприводами с ограниченной неопределенностью предложены квадратичные неравенства метода функций Ляпунова и концепция универсального аппроксиматора, на основе которых просто исследовать свойства устойчивости и грубости нечетких систем. В результате установлена асимптотическая устойчивость (ϵ – диссипативность) в целом и обоснована грубость адаптивно-нечетких систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрогидравлические приводы с адаптивным управлением маневренных самолетов / В. Е. Кузнецов, С. В. Константинов, Н. Д. Поляхов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 513 с.
2. Tanaka K., Wang H. O. Fuzzy control systems design and analysis. A linear matrix inequality approach. A Wiley-Interscience Publication. New York: John Wiley & Sons, inc., 2001. P. 303.
3. Nguyen H. T., Kreinovich V., Sirisaengtaksin O. Fuzzy control as a universal control tool // Fuzzy set and Systems. 1996. Vol. 80. P. 71–86.
4. Kubota H., Matsue K., Nakano T. DSP-based speed adaptive flux observer of induction motor // IEEE transaction on industry applications. March/Apr. 1993. Vol. 29, № 2. P. 344–349.
5. Интеллектуальное управление в технических системах/ Н. Д. Поляхов., И. А. Приходько, А. А. Карачев и др. //Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 10. С. 11–15.

6. Buckley J. J. Universal fuzzy controllers //Automatica. 1992. Vol. 28. P. 1245–1248.

7. Интеллектуальные законы управления приводами/ Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов, В. Е. Кузнецов, А. В. Вейн-майстер // Тр. V Междунар. (16-й Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу (АЭП–2007), 18–21 сент. 2007. СПб., 2007. С. 44–48.

8. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 212 с.

A. V. Weinmeister, N. D. Polyakhov, I. A. Prikhodko, D. M. Filatov, O. E. Yakupov

ADAPTIVELY FUZZY REGULATORS OF THE CONTROL SYSTEMS OF THE TECHNICAL OBJECTS

As components of architecture of design of fuzzy controllers for control systems of technical objects with the limited uncertainty square-law inequalities of Lyapunov functions method and the universal approximator concept are offered. There is possible design of the fuzzy combined controllers such as “a fuzzy controller plus a conventional controller ” for the hydro and electric drives.

Fuzzy controllers, robustness of control, Lyapunov’s method, hydro- and electric drives



УДК 621.3(075.8)

М. П. Белов

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Рассматриваются компьютерные методы исследования с визуализацией динамических процессов в автоматизированных электромеханических комплексах, позволяющих оптимизировать процесс проектирования, получать наглядно оценки выходных параметров различных предлагаемых вариантов технических решений.

Электромеханический комплекс, блочно-модульное моделирование, визуализация, среды LabVIEW

В настоящее время существует множество визуальных средств моделирования. Рассмотрим универсальные пакеты, позволяющие моделировать структурно-сложные системы, в том числе и автоматизированные электромеханические комплексы (АЭМК). Их можно разделить условно на три группы:

- пакеты «компонентного моделирования»;
- пакеты «физического моделирования»;
- пакеты, ориентированные на схему гибридного автомата.

Пакеты «компонентного моделирования» ориентированы на графический язык иерархических блок-схем. Элементарные блоки либо являются предопределенными, либо конструируются с помощью специального языка более низкого уровня. Новый блок можно собрать из имеющихся блоков с использованием ориентированных связей и параметрической настройки. В число предопределенных блоков входят чисто непрерывные, чисто дискретные и гибридные блоки. К достоинствам этого подхода следует отнести простоту создания не очень сложных моделей, а также эффективность реализации элементарных блоков и простоту построения эквивалентной системы. Наиболее известны следующие пакеты «компонентного моделирования»: *Matuh* (подсистема *Simutink*); *Matrix_x* (подсистема *SystemBuild*); *VmSim*.

Пакеты «физического моделирования» позволяют использовать неориентированные и потоковые связи. Пользователь может сам определять новые классы блоков. Непрерывная составляющая поведения элементарного блока задается системой алгебродифференциальных

уравнений и формул. Дискретная составляющая задается описанием дискретных событий, при возникновении которых происходят мгновенные присваивания переменным новых значений. Дискретные события могут распространяться по специальным связям. Изменение структуры уравнений возможно только косвенно через коэффициенты в правых частях, что обусловлено необходимостью символьных преобразований при переходе к эквивалентной системе. К пакетам «физического моделирования» следует отнести Dymola, Otola, OmSim.

Пакеты, основанные на использовании *схемы гибридного автомата*, позволяют наглядно описывать гибридные системы со сложной логикой переключений. Пользователь может сам определять новые классы блоков. Непрерывная составляющая поведения элементарного блока задается системой алгебродифференциальных уравнений и формул. К этому направлению относятся пакеты Shift (ориентирован на описание сложных динамических структур); Model Vision Studium (ориентирован на описание сложных поведений).

Унифицированный язык моделирования (UML – Unified Modeling Language) представляет собой универсальный язык, позволяющий одновременно с анализом создавать документацию для проектирования моделей сложных иерархических систем. UML относится к языкам *визуального моделирования*, предназначен для общения разработчиков при работе над одним проектом и для однообразного описания различных проектов.

Основные компоненты UML включают описание семантики UML, его графической нотации и дополнительных понятий.

В процессе разработки система представляется в виде объединения нескольких проекций, каждая из которых описывает определенный аспект разрабатываемой системы, а вместе они определяют систему в целом. Эти проекции представляются в UML следующими диаграммами:

– *диаграммы вариантов использования (use case diagrams)*. Обычно у сложных систем много функций и существует много вариантов их использования. Список всех групповых сценариев определяет функциональные требования к системе, с помощью которых может быть сформулировано техническое задание. Диаграммы вариантов использования представляют собой граф, с помощью которого показаны все типичные действующие лица и их взаимодействие с системой. Взаимодействие представлено сценариями применения;

– *диаграммы классов (class diagrams)*. Диаграммы классов показывают статическую структуру системы, т. е. определяют тип объектов системы и различного рода статические связи и отношения между ними. Диаграммы классов содержат набор статических (декларативных) элементов, таких как классы, типы и их связи, изображенных в виде графов. Диаграммы классов могут быть логически объединены в пакеты;

– *диаграммы взаимодействия (interactio diagrams)* подразделяются на диаграммы последовательности и кооперативные диаграммы. На обеих диаграммах представлена временная последовательность использования объектов при реализации конкретного сценария и сообщений, которыми они при этом обмениваются;

– *диаграммы последовательности (sequence diagrams)* показывают, в какой очередности появляются объекты при выполнении той или иной операции (сценария) и какой поток сообщений при этом возникает. Диаграммы последовательности имеют две оси: вертикальная представляет время, горизонтальная – различные объекты. Обычно интерес представляет только последовательность появления объектов по мере выполнения операции, но в случае систем реального времени могут понадобиться и конкретные значения времени;

– *диаграммы состояний (state diagrams)*. Любой объект системы может менять свое поведение в зависимости от происходящих внутренних или внешних событий, или, иными словами, он может реагировать на события, меняя свое состояние. Диаграммы состояний показывают последовательность состояний, в которых может оказаться объект в зависимости от происходящих событий, вместе с их реакциями на эти события. Диаграммы состояний описывают состояния только одного класса или объекта;

– *диаграммы деятельности (activity diagrams)*. Во многих случаях можно наблюдать смену состояний объектов, вызываемую только внутренними причинами. Внутри объекта выполняются последовательно или параллельно predetermined длительные действия. Для такого типа систем UML и предлагает использовать диаграммы деятельности. Такая диаграмма предназначена для того, чтобы выразить переходы, вызванные внутренними процессами (в противоположность внешним событиям, с которыми имеет дело диаграмма состояний). В большей степени удовлетворяет этим целям формализм под названием «гибридный автомат».

Библиотеку моделей, используемых в современных пакетах моделирования, образуют следующие классы моделей.

Пространство. В законах Ньютона о движении наряду с *независимой переменной* «время» присутствуют пространственные координаты (x, y, z) движущейся точки. Четверка (t, x, y, z) определяет положение тела в пространстве и времени. Графики $x(t), y(t), z(t)$ называются временными диаграммами. Если следить за положением точки $\{x(t), y(t), z(t)\}$ в осях x, y, z , то можно говорить о фазовых диаграммах.

События. При любой модели времени поведение системы с фазовым вектором $x(t)$ в любой момент времени t^* характеризуется парой $\{t^*, x(t^*)\}$, которую принято называть событием. У события две координаты – временная t^* и пространственная $x(t^*)$. Первая указывает на время наступления события, а вторая характеризует явление. В языках моделирования имеются специальные операторы, описывающие события и связанные с их наступлением действия.

Классическая динамическая система. Классическую динамическую систему можно задавать либо в виде систем дифференциальных уравнений, либо в виде явных формул решений этих уравнений.

Системы с непрерывным временем. Различают следующие формы описания непрерывного поведения:

- форма вида $z = z(t)$;
- нелинейные алгебраические уравнения относительно переменных, явно зависящих от времени: $G(z(t), t) = 0$;
- дифференциальные уравнения в форме систем уравнений первого порядка $\dot{z} = F(z, t)$ с заданными начальными условиями; дифференциальные уравнения в форме систем линейных алгебраических уравнений относительно первых производных вида $A\dot{z} = F(z, t)$;
- дифференциальные уравнения в общей форме: $F(\dot{z}, z(t), t) = 0$;
- алгебродифференциальные уравнения вида $\dot{z} = F(z, v, t)$; $0 = G(z, v, t)$ с согласованными начальными условиями.

Таким образом, можно говорить, что имеется описание обобщенной динамической системы, если ее поведение задано любой совокупностью из вышеперечисленных форм.

Передаточные функции. В некоторых пакетах моделирования для описания поведения динамических систем используется язык передаточных функций. В этих случаях исследуемую систему типа «вход–состояние–выход» можно описать с помощью дифференциального опера-

тора F , связывающего «выход» y с «входом» x : $y = Fx$. Полагая, что оператор F – линейный и не зависит от времени, x и y – скаляры, приходим к линейным стационарным системам. Для таких систем можно использовать описание, основанное на передаточной функции $W(p) = Y(p)/X(p)$,

где соответствующие интегралы $Y(p) = \int_0^t y(t) e^{-pt} dt$; $X(p) = \int_0^t x(t) e^{-pt} dt$ вычислены при нулевых

начальных условиях. Передаточными функциями конечномерных линейных стационарных объектов являются дробно-рациональные функции комплексной переменной p :

$$W(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n.$$

По передаточной функции можно легко восстановить вид дифференциального уравнения, описывающего поведение системы.

Конечные автоматы. Опираясь на событийное время, конечный автомат можно рассматривать как динамическую систему. Находясь в некотором состоянии, он воспринимает очередной символ из последовательности входных сигналов, мгновенно реагирует на него, формируя последовательность выходных символов, и меняет свое состояние. О таких системах говорят как о системах с «памятью», потому что, как и в дифференциальном уравнении, в конечном автомате текущее состояние зависит от предыстории и от значения входного сигнала.

В настоящее время стандартом описания дискретных «машин состояний» стала карта состояний (state chart), предложенная Д. Харелом и «узаконенная» в стандарте UML.

Применение среды LabVIEW для исследования систем управления АЭМК. National Instruments LabVIEW [1], [2] представляет собой высокоэффективную среду графического программирования, в которой можно создавать гибкие и масштабируемые приложения измерений, управления и тестирования с минимальными временными и денежными затратами.

Для проведения автоматизированных измерений LabVIEW содержит пакеты анализа, оптимизированные для различных измерительных задач.

Для создания приложений управления LabVIEW содержит отдельный набор специализированных библиотек, дополняющих графическую платформу методами управления, функциями распределенного мониторинга и управления, АСУТП, а также возможностями управления в реальном времени. Пакет LabVIEW позволяет реализовать:

- ПИД-регулирование;
- расширенное управление: LabVIEW содержит средства разработки алгоритмов оптимального управления на основе моделей контроллер-объект либо управление на базе принятых/выданных сигналов с учетом усовершенствованной идентификации системы. Кроме того, к LabVIEW поставляется дополнительная библиотека для непрерывного контроля работы динамических систем, позволяющая использовать указанные модели совместно с традиционными функциями управления, такими как передаточные функции, интеграторы, дифференциаторы и цепи обратной связи;
- управление движением, используемое для управления электроприводами и промышленными механизмами;
- повторное воспроизведение опытных сигналов;
- обширную библиотеку анализа и математических функций;
- естественную интеграцию с устройствами ввода;

– аппаратные платформы для создания систем реального времени: алгоритмы LabVIEW можно выполнять на платформах реального времени с интегрированным вводом-выводом. С помощью модульных аппаратных средств National Instruments CompactRIO и PXI можно быстро создавать прототипы встраиваемых систем, использующих процессоры, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) для встроенной логики и широкий спектр оригинальных устройств ввода-вывода.

Для реализации систем управления автоматизированными промышленными механизмами и их моделей в LabVIEW используются стандартные функции (математические, логические, функции генерации и обработки сигналов и др.) и специальные дополнительные модули, в число которых входят:

- Control Design and Simulation Module – модуль для моделирования и проектирования систем автоматического управления;
- Datalogging and Supervisory Control Module – модуль, расширяющий возможности LabView до полноценной SCADA-системы;
- PID and Fuzzy Logic Toolkit – тулkit, содержащий виртуальные приборы для создания ПИД-регуляторов и регуляторов на основе нечеткой логики;
- Simulation Interface Toolkit – тулkit, дающий возможность создания математических моделей динамических систем;
- SoftMotion Module – модуль для управления движением.

Применение перечисленных инструментов позволяет строить системы управления и модели динамических систем произвольной сложности. Разработка систем может осуществляться в пространстве состояний, с использованием передаточных функций, и на основе задания нулей и полюсов.

Рассматривая функциональные особенности АЭМК, в состав которых входит различное технологическое оборудование, можно выделить следующие основные типовые функции управления электроприводом [3]:

- управление соотношением моментов нагрузки электроприводов;
- управление скоростью и соотношением скоростей;
- управление положением или соотношением положений;
- управление соотношением скоростей и натяжений (усилий).

Исходя из данной классификации в среде LabVIEW были реализованы типовые функциональные блоки систем управления электроприводами: регуляторы (табл. 1) и блоки управления (табл. 2).

Регуляторы тока, скорости, момента, положения и натяжения имеют входы задания коэффициента регулятора β , постоянной времени регулятора τ , коэффициента датчика регулируемого сигнала k , а также входы для подключения сигнала задания регулируемой величины и сигнала обратной связи и выход для вывода выходного сигнала регулятора. Регулятор соотношения скоростей выполнен применительно к системам управления механизмов, взаимосвязанных ленточным материалом, и имеет входы задания длины участка растяжения полотна L , коэффициента жесткости полотна c , коэффициента внутреннего демпфирования полотна b , радиусов приводных валов r_1 и r_2 , входы ввода значений угловых скоростей приводных валов ω_1 и ω_2 , а также выходы вывода значения натяжения полотна F и значений $F r_1$ и $-F r_2$.

Название регулятора	Блок-диаграмма регулятора в LabVIEW
Регулятор тока (РТ)	
Регулятор момента (РМ)	
Регулятор скорости (РС)	
Регулятор положения (РП)	
Регулятор натяжения (РН)	
Регулятор соотношения скоростей (РСС)	

Название блока управления	Блок-диаграмма блока управления в LabVIEW	Пример применения блока в системах управления агрегатами [3]
Блок управления скоростью (БУС)		
Блок управления моментом (БУМ)		
Блок управления положением (БУП)		
Блок управления натяжением (БУН)		

Блок управления скоростью включает в себя блок задания скорости (ЗС), регулятор скорости, блок управления моментом – регулятор момента, блок управления положением – регуляторы положения и скорости, блок управления натяжением – включает в себя регуляторы натяжения и соотношения скоростей, датчик натяжения (ДН), также в каждый из блоков управления входят регулятор тока и передаточная функция преобразователя частоты.

Блоки управления имеют входы задания параметров и входы сигналов обратных связей для входящих в них регуляторов, вход для подключения сигнала задания управляемой величины. Выходом блоков управления является напряжение преобразователя частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суранов А. Я. LabVIEW 7: справ. по функциям. М.: ДМК Пресс, 2005.
2. Тревис Дж. LabVIEW для всех / пер. с англ. Н. А. Клушин. М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2005.
3. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учеб. для вузов. 3-е изд. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 576 с.

M. P. Belov

COMPUTER METHODS OF RESEARCH WITH VISUALISATION OF DYNAMIC PROCESSES IN THE AUTOMATED ELECTROMECHANICAL COMPLEXES

In article computer methods of research with visualisation of dynamic processes in the automated electromechanical complexes are considered, allowing to optimise process of designing, to receive visually estimations of target parametres of various offered variants of technical decisions.

Electromechanical complex, blochno-modular modelling, visualisation, LabVIEW environments



УДК 681.51, 531.383

А. М. Боронахин, Ю. А. Лукомский, А. Г. Шпекторов,
Ха Мань Тханг, Чан Танг Дык

КУРСОВЕРТИКАЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СКОРОСТНОГО СУДНА

Предложена концепция построения специализированной курсовертикали для решения задач управления движением скоростного судна с глубокопогруженными подводными крыльями. Выработаны требования к основным техническим характеристикам инерциальных чувствительных элементов.

Курсовертикаль, управление движением, скоростные суда, волоконно-оптический гироскоп, акселерометр, магнитометр

Существующие в настоящее время системы ориентации и навигации в большинстве случаев ориентируются на широкий класс водных объектов¹ [1], и позволяют решать поставленные задачи в широком динамическом диапазоне контролируемых параметров, в том числе параметров навигации. Поэтому для решения некоторых специфических задач, например измерения параметров движения судна на подводных крыльях (СПК) с глубокопогруженными крыльями (ГПК), целесообразным с точки зрения рентабельности является разработка упрощенных специализированных средств. В [1] было показано, что для обеспечения устойчивости в работе системы управления (СУ) движением СПК необходимо обеспечить точность определения углов атаки и дифферента $\pm 0.5^\circ$, а также вариаций по высоте центра масс – 0.1 м.

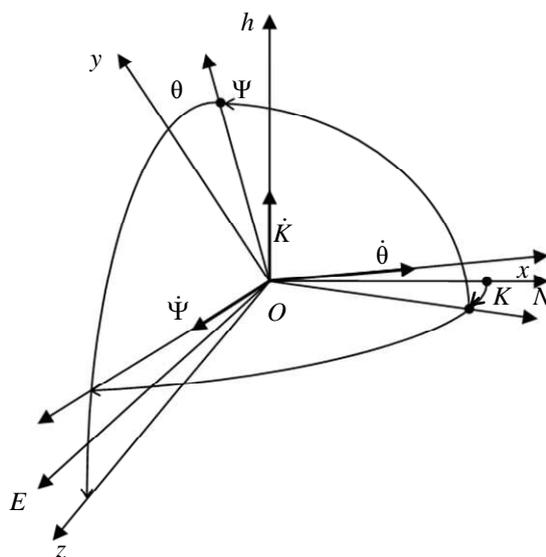


Рис. 1

¹ Сайт ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор»». <http://www.elektropribor.spb.ru/rufirset.html>.

Концепция построения системы ориентации и управления движением. Введем основные системы координат, используемые для описания принципов построения систем ориентации (рис. 1):

– географическая система координат $OENh$, пространственно сориентированная своими осями соответственно на восток, север и вертикаль места;

– приборная система координат $Oxyz$, связанная со строительными осями судна (см. рис. 2).

Взаимное положение $Oxyz$ относительно $OENh$ характеризуется углами курса K , крена θ и дифферента ψ . Как показано в работах [1] и [2], в системах управления движением СПК с ГПК используются углы атаки α и дрейфа β , характеризующие текущую пространственную ориентацию вектора линейной скорости движения относительно $Oxyz$:

$$V_x = V \cos \alpha \cos \beta; \quad V_y = V \sin \alpha; \quad V_z = V \cos \alpha \sin \beta, \quad (1)$$

а также угловые положения закрылков δ_1 и δ_2 (рис. 2).

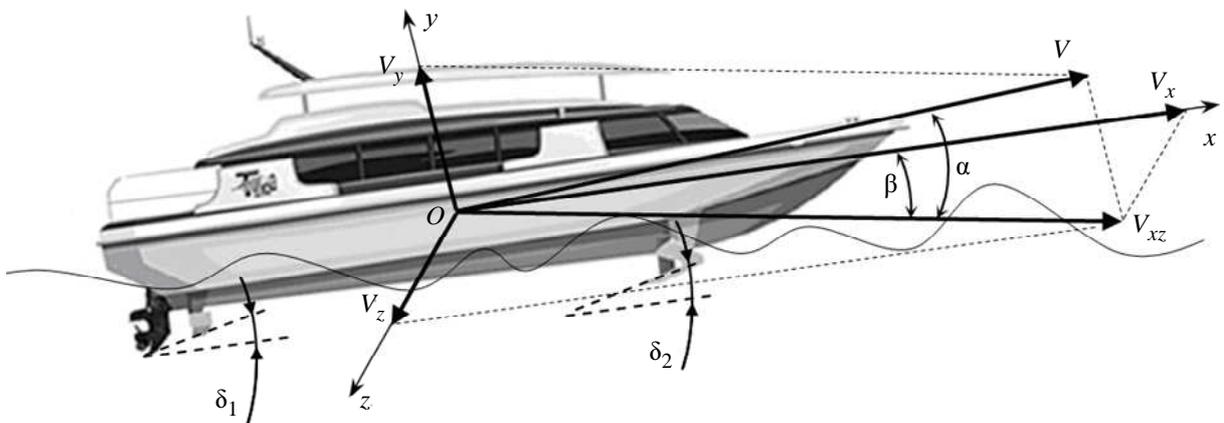


Рис. 2

Характерной особенностью движения СПК с ГПК является отсутствие волновых возмущений в крыльевом режиме, что собственно и служит обоснованием относительно невысоких требований, в первую очередь касающихся угловых перемещений вокруг оси Oz . Поэтому в предлагаемой для анализа структуре курсоверткали (рис. 3) используется только z -гироскоп, в качестве которого может выступать датчик угловой скорости (ДУС), например, волоконно-оптический гироскоп (ВОГ). Это позволяет существенным образом снизить себестоимость системы, но требует разработки специализированных алгоритмов совместной обработки данных. Анализируя полные кинематические уравнения движения объекта [3] и учитывая, что максимально достижимые скорости движения СПК на ГПК не превышают 16 м/с, получаем следующие упрощенные выражения, описывающие показания датчика угловой скорости по z -оси и трехосного блока акселерометров (БА):

$$\begin{aligned} \omega_z &= \dot{\psi} \cos \theta + \dot{K} \sin \theta \cos \psi; \\ W_x &= -g \sin \psi + \dot{V}_x; \\ W_y &= -g \cos \psi \cos \theta + \dot{V}_y + \dot{K} V_x \cos \psi \sin \theta; \\ W_z &= g \cos \psi \sin \theta + \dot{V}_z + \dot{K} V_x \cos \psi \cos \theta, \end{aligned} \quad (2)$$

где ω_z – показания ДУС; W_x, W_y и W_z – показания акселерометров; $\dot{K}V_x$ – центробежные ускорения, порождаемые угловой скоростью изменения курса на циркуляции \dot{K} и проекцией линейной скорости V_x (1), изменяющейся с ускорением V_x ; $\dot{K} \sin \theta \cos \psi$ – вклад так называемой «перекрестной связи» в показания ДУС; \dot{V}_y и \dot{V}_z – составляющие линейных ускорений, изменения которых, с учетом малости углов α и β (см. рис. 2), носят высокочастотный (вибрационный) характер; g – ускорение свободного падения.

Для решения задачи управления СПК с ГПК требований к курсовым измерениям не предъявляется, а для оценки скорости изменения \dot{K} вполне достаточным является использование трехосного блока магнитометров (БМ). Система также предполагает штатно присутствующий на борту ЛАГ – датчик линейной скорости движения ($V_{x\text{ЛАГ}}$).

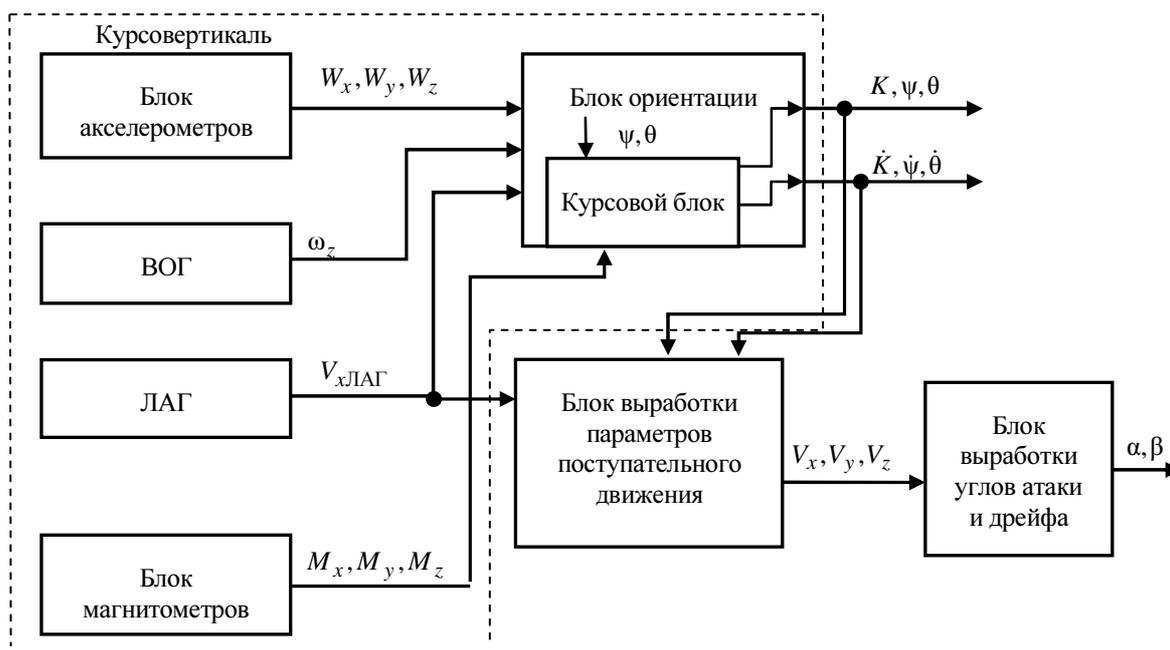


Рис. 3

На рис. 4 представлен алгоритм функционирования курсоввертикали в составе системы управления движением СПК. Отличительной особенностью предлагаемой структуры от традиционных, так называемых автономных алгоритмов-аналогов является штатное использование показаний ЛАГ в выработке информации о продольной линейной скорости движения судна V_{xi} и формирование линейного ускорения \dot{V}_{xi} (i – номер итерации). Это позволяет измерять дифферент по показаниям БА ψ_{BAi} . Однако следует учитывать как, безусловно, положительный эффект от такого варианта – отсутствие накопления погрешности во времени, так и отрицательный – достаточно узкую рабочую полосу частот (60...100 Гц), что приводит к значительному уровню случайной погрешности даже в случае полной компенсации составляющих, не вызванных проекцией вектора g . С другой стороны, ДУС, например, типа ВОГ обладает достаточной полосой пропускания (~500 Гц), но измерения $\psi_{ВОГi}$ характеризуются систематическим накоплением погрешности во времени, вызванной как его инструментальными погрешностями, так и недокомпенсацией «перекрестной связи» (2), оценка которой вырабатывается по показаниям магнитометра в курсовом блоке (см. рис. 3). Поэтому рассогласование математических ожиданий $\bar{\psi}_{ВОГ}$ и $\bar{\psi}_{БА}$ на временном интервале

(Т), определяем собственной характеристикой судна и возмущениями (в виде морских волнений), на котором можно считать, что в среднем показания акселерометра характеризуются лишь проекцией g , может быть использовано для коррекции $\Psi_{\text{ВОГ}i}$.

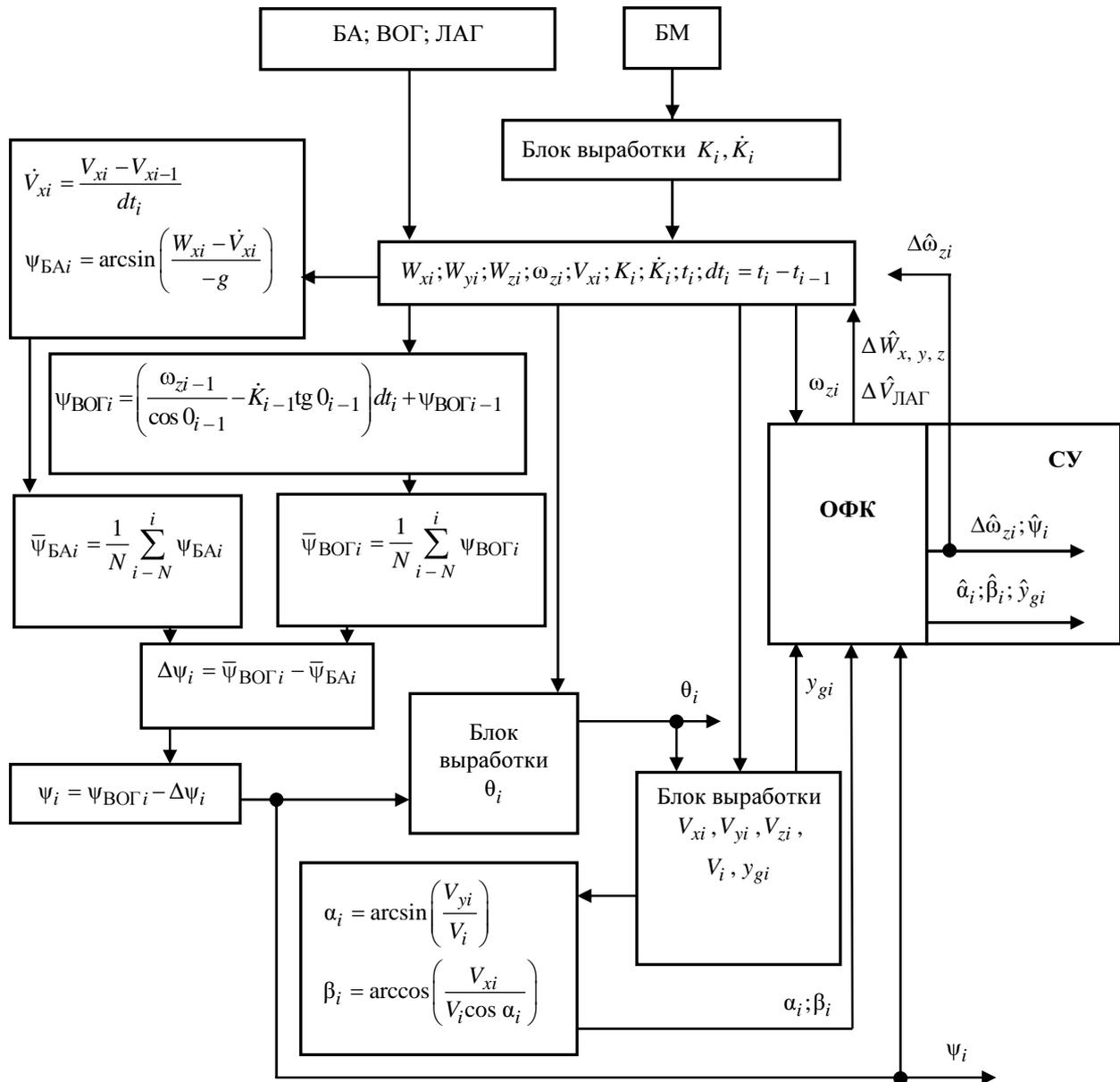


Рис. 4

Для измерений ψ_i необходимо знание θ_i (2), причем, как показывает опыт [3], для обеспечения требуемой точности достаточным является использование БА:

$$\theta_{\text{БА}i} = \arccos\left(\frac{W_{yi-1} - \dot{K}_{i-1} V_{xi-1} \cos \theta_{i-1} \cos \psi_{i-1}}{-g \cos \psi_{i-1}}\right).$$

Измерения углов α и β обеспечивается вычислениями $V_{xi}, V_{yi}, V_{zi}, V_i, y_{gi}$:

$$V_{xi} = (W_{xi} + g \sin \psi_i) dt_i + V_{xi-1};$$

$$V_{yi} = (W_{yi} + g \cos \psi_i \cos \theta_i - \dot{K}_i V_{xi} \cos \psi_i \sin \theta_i) dt_i + V_{yi-1};$$

$$V_{zi} = (W_{zi} - g \cos \psi_i \sin \theta_i - \dot{K}_i V_{xi} \cos \psi_i \cos \theta_i) dt_i + V_{zi-1};$$

$$V_i = \sqrt{V_{xi}^2 + V_{yi}^2 + V_{zi}^2};$$

$$y_{gi} = (V_{yi} \cos \psi_i + V_{zi} \sin \psi_i) dt + y_{gi-1}.$$

Таким образом, решается задача управления движением СПК с ГПК, а повышение точности, как было показано в [1], может быть достигнуто за счет использования оптимальных методов совместной обработки данных курсовертикали и, например, спутниковой навигационной системы в результате формирования не только скоростных и позиционных измерений, но и курсовых [4]. В качестве средства обработки может выступать оптимальный фильтр Калмана (ОФК) с вектором оцениваемых параметров следующего вида:

$$X = \left[\Delta \hat{\alpha} \quad \Delta \hat{\beta} \quad \Delta \hat{\psi} \quad \Delta \hat{\theta} \quad \Delta \hat{\omega}_z \quad \Delta \hat{W}_{x, y, z} \quad \Delta \hat{V}_{x, y, z} \quad \Delta \hat{y}_g \quad \Delta \hat{V}_{\text{ЛАГ}} \right]^T,$$

где «^T» – знак транспонирования.

Анализ точностных характеристик курсовертикали, учитывая, что систематические составляющие инструментальных погрешностей ВОГ и БА определяются ОФК, может заключаться в оценке нескомпенсированных составляющих погрешностей, носящих случайный характер. Пусть рабочие частоты БА характеризуются $\Delta f_{\text{БА}}$, а ВОГ – $\Delta f_{\text{ВОГ}}$, причем $\Delta f_{\text{ВОГ}} \gg \Delta f_{\text{БА}}$, а шумовые составляющие определяются их тактико-техническими характеристиками (ТТХ) $\delta W \left(\left[g / \sqrt{\Gamma_{\text{ц}}} \right] \right)$ и $\delta \omega \left(\left[(\text{рад/с}) / \sqrt{\Gamma_{\text{ц}}} \right] \right)$ соответственно. Тогда случайные погрешности единичных угловых измерений БА и ВОГ:

$$\sigma_{\psi_{\text{БА}}} = \frac{2\delta W \sqrt{2\Delta f_{\text{БА}}}}{g}, \quad \sigma_{\psi_{\text{ВОГ}}} = \sqrt{\frac{2}{\Delta f_{\text{ВОГ}}}} \delta \omega.$$

Для получения СКО оценок $\Delta \bar{\psi}_{\text{БА}}$ и $\Delta \bar{\psi}_{\text{ВОГ}}$ благодаря отсутствию взаимной корреляции в показаниях БА и ВОГ достаточно использовать известные выражения:

$$\sigma_{\bar{\psi}_{\text{БА}}} = \frac{\sigma_{\psi_{\text{БА}}}}{\sqrt{N_{\text{БА}}}}; \quad \sigma_{\bar{\psi}_{\text{ВОГ}}} = \frac{\sigma_{\psi_{\text{ВОГ}}}}{\sqrt{N_{\text{ВОГ}}}},$$

где $N_{\text{БА}}$ и $N_{\text{ВОГ}}$ – величины выборок по показаниям БА и ВОГ соответственно, причем

$$\frac{N_{\text{ВОГ}}}{N_{\text{БА}}} = \frac{\Delta f_{\text{ВОГ}}}{\Delta f_{\text{БА}}}.$$

В результате проведенных исследований разработана структура специализированной курсовертикали для управления движением судна на подводных крыльях с глубокопогруженным крыльевым комплексом. Предложены алгоритмы обработки навигационной информации, позволяющие сформировать вектор измерений кинематических параметров судна в соответствии с [1], а также произвести анализ точностных характеристик курсовертикали. В дальнейшем планируется исследование системы управления движением СПК с ГПК, интегрированной с курсовертикалью, с учетом действия внешних возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обоснование требований к системам навигации и ориентации при решении задач управления движением подвижных объектов / А. М. Боронахин, Ю. А. Лукомский, А. Г. Шпекторов и др. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. Вып. 2. С. 77–80.

2. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами. СПб.: Элмор, 1996.
3. Гупалов В. И., Мочалов А. В., Боронахин А. М. Аналитические гировертикали усеченного состава // Гироскопия и навигация. 2001. № 2 (33). С. 25–36.
4. Анучин О. Н., Емельянец Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / Под общ. ред. акад. РАН В. Г. Пешехонова. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ “Электроприбор”», 2003. 390 с.

A. M. Boronahin, Yu. A. Lukomski, A. G. Shpektorov, Ha Manh Thang,
Tcan Tang Duc

YAW-AND-VERTICAL GYRO UNIT FOR HIGH-SPEED MARINE VEHICLE MOTION CONTROL

The concept of specialized Yaw-and-Vertical Gyro Unit is suggested to provide a motion control of high-speed hydrofoil with a fully submerged foils. The basic requirements to technical characteristics of inertial sensors are developed. The concept of specialized Yaw-and-Vertical Gyro Unit is suggested to provide a hydrofoil motion control. The basic requirements to inertial sensors characteristics are developed.

Yaw-and-Vertical Gyro Unit, motion control, high speed marine vehicles, optic fiber gyroscope, accelerometer, magnetometer

УДК 681.513.6:681:513.3

Б. Я. Авдеев

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОГО КЛАССА АДАПТИВНОЙ КОММУТАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И МЕТОД АНАЛИЗА)

Рассматривается класс адаптивной коммутации сигналов в ИИС, основанный на оценке максимальной текущей погрешности аппроксимации. Предлагается метод анализа, позволяющий определить потенциально достижимый уровень повышения качества обработки измерительной информации в классе таких адаптивных ИИС.

Адаптивная и регулярная коммутация в информационно-измерительных системах, восстановление сигналов по дискретным отсчетам, погрешности аппроксимации

В многоканальных информационно-измерительных системах (ИИС) с временным разделением каналов регулярная, априори программируемая коммутация ансамбля входных сигналов предполагает жесткий алгоритм последовательности опроса каналов системы. При этом реализуется равномерная дискретизация сигналов с заранее установленной частотой, в частности, с одинаковой для всех каналов. Точность восстановления сигналов по дискретным отсчетам, как известно, во многом определяется погрешностью аппроксимации исходного сигнала.

В ИИС с адаптивной коммутацией [1] на каждом такте работы системы из множества $\{x_i(t)\}$ входных сигналов опрашивается тот сигнал, который на текущий момент «наиболее остро требует» своего опроса по выбранному критерию «активности» сигналов. Такой алгоритм обработки множества входных сигналов может быть использован в информационно-измерительной технике, в системах автоматического регулирования и управления, в биотехнических системах и т. п.

В настоящей статье в качестве критерия активности рассматривается текущая максимальная погрешность аппроксимации. В этом случае на каждом такте работы системы будет опрашиваться тот сигнал, погрешность аппроксимации которого максимальна на

множестве входных сигналов. Очевидно, что такая процедура коммутации приведет к неравномерной дискретизации сигналов и, соответственно, к изменению качества обработки и передачи сигналов в многоканальных ИИС.

Обобщенно структурная схема, реализующая рассматриваемый класс адаптивной коммутации в составе ИИС, представлена на рис. 1, где $x_i(t)$ – входные измеряемые сигналы; $y(t)$ – выходной сигнал передающей подсистемы ИИС; ППА_{*i*} – преобразователи погрешности аппроксимации; К_{*i*} – ключи коммутатора; ДПА – дискриминатор погрешностей аппроксимации, обеспечивающий выбор канала с максимальной погрешностью; КУ, СУ – кодирующее и согласующее устройства. Отметим, что такой коммутатор может иметь как аппаратную, так и программную реализацию.

Дискриминатор погрешностей аппроксимации ДПА на каждом такте работы системы по выходным сигналам $u_i(t)$ преобразователей погрешностей $\varepsilon_i(t)$ аппроксимации

$$u_i(t) = k\varepsilon_i(t),$$

где k – номинальный коэффициент преобразования, определяет сигнал с максимальной погрешностью из множества $\{\varepsilon_i(t)\}$ и подключает его через соответствующий ключ к кодирующему устройству (КУ). Для идентификации значения выходного сигнала «Инф» кодирующего устройства в структуре выходного кадра ДПА выдает сигнал «Адрес», указывающий соответствующий номер опрошенного канала. Кроме того, ДПА формирует сигнал «Синх» для обеспечения кадровой синхронизации и сигнал «Погр», позволяющий осуществить процедуру метрологического сопровождения в реальном времени (см. рис. 1).

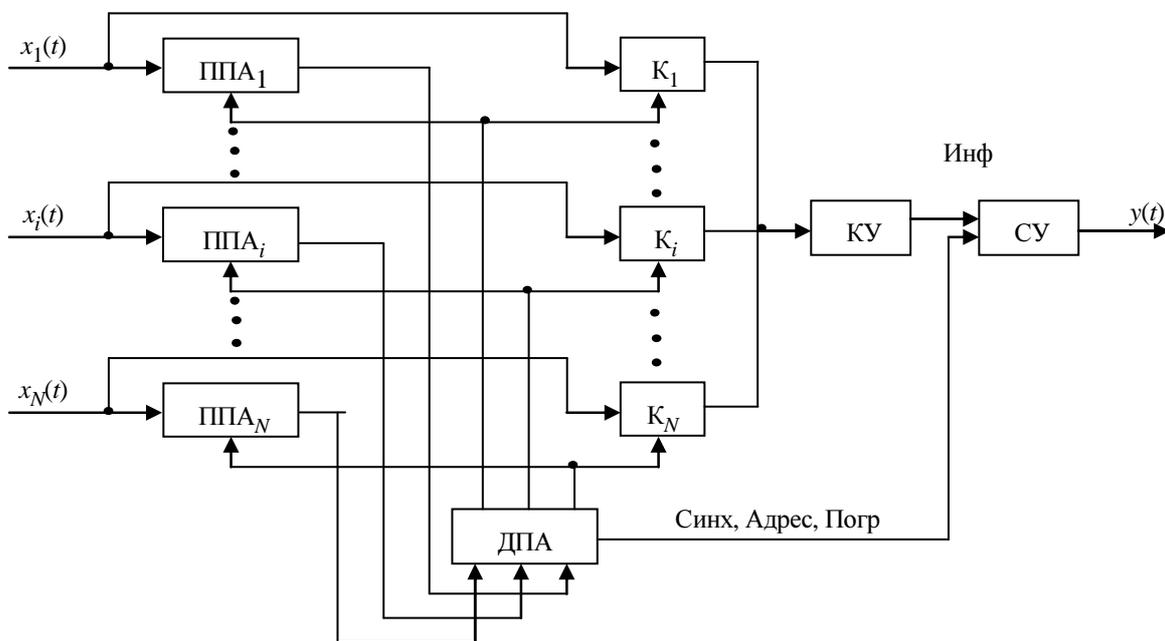


Рис. 1

Проведем анализ работы адаптивного коммутатора. На рис. 2 приведен возможный фрагмент изменения погрешностей аппроксимации в ряде каналов (i, k, c, m) при нулевой экстраполяции входных сигналов, где t_j – моменты опросов; $\varepsilon_i(t)$ – процесс погрешности аппроксимации в i -м канале. Для большей наглядности на рис. 2 рассмотрены только четыре входных сигнала.

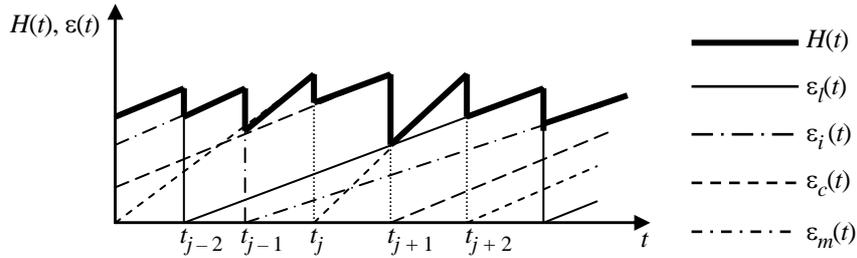


Рис. 2

Погрешность аппроксимации при адаптивной коммутации определяется погрешностью опрашиваемых каналов. Поскольку на каждом такте опрашивается канал с максимальной погрешностью, то задача сводится к определению характеристик максимальной из N канальных погрешностей аппроксимации. На рис. 2 максимальная погрешность выделена жирной линией и обозначена $H(t)$; $H(t) = \max\{\varepsilon_i(t)\}$. Законы распределения $F_H(\varepsilon)$ и $W_H(\varepsilon)$ погрешности $H(t)$ и являются искомыми функциями. При этом $F_H(\varepsilon)$ и $W_H(\varepsilon)$ являются характеристиками погрешности аппроксимации не только всего ансамбля в целом, но и каждого сигнала в отдельности, поскольку максимальные на интервалах дискретизации погрешности аппроксимации для какого-либо конкретного сигнала являются выборками таких же погрешностей для всего ансамбля в целом. Следовательно, законы распределения максимальных на интервалах дискретизации погрешностей аппроксимации в каждом канале тождественно равны $F_H(\varepsilon)$ и $W_H(\varepsilon)$, т. е.

$$F_i(\varepsilon) = F_H(\varepsilon), \quad W_i(\varepsilon) = W_H(\varepsilon).$$

Рассмотрим адаптивный коммутатор в некоторый случайный момент t . Поскольку на интервалах дискретизации погрешность аппроксимации является нестационарным, зависящим от времени случайным процессом, то в каждом i -м канале характеристики погрешности ε будут зависеть от интервала времени τ между последним опросом данного канала и рассматриваемым временем t . Обозначим закон распределения погрешности аппроксимации в i -м канале, соответствующий интервалу τ , через $F_i(\varepsilon, \tau)$. Тогда интегральный закон распределения максимальной из N погрешностей аппроксимации $F_H(\varepsilon, \tau)$ [2] будет определяться выражением

$$F_H(\varepsilon, \tau) = \prod_{i=1}^N F_i(\varepsilon, \tau). \quad (1)$$

Поскольку момент времени t случаен, интервал τ распределен равномерно внутри интервала дискретизации Δt , т. е.

$$W_y(\tau/\Delta t) = 1/\Delta t,$$

где $W(\tau/\Delta t)$ – условная плотность распределения τ .

Для адаптивной дискретизации на уровне ε погрешности аппроксимации может быть определен условный закон $W(\Delta t/\varepsilon)$ распределения интервалов Δt неравномерной дискретизации [1]. Поскольку при адаптивной коммутации ε – случайная величина с некоторой плотностью распределения $W_H(\varepsilon)$, то безусловная плотность $W(\Delta t)$:

$$W(\Delta t) = \int_0^{\infty} W(\Delta t/\varepsilon) W_H(\varepsilon) d\varepsilon.$$

Тогда безусловная плотность распределения интервала τ :

$$W(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\Delta t} W(\Delta t) d\Delta t = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\infty} W(\Delta t/\varepsilon) W_H(\varepsilon) d\varepsilon d\Delta t. \quad (2)$$

Для полиномиальной аппроксимации погрешность определяется по формуле

$$\varepsilon = M_{n+1}(\tau)^{n+1}/k,$$

где n – степень аппроксимирующего полинома; $M_{n+1}(\tau)$ – модуль $(n + 1)$ -й производной сигнала на интервале τ ; k – коэффициент, зависящий от вида и степени аппроксимирующего полинома. Из формулы следует, что при некотором фиксированном τ плотность распределения погрешности аппроксимации равна:

$$W_y(\varepsilon/\tau) = W_{M_{n+1}}(\varepsilon k/\tau^{n+1}) k/\tau^{n+1}, \quad (3)$$

где $W_{M_{n+1}}(\varepsilon k/\tau^{n+1})$ – плотность распределения модуля $(n + 1)$ -й производной сигнала.

На основании (2) и (3) и учитывая, что

$$W(\varepsilon) = \int_0^{\infty} W_y(\varepsilon/\tau) W(\tau) d\tau,$$

получим

$$W(\varepsilon) = \int_0^{\infty} \frac{W_{M_{n+1}}\left(\frac{\varepsilon k}{\tau^{n+1}}\right) k}{\tau^{n+1}} \int_0^{\infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\infty} W\left(\frac{\Delta t}{\varepsilon}\right) W_H(\varepsilon) d\varepsilon d\Delta t d\tau. \quad (4)$$

Соответствующий интегральный закон:

$$F(\varepsilon) = \int_0^{\varepsilon} W(\varepsilon) d\varepsilon. \quad (5)$$

Отметим, что закон распределения $F(\varepsilon)$ не зависит от интервала τ , поскольку он определялся на основании безусловной плотности $W(\tau)$ и, следовательно, определяет закон распределения текущей погрешности аппроксимации. Учитывая это и подставляя (4) и (5) в (1), получим:

$$F_H(\varepsilon) = \prod_{i=1}^N \int_0^{\varepsilon} \int_0^{\infty} W_i(\varepsilon/\tau) \int_0^{\infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\infty} W_i(\Delta t/\varepsilon) W_H(\varepsilon) d\varepsilon d\Delta t d\tau d\varepsilon. \quad (6)$$

Для одинаковых входных сигналов имеем:

$$F_H(\varepsilon) = \left[\int_0^{\varepsilon} \int_0^{\infty} W(\varepsilon/\tau) \int_0^{\infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\infty} W(\Delta t/\varepsilon) W_H(\varepsilon) d\varepsilon d\Delta t d\tau d\varepsilon \right]^N. \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) есть нелинейные интегродифференциальные уравнения относительно искомых функций $F_H(\varepsilon)$ и $W_H(\varepsilon)$. В общем виде аналитического решения эти уравнения не имеют. Для нахождения $F_H(\varepsilon)$ и $W_H(\varepsilon)$ были использованы численные методы решения [3] на ЭВМ в пакете прикладных программ Matlab.

Решение уравнений и анализ результатов существенно упрощаются при введении относительных (безразмерных) значений погрешности ε_a при адаптивной коммутации и времени t_a :

$$\varepsilon = \varepsilon_a / \max \varepsilon_p \quad \text{при} \quad F_{p.k} = F_{a.k}, \quad \Delta t = \Delta t_a / \Delta t_p,$$

где $\max \varepsilon_p$ – максимальная погрешность аппроксимации при регулярной коммутации ансамбля N входных сигналов с частотой $F_{p.k}$, равной частоте адаптивной коммутации $F_{a.k}$; Δt_p – шаг равномерной дискретизации сигналов при регулярной коммутации.

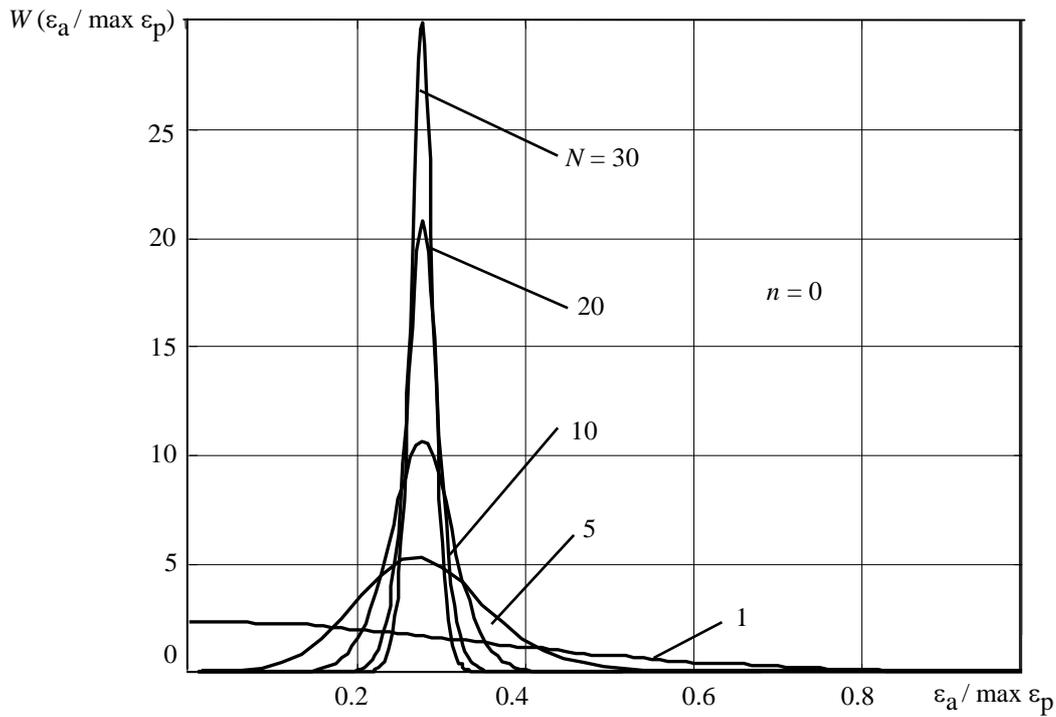


Рис. 3

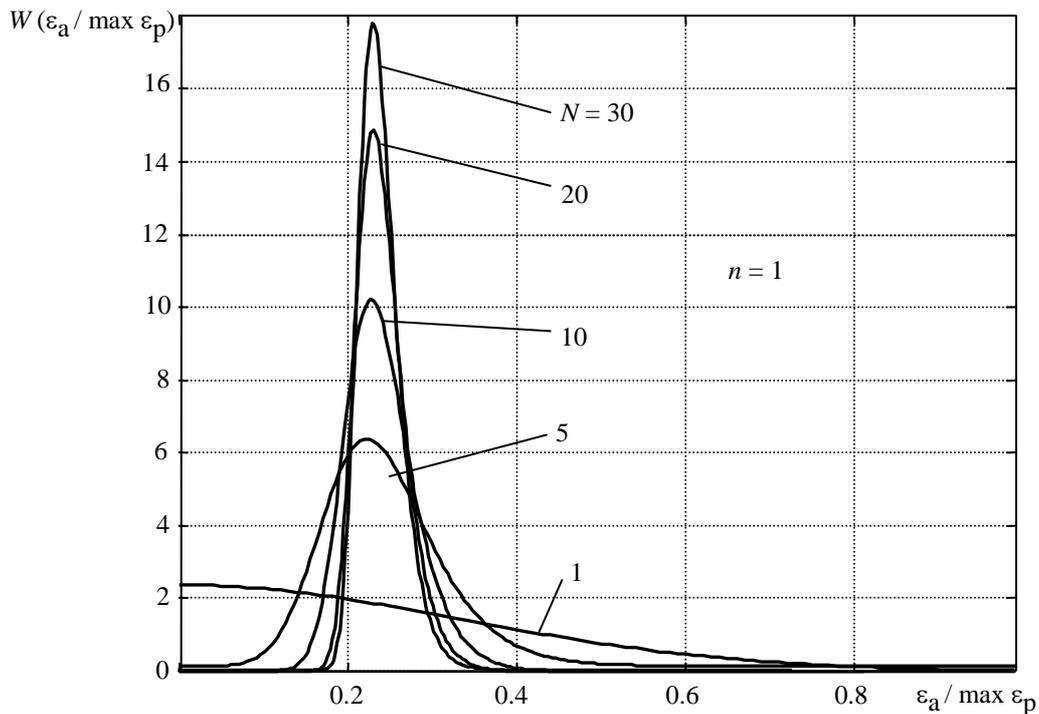


Рис. 4

Такой подход плодотворен еще и потому, что позволяет относительно просто выявить свойства адаптивной коммутации относительно регулярной коммутации при их одинаковой загрузке: одинаковых входных сигналах (по характеристикам сигналов и по их числу N) и равной частоте коммутации $F_{p.k} = F_{a.k}$.

На рис. 3 и 4 представлены плотности распределений $W(\varepsilon_a / \max \varepsilon_p)$ относительной погрешности аппроксимации при адаптивной коммутации для различного числа каналов при нулевой $n = 0$ и линейной $n = 1$ экстраполяции сигналов, полученные по предлагаемой методике.

Таким образом, предложенный метод анализа позволяет провести исследования характеристик адаптивной коммутации, основанной на текущей погрешности аппроксимации в каждом канале. Результаты анализа и предельные характеристики будут представлены в статье «Потенциальные свойства одного класса адаптивной коммутации в информационно-измерительных системах (Анализ и предельные оценки)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровые адаптивные информационно-измерительные системы / Под ред. Б. Я. Авдеева, Е. А. Чернявского. СПб.: Энергоатомиздат, 1997. 368 с.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1975. 375 с.
3. Бахвалов Н. С. Численные методы. М.: Наука, 1975. Т. 1. 258 с.

B. Ya. Avdeev

THE POTENTIAL PROPERTIES OF CLASS ADAPTIVE COMMUNICATION IN THE MEASUREMENT INFORMATION SYSTEMS (GENERAL CONCEPTS AND METHOD OF ANALYSIS)

The class of adaptive commutation of signals in measurement information systems, be based on accuracy of maximal current approximation error, are be discussed. The analysis method be allows to identify the potentially attainable improve quality of measurement information processing in the class of adaptive measurement information systems are be propositioned

Adaptive and regular communication in measurement information systems, signal recovery from sampling discrete signal, approximation errors



УДК 531/534: [57+61]

*Ю. А. Шукейло, С. А. Линник, О. В. Щеглов,
М. М. Ранков, А. А. Федоров, Г. Э. Квиникадзе,
С. Ю. Самсонов*

БИОМЕХАНИКА ОСТЕОСИНТЕЗА ПЕРЕЛОМА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

Созданы компьютерные модели системы фиксации, рассмотрены шесть вариантов остеосинтеза переломов поперечного и косоугольного под углом 45° в средней трети плечевой кости: гвоздем типа АО, стабилизированным четырьмя и тремя винтами, и пластиной типа АО. Рассмотрены варианты нагружения плеча без поддерживающей предплечья косынки и с косынкой. Проанализировано напряженно-деформированное состояние систем фиксации и сделаны выводы о стабильности фиксации отломков плечевой кости. Решения поставленных задач получены с помощью универсального метода конечных элементов в пакете SolidWork-2009.

Плечевая кость, перелом остеосинтез, системы фиксации, гвоздь, пластина, компьютерное моделирование

Переломы плечевой кости среди всех переломов длинных трубчатых костей составляют приблизительно 13,5 %. На переломы диафиза плеча приходится от 14,4 до 72 % случаев и наблюдаются они преимущественно у лиц в возрасте от 20 до 50 лет. Примерно 25 % переломов плечевой кости требуют хирургического вмешательства с применением различных систем фиксации [1].

В работе [2] обсуждаются вопросы интрамедуллярного остеосинтеза переломов плечевой кости гвоздем. Отмечается менее инвазивный доступ, меньшее повреждение тканей. Сравниваются варианты систем фиксации с разной степенью стабилизации гвоздя.

Работа [3] посвящена изучению влияния различных методов замещения утраченного фрагмента на стабильность фиксации пластиной перелома плечевой кости.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния системы фиксации диафизарного перелома плечевой кости пластиной проведено [4] для варианта активной разработки плечевого сустава с учетом состояния регенерата мозоли и работы дельтовидной и клювовидной мышц плечевого пояса.

Компьютерное моделирование сложных систем фиксации позволяет проанализировать и дать оценку их состояния на каждом из этапов сращения перелома, что часто невозможно сделать другими методами.

В данной работе выполнено исследование биомеханики систем фиксации прямого и косо́го диафизирных переломов плечевой кости гвоздем АО и на́костной пластиной АО. Дается оценка жесткости систем фиксации.

Материалы и методы. Исследовались задачи, возникающие при реабилитации больного после проведения операции остеосинтеза гвоздем или пластиной прямого и косо́го переломов в диафизарном отделе плечевой кости. Больному предлагается поднимать и опускать руку, согнутую в локтевом суставе при отведении плеча на угол 10° . Подъем руки может выполняться как без поддержки, так и с поддержкой предплечья косынкой, фиксированной на шее.

Ставится задача оценки стабильности систем фиксации перелома гвоздем стабилизированным тремя или четырьмя винтами и пластиной типа АО.

По томографическим срезам плечевой кости человека была создана 3D (объемная) компьютерная модель кости. 2D (плоские) срезы были получены с помощью томографа (Siemens Somatom Emotion™, Berlin-Munich, Germany) и записаны программой DICOM.

Затем были построены трехмерные компьютерные модели гвоздей с четырьмя и тремя отверстиями под винты, пластины и винтов. Размеры гвоздя винтов и пластины выбирали из каталога.

Длина гвоздя для остеосинтеза плечевой кости была принята 230 мм и диаметр – 8 мм. Диаметр винтов для фиксации гвоздя – 3,5 мм. Пластина имела 8 эллиптических отверстий, длину 135 мм, ширину – 12 мм и толщину – 8 мм. Диаметр винтов для фиксации пластины – 4,5 мм.

Были смоделированы остеотомии плечевой кости – поперечная и косая под углом 45° . Между отломками предусмотрен диск толщиной 0,5 мм, моделирующий регенерат, свойства которого задавались.

Далее были созданы компьютерные модели остеосинтеза отломков плечевой кости с помощью гвоздя и пластины (рис. 1, *a–e*).

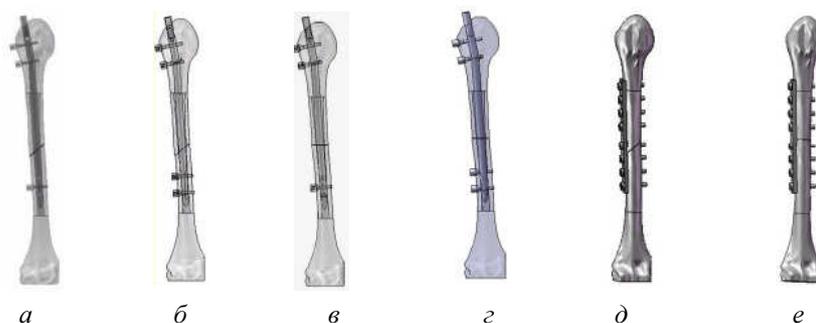


Рис. 1

Размеры сегментов руки были определены для человека ростом 180 см и массой 80 кг. Длина кисти равна 193 мм, предплечья – 250 мм и плеча – 300 мм. Расстояние от центра масс кисти до лучезапястного сустава составляет 36,9 % от длины кисти – 71,2 мм. Расстояние от центра масс предплечья до локтевого сустава равно 42,74 % от длины предплечья – 106,8 мм. Масса звеньев руки определена из уравнения регрессии [5] $m_k = 0,4865$ кг, $m_{п/пл} = 1,269$ кг.

На рис. 2, *a* показана расчетная модель руки расстояния $L_1 + L_2 = 32,1$ см, $L_1 = 10,68$ см, $L_3 = 300$ см. Силы P_1 и P_2 определены по формуле $P = mg$, где g – ускорение свободного падения.

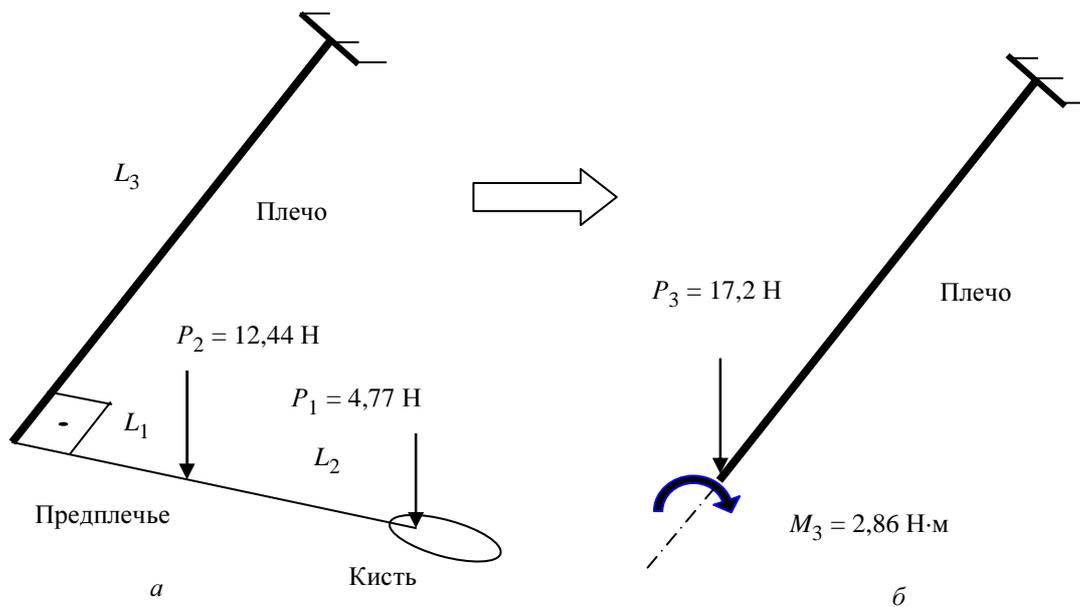


Рис. 2

На рис. 2, б приведена расчетная модель плеча, в плечевом суставе предполагается жесткое закрепление.

Результат приведения сил, действующих со стороны кисти и предплечья на плечо, представлен на рис. 2, б. На плечо передается сила $P_3 = P_1 + P_2 = 17,2 \text{ Н}$ и момент $M_3 = P_1(L_1 + L_2) + P_2 L_2 = 2,86 \text{ Н}\cdot\text{м}$, вызывающий кручение плеча.

В случае если для поддержки руки используется косынка, расчетная модель нагружения плечевой кости изменяется (рис. 3). Появляется дополнительная опора B (рис. 3, а). Действующие силы не создают скручивающего момента, а значение силы P_3 , которая деформирует плечевую кость, определяется из уравнения равновесия системы предплечье–кисть

$$\sum M_B(P_i) = 0, \quad P_1 \cdot 16 - P_2 \cdot 5,32 - P_3 \cdot 16 = 0 \Rightarrow P_3 = 1,19 \text{ Н}.$$

Расчетная модель плечевой кости после приведения сил со стороны кисти и плеча показана на рис. 3, б.

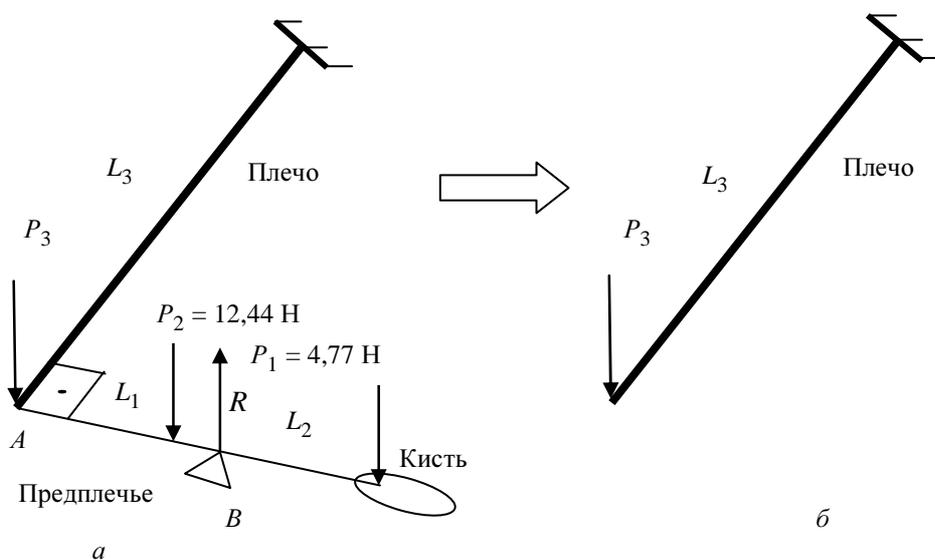


Рис. 3

Косынка снижает риски при разработке плечевого сустава во время реабилитации больного. Этот случай, как неопасный, в дальнейшем не рассматривается.

Из множества положений руки во время подъема и опускания выбираем наиболее опасное, когда согнутая под прямым углом в локтевом суставе рука находится на уровне плечевого сустава в плоскости, параллельной трансверсальной. Жесткое закрепление проксимального отдела плечевой кости в плечевом суставе в этот момент оправдано, поскольку в плечевом поясе руку удерживают 23 мышцы [6].

Материал костной ткани (компактной и спонгиозной, хрящевой) принимается упругим, деформируемым, однородным и сплошным. Аналогичное предположение сделано и относительно титанового сплава гвоздя, пластины и винтов. Это дает возможность описать напряженно-деформируемое состояние костной ткани с помощью системы уравнений механики деформируемого твердого тела.

Физико-механические свойства костной ткани и титанового сплава выбраны из литературных источников и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры	Сплав титана VT6	Компактная костная ткань	Спонгиозная костная ткань	Хрящевая ткань
Модуль нормальной упругости E , ГПа	110	16,20	0,60	0,13
Коэффициент Пуассона ν	0,33	0,33	0,33	0,40
Плотность ρ , кг/м ³	4700	2000	500	1200
Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	900	170	10	9,80
Предел текучести σ_T , МПа	700	–	–	–

Анализ напряженно-деформированного состояния систем фиксации проведен для момента появления в мозоли спонгиозной кости.

Предполагается, что материал мозоли – диска толщиной 0,5 мм – между отломками, моделирующий регенерат, может соответствовать свойствам растущих тканей мозоли – хрящевой, спонгиозной.

В качестве критерия оценки прочности фиксации принято наибольшее значение эквивалентного напряжения, возникающего в костной ткани при физиологическом нагружении плеча массой кисти и предплечья.

Жесткость фиксации отломков кости определяется значением наибольших перемещений, возникающих в элементах системы фиксации. Поэтому при сравнении свойств систем фиксации необходимо учитывать и наибольшие полные перемещения точек их звеньев.

Исследование геометрически сложных систем фиксации переломов возможно только численным методом. В настоящее время в различных отраслях науки широко применяется метод конечных элементов. Анализ каждой из построенных моделей систем фиксации (рис. 1) при условиях нагружения и закрепления по схеме (рис. 2, б) проведен в пакете программ Simulation, интегрированном в SolidWork. В пакете программ рассчитываются напряжения в материале звеньев системы фиксации, а также перемещения точек систем фиксации. Пакет реализует метод конечных элементов и при использовании тетраэдральных элементов позволяет в геометрически сложных системах с высокой точностью получать значения напряжений и перемещений.

Подводя итоги, можно сказать следующее. Проведен анализ полученных результатов, которые сведены в табл. 2.

Эквивалентные напряжения, отмеченные в табл. 2 символом (*), относятся к звеньям системы фиксации, выполненным из титанового сплава.

Во всех системах фиксации (табл. 2) материал мозоли – спонгиозная костная ткань, кроме случая (**), когда он моделируется хрящевой тканью.

Таблица 2

Система фиксации и тип перелома	Наибольшие эквивалентные напряжения, МПа			Полное перемещение точек дистального сечения, мм
	В системе фиксации	В компактной костной ткани ($\sigma_{\text{опас}} = 170 \text{ МПа}$)	В материале мозли ($\sigma_{\text{опас}} = 10 \text{ МПа}$)	
 Косой, 45°	123,7	123,7	17,3	9,89
 Косой, 45°	108,8	108,8	15,9	9,84
 Поперечный**	137,4*	62,7	9,6 (97,8 % от опасного)	10,3
 Поперечный	119,4*	35,5	19,9	10,4
 Косой	234,0*	18,7	13,2	8,2
 Поперечный	233,5*	20,3	13,0	7,75

Анализ результатов расчетов биомеханического состояния систем фиксации показывает следующее:

1. Наибольшей жесткостью обладают системы фиксации перелома пластиной, поскольку полные перемещения в этих системах на 20 % меньше, чем при фиксации гвоздем.

2. Эквивалентные напряжения в компактной костной ткани при фиксации перелома пластиной в 2–5 раз меньше, чем при фиксации гвоздем.

3. При фиксации перелома и гвоздем и пластиной напряжения в материале спонгиозной костной ткани, моделирующей мозоль толщиной 0,5 мм, превышают опасные значения напряжений в первом варианте фиксации приблизительно на 70 % и во втором – на 30 %.

4. При фиксации поперечного перелома гвоздем и четырьмя винтами напряжения в материале хрящевой костной ткани, моделирующей мозоль толщиной 0,5 мм, составляют 97,8 % от опасного значения.

5. Пластина в системе фиксации воспринимает большую часть силового воздействия, снижая напряжения в костной ткани.

6. Опасным звеном в течение периода реабилитации является созревающая мозоль. В каждом варианте фиксации эквивалентные напряжения в мозоли больше опасных значений. Поэтому во время реабилитации больного необходимо использовать косынку для уменьшения этих напряжений и проявлять разумную осторожность.

7. Опасным силовым воздействием является момент, вызывающий кручение системы фиксации плеча. Для варианта 1 (табл. 2) наибольшее напряжение в компактной костной ткани составляет $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 123,7$ МПа при нагружении системы фиксации силой и моментом. Если систему нагрузить только моментом, то $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 108,0$ МПа. Если систему фиксации нагрузить только силой, то $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 15,7$ МПа. Поэтому при реабилитации рационально использовать поддерживающую косынку, препятствующую кручению плеча.

8. Системы фиксации гвоздем и пластиной имеют право на применение, но система фиксации пластиной более предпочтительна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповалов В. М., Хомянец В. В., Михайлов С. В. Основы внутреннего остеосинтеза (Сер. «Библиотека врача-специалиста»). СПб.: Гэотар-Медиа, 2009. 240 с.
2. Intramedullary Nailing of Humeral Head and Humeral Shaft Fractures / J. Blum, R. Engelmann, R. Kuchle et al. // Eur. J. Trauma Emerg. Surg. 2007. №. 2. P. 149–158.
3. Plate Fixation of Ununited Humeral Shaft Fractures: Effect of Type of Bone Graft on Healing / C. Hierholzer, D. Sama, J. B. Toro et al. // J. of Bone & Joint Surgery. 2006. Vol. 88-a, № 7. P. 1442–1447.
4. Шукейло Ю. А., Хомутов В. П., Харлан П. А. Моделирование остеосинтеза перелома плечевой кости // Биомеханика–2008: IX Всерос. конф. по биомеханике: Тез. докл. Н. Новгород: ИПФ РАН, 2008. С. 247–248.
5. Бегун П. И., Шукейло Ю. А. Биомеханика: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2000. 468 с.
6. Karlsson D. Force distributions in the human shoulder. Gotebore: Chalmers University of Technology, 1992.

*Y. A. Shukeylo, S. A. Linnik, M. M. Rankov, O. V. Scheglov, A. A. Fedorov,
G. E. Kvinikadze, S. Y. Samsonov*

BIOMECHANICS OSTEOSYNTHESIS FRACTURES OF THE HUMERUS

Computer model of the fixation system are created. Six different osteosynthesis models of the humeral bone fracture using the nail AO and plate AO are considered. The stress-strain state of the fixation systems is defined. Conclusion about the humeral bone fragments fixation is done. Finite elements method is used for the solution obtaining.

Humeral bone, fracture, osteosynthes, system fixation, nail, plate, computer simulation



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 378.14+004.5

Е. Е. Котова

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ

Рассматривается развитие систем управления обучением, существующие стандарты, возможности использования облачных технологий.

Управление обучением, распределенные информационные ресурсы, облачные технологии, учебный процесс, инновационная деятельность преподавателя, дидактические стратегии

Потребности развивающегося рынка труда влияют на изменения и определяют перспективы образовательных технологий, ориентированных на подготовку специалиста, критерием качества которого становятся не оценки в дипломе выпускника, а его успехи в профессиональной деятельности. Многообразие форм и средств интеллектуализации менеджмента образования предоставляет достаточные возможности для реализации необходимых функций процесса обучения.

Однако, несмотря на широко представленные на рынке многофункциональные электронные учебные комплексы, которые позволяют организовывать разнообразные формы деятельности обучаемых (работу с информацией; моделирование объектов, процессов; виртуальные лаборатории; диагностику уровня знаний; контроль результатов деятельности и др.), средства для реализации функций интеллектуализации менеджмента учебного процесса (таких как текущий динамический анализ процесса обучения, прогнозирование результатов, корректировка процесса, выбор дидактических стратегий) разработаны недостаточно.

Представим в табл. 1 системы управления обучением, которые можно встретить в англоязычной литературе.

Таблица 1

Обозначение	Название	Перевод
LMS	Learning Management System	Система управления обучением
CMS	Course Management System	Система управления курсами
LCMS	Learning Content Management System	Система управления содержимым обучения
MLE	Managed Learning Environment	Оболочка для управления обучением
LSS	Learning Support System	Система поддержки обучения
LP	Learning Platform	Образовательная платформа
VLE	Virtual Learning Environments	Виртуальная среда обучения
PLE	Personal Learning Environments	Персональная учебная среда

Наиболее распространенными являются LMS и CMS¹.

Несмотря на то, что первое поколение систем управления обучением позволяло пользователю, не владеющему навыками программирования, без особых усилий создавать обучающий продукт (используя готовые шаблоны и структуры), программы невозможно было использовать без программного обеспечения, в котором они были созданы. Учебное наполнение, содержание и программная система были сильно взаимосвязаны.

Второе поколение систем позволило перейти к Интернет-обучению, но также разрабатываемые системы были вначале неотделимы от программ разработчиков.

Следующее поколение систем позволило решить проблему благодаря разработке модели обмена учебными материалами SCORM (Sharable Content Object Reference Model) и улучшению разработанных ранее стандартов и спецификаций. SCORM позволяет представлять и упорядочивать образовательные ресурсы стандартов дистанционного образования, разрабатывать новые модели оценки знаний.

Проведенный опрос (среди профессорско-преподавательского состава²) позволил выделить значимые задачи (помимо технологических и стратегических) в развитии систем до 2015 г.: развитие систем создания курсов и авторских инструментариев, оценочных систем достижений студентов, способов обучения, образовательных подходов в инновационной обучающей среде, сервисных служб для преподавателей и студентов, коммуникационных технологий. Особое внимание уделяется разработкам электронных образовательных ресурсов (ЭОР, контентов). Отмечается, несмотря на разработку отдельных, достаточно эффективных ЭОР, слабая проработка содержательных аспектов обучения; «огромный разрыв между сформировавшейся технической инфраструктурой и наличием образовательного контента»; отсутствие комплектов ЭОР, «покрывающих хотя бы какие-то определенные учебные дисциплины»; не полное соответствие образовательному стандарту по конкретным дисциплинам. В то же время многообразие программных решений настолько сверхбыстро обновляется, что преподаватели, не являющиеся в большинстве своем профессионалами в области разработок программных продуктов и имеющие свои профессиональные обязанности, просто не могут их освоить.

Интеграция ЭОР в систему управления учебным процессом – систему LMS (Learning Management Systems) представляет собой проблему, решать которую необходимо с учетом ряда международных стандартов (к числу которых, например, относится SCORM).

Критика систем LMS в публикациях в основном касается слишком формального характера систем, недостаточной гибкости и невозможности учащимся управлять процессом обучения³.

В настоящее время противоречие между традиционностью образовательной сферы и развивающимися и внедряющимися инновационными технологиями активизирует процесс преобразования педагогических систем и организации инновационно-педагогической деятельности преподавателя.

Многими авторами отмечается, что в современных разработках актуальными являются задачи моделирования инновационной профессиональной деятельности специалистов в педагогическом процессе; разработка прогрессивных технологий обучения и их

¹ Богомолов В. А. Обзор бесплатных систем управления обучением. URL: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v10_i3/html/9_bogomolov.htm.

² E-learning-образование: стратегические перспективы на 2008–2015 годы. URL: <http://www.curator.ru/e-learning/publication33.html>.

³ <http://distance-learning.ru>.

внедрение в образовательный процесс кафедр, факультетов и университета в целом; комплексная автоматизация всех управленческих процессов с применением современных информационно-компьютерных технологий.

Профессиональная деятельность преподавателя, обусловленная многочисленными нормативными документами о высшей школе, требует мобильности в подготовке обучающих материалов; адаптации фрагментов содержания образования к меняющимся условиям; владения компонентами научного исследования, позволяющими проводить анализ фактов конкретных процессов, связанных с ними знаний; выявления противоречий; выдвижения гипотез дальнейшего развития; рефлексии результатов, причин и корректирующих действий. Авторы [1] особенно отмечают важность «неразрывного единства педагогической и научно-исследовательской деятельности в вузовском научно-образовательном пространстве и проектирования конкретных форм реализации такого единства в собственной профессиональной деятельности». В то же время отмечается сложность и трудоемкость этапа проектирования учебного процесса для преподавателя с применением новых информационных технологий, в частности, дистанционных форм обучения [2]. В [3] отмечается обилие и даже «некоторая противоречивость различных терминов» индустрии электронного обучения: e-Learning, CBT (Computer-Based Training), TBT (Tele-Based Training), WBT (Web-Based Training), On-line Learning, Distance Learning, Blended Learning, Distributed Learning, Mobile Learning.

Технологии и инструменты для создания образовательных web-сайтов, курсов, электронных учебников постоянно развиваются и требуют для их понимания высококвалифицированных знаний стандартов, технологий, технических средств, программных продуктов. Наиболее полная информация с рекомендациями по выбору технологий и инструментов для разработки проектов электронного обучения представлена в [3]. Даже при достаточном овладении преподавателем средствами компьютерных и Интернет-технологий чаще всего требуется помощь программистов, специалистов по мультимедиа, дизайнеров, методистов-разработчиков, программных администраторов для проектирования, организации и проведения учебного процесса.

За последние годы в образовании накоплен огромный потенциал инноваций, касающихся организации учебного процесса, форм и методов преподавания, оценивания результатов обучения. Но несмотря на это, существование двух стратегий организации обучения: традиционной и инновационной, как отмечают многие авторы, является значимой особенностью современной системы образования.

Нами был проведено анкетирование на тему отношения преподавателей вузов к внедрению в учебный процесс инновационных технологий. Участники опроса – преподаватели (ассистенты, доценты, профессора – 40 человек) СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб ГПИМА, СПбГУ. Результаты опроса показывают различия в отношении преподавателей к применению инновационных методов и средств в своей преподавательской деятельности. Примерно половина опрошенных респондентов считают необходимым применение инновационных методов наравне с сохранением традиционных методов преподавания. Этот опрос, а также собственный многолетний опыт и проведение бесед и детальных обсуждений с коллегами-преподавателями позволили нам сделать вывод о том, что при конструировании системы управления учебным процессом необходимо поддерживать соединение виртуального и реального образовательного пространства. Реализация поставленной задачи возможна с применением так называемых «облачных технологий» («облачных вычислений»), активно развивающихся в настоящее время.

Термин cloud computing («облачные вычисления») употребляется с 2008 г. Многими авторами отмечается терминологическая несогласованность данных понятий, множественность определений термина «облачные вычисления»¹.

Во-первых, термин «облако» часто используется как метафора Интернета. Во-вторых, как и термин web (World Wide Web), термин «облачные вычисления» обозначает системный эмерджентный, синергетический эффект от совместного применения множества новых информационных технологий и систем в построении информационных (ИТ) инфраструктур организаций [4].

Синергия, синергетический эффект (от греч. synergós – вместе действующий) обозначает возрастание эффективности деятельности в результате соединения, интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет так называемого системного эмерджентного эффекта, при котором возникают эмерджентные качества, свойства системы, не присущие ее элементам в отдельности, а возникающие благодаря объединению этих элементов в единую, целостную систему [5].

Авторы [6] отмечают активное развитие технологии, «получившей название “облачные вычисления”». Облачные технологии в последнее время получили серьезное развитие. Отдельные концепции данных технологий постепенно специализируются и формируются в виде законченных продуктов.

Это технологии распределенной обработки данных, в которых программные, компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как Интернет-сервисы. Рабочие данные постоянно хранятся на виртуальных серверах в так называемом «облаке» и временно используются пользователями на любых компьютерах клиентской стороны.

Дж. Риз выделяет следующие критерии для определения облачного сервиса: облачный сервис доступен через web-браузер или прикладной программный интерфейс (API – Application Program Interface); оплата пользователем производится только за используемые ресурсы; для ознакомления с ресурсом не требуется никакой оплаты [7], [8].

Дж. Говернор перечисляет условия, которым должен удовлетворять облачный сервис: не предлагается продажа технических средств (hardware); существует прикладной программный интерфейс к сервису; не требуется изменять архитектуру информационно-вычислительной системы организации для использования сервиса; требуется не более 10 мин для настройки сервиса; остается неизвестным, где располагаются компьютеры; не требуется указывать количество компьютеров; возможна работа на нескольких операционных системах; не требуется установка дополнительного программного обеспечения для его использования².

По данным, представленным аналитиками Gartner Group, в течение 5–7 лет большая часть информационных технологий переместится в «облака», объем рынка облачных вычислений достигнет 200 млрд дол. к 2015 г. Главными поставщиками облачных вычислений в настоящее время названы компании: Amazon, Microsoft, Google, IBM, HP, NEC и др.³ Различают несколько видов облачных технологий (табл. 2) [4].

¹ <http://distance-learning.ru>.

² Governor J. 15 Ways to Tell Its Not Cloud Computing. URL: <http://www.redmonk.com/jgovernor/2008/03/13/15-ways-to-tell-its-not-cloud-computing/>.

³ Plummer D. C. Cloud Computing Confusion Leads to Opportunity. URL: <http://www.gartner.com>.

Обозначение	Название	Перевод
IaaS	Infrastructure as a service	Инфраструктура как сервис
SaaS	Software as a service	Программа как сервис
PaaS	Platform as a service	Платформа как сервис
DaaS	Data as a service	Данные как сервис
WaaS	Workspace as a service	Удаленное рабочее место (пространство) как сервис
CaaS	Communication as a Service	Коммуникация как сервис
MaaS	Monitoring as a Service	Мониторинг как сервис

Технологии SaaS и PaaS предоставляют пользователю программные компоненты, тогда как остальные технологии – аппаратное обеспечение, серверы, сети и др. Однако авторы [9] отмечают, что ни одна из представленных на рынке сред «не ориентирована на интеллектуальные системы, т. е. не снабжена специализированной функциональностью для поддержки разработки и сопровождения связанных с ними информационных ресурсов (баз знаний, данных, онтологий) и их использования; не имеет специализированных средств управления интеллектуальными системами».

Несмотря на то, что отмечается быстрый рост объема рынка облачных технологий¹, анализ работ и публикаций в педагогической сфере показал малоизученность использования облачных сервисов в образовательном процессе вузов, так как при изначальной разработке этих сервисов не учитывалась образовательная специфика.

Образовательные учреждения имеют уникальные потребности, различные внутренние технологии преподавания, условия учета успеваемости, правила проведения экзаменов и т. д.

Облачные технологии существенным образом могут расширить возможности потребления информации и предоставления информационных услуг в сфере образовательных технологий в сторону мобильности и открытости.

В качестве примера можно назвать Docebo e-Learning² – систему дистанционного обучения, функционирующую как SaaS в облачной среде Google Apps. Docebo e-Learning включает электронные курсы в соответствии со стандартом SCORM, тесты, чат, форум, систему печати отчетов и сертификатов, статистику, поддержку мобильных приложений. Использование Docebo e-Learning не требует предварительной установки программного обеспечения и предполагает регистрацию в сервисе Google Apps.

SaaS должны обладать следующими свойствами:

- доступность посредством web-браузера (Availability via a web browser);
- доступность в любое время при возникновении необходимости в сервисе (On-demand availability);
- оплата только по фактическому использованию сервиса (Payment terms based on usage);
- минимальные требования к уровню подготовки специалиста по информационным технологиям (Minimal IT demands);
- предоставление сервисов по требованию (On-demand).

Примером сервисов является Safari® Books On-line – виртуальная библиотека книг on-line³. Доступно чтение (просмотр) книг в Интернет-сети в режиме on-line без скачивания на компьютер пользователя. Минимальная оплата 10 дол. гарантирует on-line доступ в

¹ Plummer D. C. Cloud Computing Confusion Leads to Opportunity. URL: <http://www.gartner.com>.

² <http://www.docebo.com>.

³ <http://my.safaribooksonline.com>.

месяц к 10 электронным ресурсам (35 дол. – неограниченный доступ): книгам, видеоматериалам и обучающим материалам (tutorial) от таких издательств, как O'Reilly, Peachpit, Prentice Hall, Microsoft Press, Apress, Manning и др.

Свойство самоорганизации (self-organization) в облачной системе дистанционного обучения проявляется в самореконфигурации и самообучении.

Самореконфигурация – отличительное свойство облачных хранилищ данных [10]. В отличие от традиционных центров хранения данных (data center), в которых добавление или освобождение ресурсов по требованию пользователей осуществляется в автоматизированном режиме, в облачных хранилищах свойство эластичности (elasticity) или высокомасштабируемости (high scalable cloud data storage) реализуется в автоматическом режиме.

Основной особенностью самоорганизующихся систем является способность к функционированию в условиях ввода в работу новых и вывода из строя действующих агентов без остановки всей системы. Причинами изменения состава агентов являются: необходимость их функционального наращивания и модернизации; требование повышения производительности обработки запросов; нарушения в функционировании программных и аппаратных компонентов.

Для координации деятельности в области стандартизации облачных технологий в 2008 г. был создан консорциум открытых облачных технологий (Open Cloud Consortium – OCC)¹. Также существует международный форум для разработчиков информационных систем на основе облачных технологий и сервисов (Cloud Computing Interoperability Forum – CCIF)².

Одним из компонентов облачной среды управления учебным процессом является распределенная система дистанционного обучения.

Современная методология создания распределенных систем дистанционного обучения основана на декомпозиции процессов на метаданные, модули управления последовательностями и навигацией, пакеты и ресурсы, реализованной в рамках методологии проектирования, ориентированной на управление знаниями и создание базы знаний на основе стандартов ADL, LOM, SCORM, OWL и др.

Развитие электронного обучения и интерес к нему со стороны учебных заведений, правительства и коммерческих организаций обусловило начало ADL Инициативы (Advanced Distributed Learning – продвинутое распределенное обучение)³.

Разработана технология управления учебным процессом на основе подхода, называемого Software as a service (SaaS) («Программное обеспечение как услуга») или Software on Demand (SoD) («Программное обеспечение по требованию»), в основе которого лежит модель программного обеспечения среды управления учебным процессом с применением агентного подхода (что является особенностью данной технологии). Технология основана на модели web-приложения, доступного через web-браузер, причем пользователь не должен заботиться о том, где расположен сервер сервиса, какая операционная система используется, на каком языке реализован сервис (PHP, Java, NET или др.), не требуется дополнительная установка какого-либо программного обеспечения сервиса.

¹ www.opencloudconsortium.org.

² www.ccif.org.

³ Богомолов В. А. Обзор бесплатных систем управления обучением. URL: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v10_i3/html/9_bogomolov.htm.

При помощи данной технологии преподаватель, пользуясь инструментами готовых компонентов, разрабатывает в данной среде web-приложение и самостоятельно управляет им, предоставляя студентам доступ к обучающей среде (программному обеспечению среды управления учебным процессом) через Интернет.

Принципы разработки следующие:

1. Удобство использования. Является важным параметром разрабатываемой системы. Потенциальные пользователи не станут использовать технологию, которая им покажется громоздкой, будет сложна для освоения и навигации. Технология работы с системой должна быть интуитивно понятной, позволять просто переходить от одного раздела к другому, находить меню помощи, реализовывать легкость модификаций и оперативность взаимодействий и общения.

2. Удобство администрирования. Простота и открытость программного обеспечения, обеспечивающего максимальную «педагогическую поддержку». Преподаватели не должны тратить время на изучение руководств, описаний, указаний по проектированию, генерации курсов, заданий, тестов и т. д.

3. Поддержка совместимости. Возможность использовать один и тот же учебный материал в различных системах управления обучением.

4. Модульность. «Переносимость» объектов знаний из одного курса в другой в соответствии со структурой логических взаимосвязей дисциплин.

5. Обеспечение доступа. Адаптивность интерфейса, например, для пользователей с ослабленным зрением и другими особенностями.

Основные преимущества нашей модели среды управления учебным процессом с применением агентного подхода (на основе SaaS) состоят:

- в интеграции распределенных информационных ресурсов в единый комплекс;
- гибкости настройки системы на новые обучающие курсы;
- поддержке коллективной работы в виртуальной среде с применением типовых педагогических технологий (проведение практических, лабораторных, зачетных и др. работ);
- поддержке интерактивных технологий взаимодействия обучающихся;
- использовании технологий визуализации;
- оперативности и мобильности получения результатов в ходе учебного процесса;
- реализации функции прогнозирования результатов процесса обучения;
- коммуникативности обучающей среды (соединение виртуального и реального образовательного пространства, взаимодействие преподавателя и студента с учетом индивидуальных обучающих траекторий, применение гибких дидактических стратегий и приемов);
- повышении мотивации студентов и интереса к учебному процессу.

Основное достоинство модели – управление процессом обучения на основе текущих результатов мониторинга и прогнозирования итоговых результатов с выбором управляющих дидактических стратегий.

На рис. 1 представлена интегрированная структурно-функциональная модель системы управления процессом обучения, которая является основой системы управления процессом обучения и реализуется программным агентом-координатором в облачной среде обучения.



Рис. 1

Модель онтологии предметных областей предназначена для представления учебных материалов в виде онтологических структур предметных областей (в частности, структурированного материала дисциплин) при помощи средств построения онтологий. В основе метод извлечения знаний с применением методов онтологического инжиниринга, который представляет собой методологию и технологию проектирования, разработки и использования онтологий для структурирования и тиражирования знаний в различных предметных областях и приложениях.

Методы онтологического инжиниринга в настоящее время являются активно развивающимися методами интеллектуальных технологий в применении к процессам обработки знаний и организации работы с информацией. Некоторые инструменты построения онтологий представлены в табл. 3.

Таблица 3

Инструмент построения онтологий	Электронная ссылка
Apollo	http://apollo.open.ac.uk
JOE (Java Ontology Editor)	http://www.engr.sc.edu/research/CIT/demos/java/joe
OntoEdit	http://ontoserver.aifb.uni-karlsruhe.de/ontoedit
Ontolingua	http://www-ksl-svc.stanford.edu
Protégé-OWL	http://protege.stanford.edu
SWOOP	http://www.mindswap.org
TopBraid Composer	http://www.topbraidcomposer.org
WebODE	http://delicias.dia.fi.upm.es/webODE/index.html
WebOnto	http://kmi.open.ac.uk/projects/webonto

Модель предоставляет пользователю (как преподавателю, так и студенту) удобный доступ к знаниям, к расширенным информационным ресурсам, дает возможность скомпоновать из различных источников связанные знания по предметной области, позволяет представить обобщенную концептуальную модель рабочего процесса преподавателя (организация необходимой информации, методических материалов; взаимодействие со студентами, деканатом, административными структурами и др.), а также содержание знаний, которые она обрабатывает. Онтологии смоделированы на концептуальном уровне независимо от формализма заключительного языка представления. Осуществлена декомпозиция на классы составляющих процесса, внутри которых возможна компоновка персональных структур информационных пространств.

Методическая модель на основе технологии визуализации предназначена для представления методических материалов, выполнения навигации и быстрого извлечения необходимой информации относительно методического обеспечения процесса обучения (ФГОС ВПО, учебных планов, учебно-методических комплексов, рабочих программ и т. д.). Методическая модель представляет собой методическую базу с возможностью доступа ко всем необходимым ресурсам сопровождающих документов.

Дидактическая модель позволяет корректировать процесс обучения в зависимости от текущего состояния учащегося, его рейтинга, успеваемости/неуспеваемости, уровня выполнения заданий (высокого/низкого/среднего), мыслительно-когнитивной сферы, уровня освоения компетенций и т. д. Модель включает интеллектуальный анализ результатов выполнений заданий обучаемым. В отличие от программ, которые констатируют лишь правильность ответов или нет, например, в контрольных заданиях, интеллектуальный анализатор определяет, в чем затруднения в выполнении заданий, какие разделы знаний усвоены в недостаточном объеме. Технология, включающая интеллектуальный анализ результатов, предоставляет интеллектуальную обратную связь преподавателю как для корректировки процесса обучения студента, так и для отладки обучающих материалов.

Модель деканата предназначена для организации и хранения метаданных (о преподавателях, дисциплинах, курсах), административных материалов, документооборота; фиксации результатов обучения, успеваемости, посещаемости, активности учебной деятельности; подведения промежуточных итогов, формальной связи со студентами.

Коммуникативная модель позволяет осуществлять поддержку в среде выполнения (совмещая традиционное общение в аудитории с системой организации обучения/виртуальной средой), выбирать способ взаимодействия «преподаватель – студент», «преподаватель – группа», «студент – группа студентов», «преподаватель – деканат», «студент – деканат» и др. Процесс обучения как объект дидактики, традиционно заключающийся в передаче социального опыта, знаний, умений и навыков, в настоящее время характеризуется в большей степени педагогическим взаимодействием. Разнообразие форм коммуникации позволяет полноценно реализовать дидактический диалог участников учебного процесса, активную включенность в процесс. Коммуникативная модель поддерживает все уровни системы образования – от системы управления до содержания занятий. Необходима поддержка коммуникации между участниками, представляющими разные уровни, посредством оперативной информированности.

Аналитическая модель предназначена для сбора, накопления и анализа данных, характеризующих продуктивность процесса обучения. Многие авторы, например, [1], отмечают, что «построение математических моделей педагогических явлений не может с такой же, как в физике или биологии степенью адекватности описать изучаемый объект – слишком он сложен и под-

вержен влиянию огромного числа факторов». Применение таких методов требует больших работок. Среди методических систем, как отмечают авторы [1], в настоящее время известны имитационные технологии, которые «ориентированы на моделирование в образовательном процессе различных значимых аспектов окружающей реальности». К таким методам, например, относится контекстное обучение [11], которое «вводит в образовательный процесс ситуации, моделирующие будущую профессиональную деятельность студента, специальные задачи, проблемные ситуации, отображающие в содержании конкретной изучаемой дисциплины тот или иной существенный аспект будущей профессиональной деятельности выпускника вуза». Однако авторы [6] отмечают «трудность прогнозирования в образовании» и акцентируют внимание на обязательном условии прогнозирования – «непрерывности анализа ситуации, что позволяет своевременно реагировать на характер изменений в познавательной деятельности учащихся и, соответственно, изменять систему управляющих воздействий и оценивать влияние этих изменений на весь учебный процесс». Особенностью данной разрабатываемой модели является имитационная адаптивная модель деятельности (действий) обучаемых на основе анализа результатов обучения с построением прогноза траекторий обучения. Целью модели является выработка рекомендаций по подбору управляющих дидактических стратегий для улучшения продуктивности учебной деятельности с учетом личностных параметров когнитивно-мыслительной сферы и динамически изменяющегося уровня знаний в терминах осваиваемых компетенций обучаемого. В основе данной модели – методы интеллектуального анализа данных.

Динамическая модель управления – осуществляется управление траекториями обучения на основе диагностической модели, мониторинга балльно-рейтинговой системы с постоянным пересчетом рейтинга с учетом знаний студента и предыдущего опыта (результатов обучения на предыдущих ступенях).

Диагностическая модель позволяет определять уровень знаний (входных, текущих, итоговых), сформированность мыслительных стратегий и индивидуальные учебные стили обучаемых. Те или иные педагогические методы и приемы не могут быть в одинаковой степени применены к студентам с различными уровнями сформированности когнитивно-мыслительной сферы и индивидуальных стилей познавательной деятельности. Необходимо на предварительном этапе получить информацию об обучаемых с тем, чтобы заранее спроектировать возможные (например, различные по уровню сложности и форме представления) обучающие модули. Для определения индивидуальных стилей обучения подходят методики, диагностирующие когнитивные стили, в которых отражаются индивидуальные особенности восприятия и обработки информации (например, такие стили, как «полезависимость-полнезависимость», «узость-широта диапазона эквивалентности», «импульсивность-рефлексивность», которые являются определяющими в различиях индивидуальных способов обработки и восприятия информации).

При помощи методов статистического анализа можно, например, определить самого компетентного обучаемого по какой-то теме, или наоборот, тех студентов, которые испытывают наибольшие затруднения при обучении, чтобы применить к ним специальные адаптивные стратегии обучения.

Реализация вышеописанных моделей поддерживается в стандарте SCORM.

Облачная технология отличается наличием нескольких серверов, объединенных системой управления. Пользователь взаимодействует с серверами через систему взаимодействия (свойство самореконфигурации). Клиент-серверная технология имела ограничения в работе с

одним сервером. Элементы системы управления облаком могут находиться и в браузере, что повышает оперативность восстановления функционирования в случае, например, частичных отказов на серверах. Различия структурной организации технологий представлены на рис. 2.

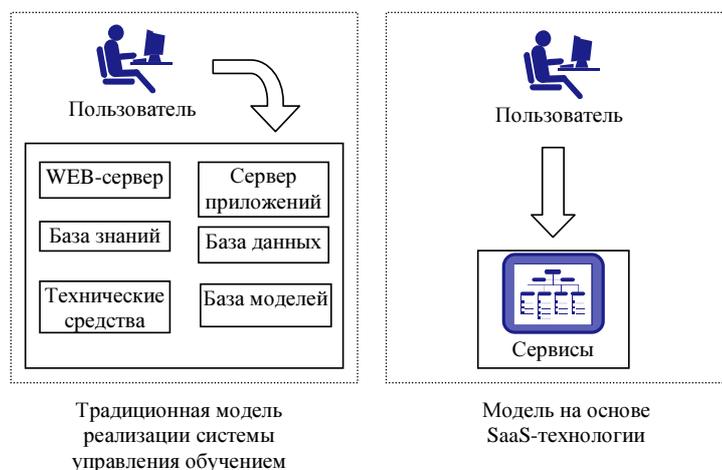


Рис. 2

Для интеграции моделей учебного процесса используются международные стандарты открытых информационных систем (ОИС).

Открытые системы, с одной стороны, представляют собой совокупность взаимодействующих элементов (компонентов), аппаратных и/или программных, а с другой – могут выступать в качестве компонента более сложной системы, которая, в свою очередь, может быть компонентом системы следующего уровня.

Открытые системы поддерживают открытые спецификации на интерфейсы, службы и форматы данных, достаточные для того, чтобы обеспечить:

- расширяемость/масштабируемость (*extensibility/scalability*) – обеспечение возможности добавления новых функций ОИС или изменения некоторых уже имеющихся при неизменных остальных функциональных частях;
- мобильность (переносимость, взаимозаменяемость) (*portability*) – обеспечение возможности переноса программ и данных при модернизации или замене аппаратных платформ ОИС;
- возможность работы специалистов, пользующихся информационными технологиями, без переподготовки при изменениях ОИС;
- интероперабельность (*interoperability*) – способность к взаимодействию с другими ОИС;
- дружественность (*derivability*) по отношению к пользователю, в том числе легкую управляемость.

Каждое из этих свойств по отдельности можно отнести к предыдущим поколениям информационных систем. В ОИС эти свойства рассматриваются в совокупности – как взаимосвязанные – и реализуются в комплексе. Открытая система представляет собой совокупность разнородных компьютеров, объединенных в сеть, которые могут работать как единое интегрированное целое независимо от места расположения, способа представления информация, операционной системы.

Ключевым моментом в открытой системе является общедоступная спецификация, которая поддерживается открытым, гласным согласительным процессом, направленным на постоянную адаптацию новой технологии, и соответствует стандартам.

Открытая спецификация не зависит от конкретной технологии, т. е. не зависит от конкретных технических или программных средств или продуктов отдельных производителей. Открытая спецификация одинаково доступна любой заинтересованной стороне. Бо-

лее того, открытые спецификации находятся под контролем общественного мнения, так что все заинтересованные стороны могут принимать участие в ее развитии.

Выводы. Особенность разрабатываемой системы с применением облачных технологий в управлении обучением – направленность на максимальную дидактическую эффективность и упрощение работы конечных пользователей.

По сравнению с применяемыми в настоящее время средствами создания и средами поддержки систем дистанционного обучения, основанными в основном на клиент-серверной или трехзвенной технологии, разработанная структура системы управления процессом обучения с применением облачных технологий имеет следующие преимущества:

– более высокую степень интеграции разнородных обучающих объектов и тестирующих модулей, распределенных в сети и реализованных на гетерогенных платформах (Windows, Unix, Linux, Sun Solaris) с применением многоагентной технологии;

– масштабируемость за счет подключения дополнительных функциональных модулей и технических средств без остановки всей системы;

– возможность работы со знаниями в слабоформализованных предметных областях благодаря применению методов онтологического инжиниринга;

– функциональную расширяемость контролирующих и тестирующих знания модулей моделями и средствами тестирования с применением методов искусственного интеллекта (DataMining, TextMining и др.), что позволяет создавать системы контроля знаний в слабоформализованных предметных областях;

– возможности моделирования вариантов инновационной профессиональной деятельности специалистов в педагогическом процессе на основе прогрессивных технологий обучения и их внедрения в образовательный процесс кафедр, факультетов и университета в целом;

– возможность в дальнейшем проводить анализ состояния качества предоставления образовательных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коржуев А. В., Попков В. А. Современная теория обучения: общенаучная интерпретация: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Академ. проект, 2009. 185 с.
2. Педагогические технологии дистанционного обучения: Учеб. пособие / Под ред. Е. С. Полат. 2-е изд., стер. М.: Академия, 2008. 400 с.
3. Хортон У., Хортон К. Электронное обучение: инструменты и технологии: пер. с англ. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2005. 640 с.
4. Rittinghouse J. W., Ransome J. F. Cloud Computing Implementation, Management and Security. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
5. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 495 с.
6. Вербицкий А. А., Ларионова О. Г. Личностный и компетентностный подходы в образовании: проблемы интеграции. М.: Логос, 2009. 336 с.
7. Reese G. Cloud Application Architectures. O'Reilly Media, Inc., 2009.
8. Риз Дж. Облачные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
9. Проект IASaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений / В. В. Грибова, А. С. Клещев, Д. А. Крылов и др. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2001. № 1. С. 27–35.
10. Cloud computing for dummies / J. Hurwitz, R. Bloor, M. Kaufman, Dr. F. Halper. Wiley Publishing, Inc., 2010.
11. Вербицкий А. А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. М.: Высш. шк., 1991. 208 с.

E. E. Kotova

APPLICATION OF CLOUDS TECHNOLOGIES IN MANAGEMENT OF EDUCATIONAL PROCESS

Development of educational management systems, existing standards, and possibilities of clouds technologies usage is considered.

Management of the teaching, the distributed information resources, clouds technologies, educational process, innovative activity of the teacher, didactic strategies



УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 658.1

О. А. Гуляева, Д. А. Мардас

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ, СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ АДЕКВАТНОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В КОРПОРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ

Прослеживается эволюция и раскрываются трудности современного стратегического (в частности портфельного) анализа в корпоративном управлении. Излагаются возможности совершенствования традиционных аналитических моделей и повышения адекватности стратегических планов путем прогнозирования по коротким временным рядам.

Стратегический анализ, прогнозирование, методы стратегического планирования, портфельные модели, корпоративное управление

Эволюция подходов к корпоративному управлению и роль стратегического анализа. Вплоть до 50-х гг. XX в. теоретики не проводили разницы между стратегическим и долгосрочным планированием. Планирование носило форму бюджетирования, основывалось на постулате о стабильности деловой среды и устойчивости ресурсного потенциала предприятия. Такое планирование было эффективным на стадиях экономического подъема, когда тенденции корпоративной среды можно было описать трендовыми моделями. Однако в начале 60-х гг. изменения в мировой экономике привели к тому, что трендовые прогнозы стали давать нереалистичные результаты. Возросшая конкуренция потребовала пересмотра концептуальных положений в корпоративном планировании. Оно стало целевым, т. е. отталкивающимся от прогнозируемых изменений в окружающей среде. Именно такой подход и получил название «стратегическое планирование» (strategic planning) [1]. Параллельно с содержанием корпоративного планирования эволюционировали и методы стратегического анализа как его основы (см. таблицу). После мирового экономического кризиса 70-х гг. динамизм и неопределенность деловой среды еще более усилились. Необходимость оценки долгосрочных перспектив привела к созданию концепции «стратегического управления», предусматривавшей не просто реакцию на изменения

Предмет и содержание анализа	Применяемые подходы и технологии
Ситуационный анализ	
<i>Макроокружение организации:</i> – экономика и политика; – технология и экология; – правовое обеспечение; – демография, общество	Информационные обзоры и обобщения; кабинетные исследования, сбор данных и статистическая оценка; PEST-анализ
<i>Непосредственное окружение:</i> – заказчики; – посредники; – поставщики; – конкуренты; – контактные аудитории	Анализ рыночной позиции; выявление отношения к торговой марке и оценка престижа организации; анализ и измерение конкуренции
<i>Внутренняя среда организации:</i> – результаты реализации целей прошлой стратегии; – оценка финансового состояния; – возможности, ресурсы, кадры; – маркетинговая инфраструктура	Сравнительный анализ " план – факт"; причинный анализ; балльная оценка возможностей и способностей; бухгалтерский и оперативный учет
<i>Анализ конкуренции:</i> – оценка сил конкуренции; – идентификация слабых и сильных сторон организации и конкурентов	Модели конкуренции; SWOT-анализ; оценка конкурентных преимуществ
<i>Анализ ситуационных параметров:</i> – позиция стратегических единиц; – объем продаж, затрат и прибыли в течение жизненного цикла продукции; – доля торговых расходов; – цикл "продукция – рынок – товароборот – прибыль – затраты"	Портфельные модели; классификация продукции по П. Друкеру; модели жизненного цикла; ABC-анализ; цепочка формирования стоимости; CVP-анализ
Прогнозирование	
– динамика окружения организации; – динамика параметров рынка; – динамика параметров организации	Сценарии развития; инженерно-экономические расчеты и балансовые модели; генетический подход и экстраполяция тенденций; телеологический подход и нормативные расчеты; исследование операций и имитационные модели; методы экспертных оценок
Стратегическое целеполагание	
– формулировка миссии и целей организации; – целевые приоритеты (качественные ориентиры); – выбор целевого рынка; – профилирование предложений; – квантификация целей	Портфельные модели; логическая оценка вариантов; функционально-стоимостной анализ; технично-экономическая оценка и расчеты эффективности; операционные исследования и моделирование; методы экспертных оценок
Стратегическое планирование	
– формулирование стратегических альтернатив; – выделение стратегических хозяйственных единиц; – идентификация стратегии роста и конкурентных стратегий; – оценка потенциальных проблем и рисков; – коррекция планов на основе обратной связи	Стратегические матрицы (BCG, McKinsey, жизненного цикла и др.); операционные исследования и имитационное моделирование; теория управления запасами; теория массового обслуживания; методы сетевого планирования и управления; анализ риска и неопределенности; методы экспертных оценок

организационной среды, но и воздействия на силу и направления этих изменений. Важнейшим условием правильности и работоспособности стратегии стала способность высшего менеджмента консолидировать рассредоточенные по корпорации технологии и производственные навыки в «компетенции», т. е. в потенциал быстрой адаптации к изменяющимся рыночным условиям [2]. В XXI в. снова проявилась потребность в развитии методологии стратегического анализа в силу все ускоряющихся изменений и глобализации мировой экономики.

Возможные направления совершенствования методологии стратегического анализа. Основным принципом стратегического анализа во втором десятилетии XXI в. должна стать его квантификация, т. е. обязательная количественная обоснованность. В подтверждение этому утверждению приведем только следующие аргументы.

В большинстве учебников по менеджменту (см., например, [3]) утверждается, что оценка факторов внешней и внутренней среды (SWOT-анализ) позволяет сформулировать цели организации и выбрать стратегию ее развития. На самом деле данный подход не располагает инструментарием прогноза и не дает количественного обоснования целям даже в рамках реактивного планирования. Тем более неадекватен он в преактивном планировании, которому отдает предпочтение современный корпоративный бизнес [4]. Поэтому руководство реальных корпораций (корпоративный центр – КЦ) фактически отказывается от рекомендаций теоретиков, помещая аналитическую оценку на последние места в приоритетах своей управленческой деятельности (рис. 1) [4]. Одновременно данное исследование констатирует, что, начиная с 2007 г., в большинстве российских холдингов осуществляется переход к стоимостной модели управления (*value based management*), в рамках которой «основной задачей эффективного собственника должно являться создание ликвидной стоимости».

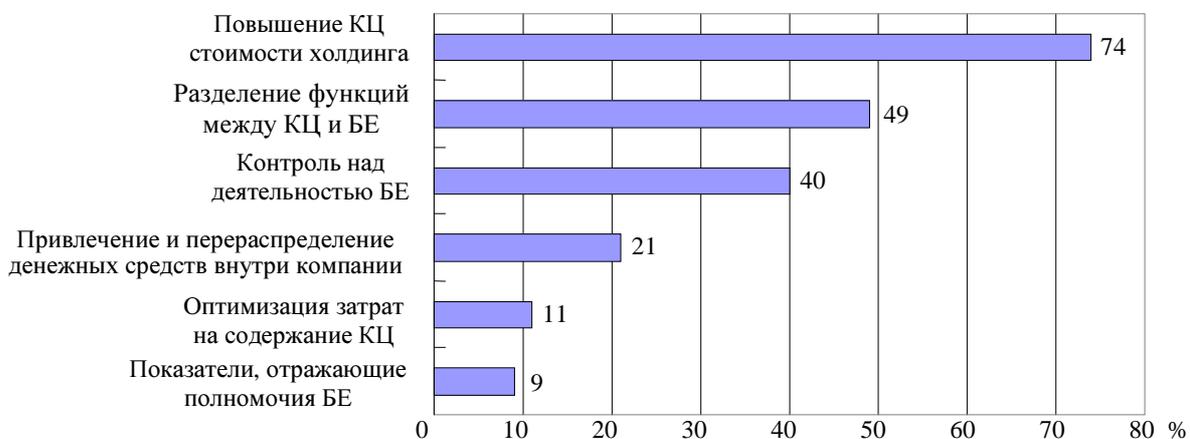


Рис. 1

В итоге и практики, и теоретики корпоративного управления стали отдавать приоритет спекуляциям на финансовых рынках, успешность которых во многом определяется биржевыми рейтингами корпорации. Поэтому основной методологической трудностью современного стратегического анализа авторы стоимостной концепции объявили разработку инструментария для оценки вклада в увеличение стоимости нефундаментальных факторов, поскольку «концепции и практические методики управления фундаментальными показателями достаточно хорошо изучены и отработаны на практике» [5].

По мнению авторов настоящей статьи, принципиально не согласных с данным тезисом, именно отсутствие адекватных и практически применимых методик стратегического анализа у российских корпораций привело к недооценке фундаментальных факторов и оттоку капи-

тала из страны в противовес прямому инвестированию в национальное производство. Но развивающийся кризис мировой финансовой системы неизбежно приведет к новому признанию главенства материального производства в социально-экономическом прогрессе, а значит и фундаментальных факторов в стоимостной оценке корпоративного бизнеса.

Ценовые потрясения 2007–2008 гг. убедительно показали, что классическая методология прогноза (анализ временных рядов по Боксу–Дженкинсу и теория коинтеграции Грейнджера [6]) абсолютно несостоятельна для нынешней мировой экономики, оказавшейся в точке бифуркации. Таким образом, второе важнейшее и крайне актуальное направление совершенствования стратегического анализа – построение методик прогноза по малой выборке (короткому временному ряду), как отражению нелинейности и дискретности развития. Признание этого факта влечет и пересмотр основных классических методик стратегического, в частности, портфельного анализа.

Классическая портфельная модель Бостонской консалтинговой группы (БКГ) есть отражение жизненного цикла бизнеса, который генерирует прибыль на стадиях зрелости, тогда как на стадиях роста, как правило, поглощает денежную массу. Отсюда следует очевидный вывод, что корпорация, имеющая «зрелый» бизнес, должна часть его доходов инвестировать в новые перспективные области. Однако тривиальная трактовка жизненного цикла оказывается не соответствующей реальному поведению бизнеса. В итоге, классическая модель БКГ на практике неработоспособна, как минимум, по двум причинам.

Во-первых, деловые единицы занимаются разработкой и реализацией собственных стратегических планов, являясь конкурентами в борьбе за инвестиции, и ориентируются не на приоритеты корпорации, а на запросы своих потребителей.

Во-вторых, традиционная матрица БКГ отражает хоть и недалекую, но историю корпорации, в то время как стратегия строится на будущее.

Выработать стратегию развития корпорации в целом и согласовать интересы отдельных бизнес-единиц с применением матрицы БКГ можно, если квантифицировать уровень конкурентоспособности и возможности роста рынка для каждой бизнес-единицы, причем не сегодняшние, а прогнозные.

Для простоты изложения будем первоначально полагать проблему прогнозирования разрешенной и рассматривать все данные, привлекаемые для принятия решения, как результат адекватного прогноза.

На практике получить данные об абсолютных долях рынка конкурентов для деловых единиц корпорации в большинстве случаев невозможно. Поэтому авторы рекомендуют модифицировать матрицу БКГ и использовать в качестве ее координат относительную долю покрытия (ОДП), отражающую участие соответствующей деловой единицы в возврате инвестиций корпоративному центру или сторонним инвесторам, и относительный темп роста (ОТР) бизнеса [7]. Это несколько усложняет порядок расчетов в классической модели БКГ, но превращает ее в реальный инструмент корпоративного управления.

Для расчета ОДП определим сумму покрытия затрат (ПЗ) как превышение валовой выручки (ВВ) над текущими затратами (З):

$$\text{ПЗ} = \text{ВВ} - \text{З}.$$

Тогда доля покрытия (ДП) есть

$$\text{ДП} = \frac{\text{ПЗ}}{\text{ВВ}}$$

и отражает эффективность деятельности по возврату инвестиций в соответствующем периоде.

В корпорации эффективность j -й ($j = 1, \dots, n$) бизнес-единицы проявляется с учетом ее удельного веса α_j , который представляет собой долю в реализации корпорации:

$$\alpha_j = \frac{V_j}{V},$$

где V_j и V – объемы реализации соответствующей деловой единицы и корпорации.

Введение удельного веса позволяет рассчитывать темп роста корпорации как средневзвешенную величину:

$$\text{ТР}_{\text{корп}} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \text{ТР}_j,$$

где $\text{ТР}_j = m \sqrt[m]{\frac{V_j^m}{V_j^1}}$ – осредненный темп роста j -й деловой единицы за m принятых в расчет периодов.

В итоге, в соответствии с принятыми допущениями, относительный темп роста бизнес-единицы есть

$$\text{ОТР}_j = \frac{\text{ТР}_j}{\text{ТР}_{\text{корп}}}.$$

Границей между низкими и высокими темпами роста в модифицированной матрице следует признать равенство темпов роста отдельного бизнеса и корпорации в целом, т. е. $\text{ОТР} = 1$. Тот же вывод следует и для квантифицированной конкурентоспособности – относительной доли покрытия, рассчитываемой как $\text{ОДП}_j = \frac{\text{ДП}_j}{\text{ДП}_{\text{корп}}}$.

Корпоративный эффект бизнес-единицы, понимаемый как потенциал ее участия в финансировании развития, определяется разницей между складывающейся долей покрытия и рентабельностью основной деятельности. Чем больше эта разница у конкретного бизнеса, тем больше у него возможностей для инвестиций в развитие корпорации. Для наглядного отражения этого факта каждую деловую единицу представляют в модифицированной матрице геометрическими фигурами, площади которых пропорциональны доле покрытия и рентабельности (рис. 2).

К примеру, в условной ситуации, отраженной на рис. 2, можно констатировать, что лидерами корпорации являются бизнес-единицы 1 и 2. Они находятся в позиции «звезд», имеют свободные средства и способны к диверсификации.

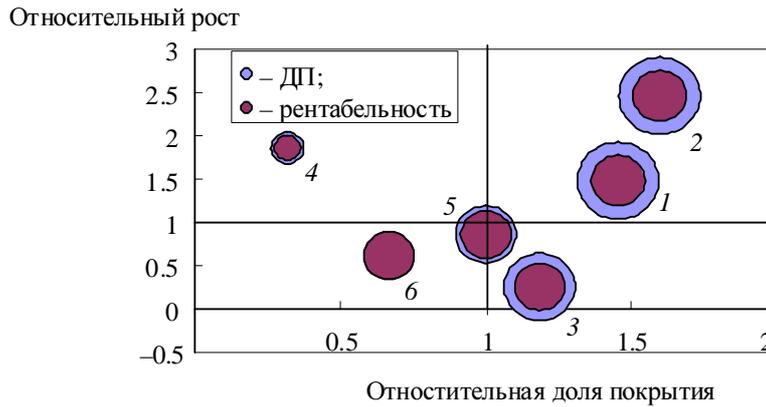


Рис. 2

Свободными средствами обладают также 5-я и 3-я деловые единицы, однако ввиду низких темпов роста их имеет смысл рассматривать только как источники корпоративных капиталовложений; 4-я единица обладает свободными средствами, но они совсем незначительны для перевода ее из поля «знаки вопроса» в позицию «звезды». Именно на нее в первую очередь должна быть направлена политика корпоративных инвестиций. Наконец, бизнес-единица с номером 6 – аутсайдер корпорации. Доля покрытия в ней и рентабельность основной деятельности практически равны. Поэтому лучшей стратегией для такого бизнеса будет «сбор урожая».

Но подобные рекомендации могут появиться только после адекватного прогноза изменений в корпоративной среде и соответствующих им значений ОДР и ОТР.

Идентификация эмпирического распределения малых выборок ретроспективных показателей как основа стратегического прогнозирования. В оперативном управлении корпорацией основным источником информации (статистикой) являются показатели бухгалтерского учета. При этом именно точность учета (репрезентативность выборки показателей) определяет эффективность управленческих решений. Однако никакой, даже самый точный, бухгалтерский учет не дает описания будущих процессов. Поэтому главным принципом стратегического планирования должна стать не точность учета, а адекватность прогноза, понимаемая как степень совпадения информации, генерируемой прогнозной моделью, с реально возникающей информацией.

Нелинейность и дискретность современной экономики существенно сужают информационную базу прогноза и вынуждают проводить его по коротким временным рядам (малым выборкам).

Любая выборка является эмпирическим аналогом генеральной совокупности, свойства которой подлежат изучению. Следовательно, выборка значений некоторого показателя может быть признана малой, если по результатам ее оценивания нельзя принять достоверное решение в отношении целей исследования. В рамках вероятностного описания эта вербальная формулировка тождественна соотношению

$$\alpha < 1 - \beta,$$

в котором α и β – ошибки первого и второго родов для соответствующей данным целям статистической гипотезы.

В практике стратегического анализа данное утверждение означает, что если имеющийся эмпирический материал дает для выдвинутой статистической гипотезы вероятность ошибки первого рода ниже мощности используемого критерия, то построение прогнозной модели (например, кривой роста) с использованием классических параметриче-

ских методов оценивания становится невозможным. Но априори закон распределения показателя, по выборке значения которого должно быть принято решение, неизвестен. Следовательно, неизвестны и значения ошибок первого и второго родов. В лучшем случае (если признать, что в экономике все же работают причинно-следственные связи, а не царит полный хаос) можно только считать их соотношение исходом испытания над случайной величиной, закон распределения которой остается неизвестным. Такую случайную величину называют статистическим или стохастическим супериндикатором [8].

Стохастический супериндикатор S образует непараметрический критерий согласия, с помощью которого можно осуществить проверку статистической гипотезы об извлечении малой выборки из генеральной совокупности с определенным законом распределения и, следовательно, осуществить идентификацию наиболее адекватной (в смысле ошибки предсказания) прогнозной модели. При этом процедура прогнозирования в рамках экстраполяции тенденций выполняема по следующей схеме.

1. Выдвигается гипотеза H_0 о виде закона распределения генеральной совокупности, которой может принадлежать выборка наблюдений x_1, \dots, x_n за исследуемым показателем – индикатором развития корпорации (в данном случае ОДР и ОТР).

2. Из выборки образуют вариационный ряд $x_1^{(n)} \leq x_2^{(n)} \leq \dots \leq x_n^{(n)}$ и с применением обратного преобразования Смирнова получают инвариантные (не зависящие от параметров распределения) отношения $\Omega_i, i = 1, \dots, n - r$, где r – число параметров идентифицируемого распределения, и рассчитывают значение супериндикатора:

$$S = G\{x_i^*, i = 1, \dots, n\} = \int_0^{x_1^*} \dots \int_0^{x_n^*} \frac{(n+1)!}{(1 + \Omega_1 + \dots + \Omega_n)^{n+1}} d\Omega_1 \dots d\Omega_n .$$

3. По таблице критических значений [8] и заданной доверительной вероятности находят $S_{кр.лин}$ и $S_{кр.эксп}$, соответствующее теоретическим равномерному и экспоненциальному распределениям. Выбор экспоненциального закона обусловлен тем, что его подтверждение в короткой ретроспективе эквивалентно выявлению «шока» (в эконометрическом смысле) и попаданию индикатора развития в точку бифуркации. Таким образом, сравнение эмпирического $S_{расч}$ и критических значений позволяет либо констатировать устойчивую тенденцию $S_{расч} \leq S_{кр.эксп}$ для экспоненциального закона, $S_{расч} \geq S_{кр.лин}$ – для равномерного) и выбрать трендовую модель, либо признать ее (тенденции) отсутствие (при противоположных соотношениях) и отдать предпочтение некой адаптивной модели. В отношении исследуемой ситуации тогда в первом случае можно говорить о прогнозировании в традиционном смысле, во втором – только о снижении неопределенности будущего до ограниченного множества альтернатив.

4. Если принадлежность выборки к генеральной совокупности с определенным законом распределения подтверждена, то далее переходят к оцениванию параметров этого закона и прогнозированию процесса по соответствующей кривой роста.

Таким образом, при построении продуктовой или инвестиционной стратегии традиционному применению портфельных моделей должен предшествовать этап идентификации распределения ретроспективных показателей корпорации на данных, относящихся к

текущему экономическому циклу. Причем, если изложенная здесь процедура идентификации выявляет экспоненциальный характер распределения основного показателя стратегического плана (выручки, прибыли и т. п.), то можно утверждать, что малое изменение факторов роста в очередном периоде (например, незначительное дополнительное финансирование инновационной активности бизнес-единиц) проявится как экспоненциальное изменение планируемого результата (чаще всего дохода). Если же супериндикатор укажет на равномерный или нормальный характер распределения исследуемого показателя, то в очередном периоде наиболее вероятно его слабое линейное изменение вслед за изменением факторов, либо незначительные колебания, которые можно считать случайными и не связанными со стратегическими мероприятиями.

Сформированные подходы позволяют существенно повысить качество стратегического планирования в корпорациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стерлин А. Р., Тулин И. В. Стратегическое планирование в промышленных корпорациях США (опыт развития и новые явления). М.: Наука, 1990.
2. Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 2005.
3. Виханский О. С. Стратегическое управление. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005.
4. Исследование практики корпоративного управления в России. М.: Рос. ин-т директоров, 2007.
5. Старюк П. Ю. Управление стоимостью компании как основная задача корпоративного управления. М.: ГУ-ВШЭ, 2008.
6. Кремер Ш. Н., Путко Б. А. Эконометрика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007.
7. Гуляева О. А., Мардас Д. А. Модели построения делового портфеля в рамках корпоративной стратегии // Изв. ПГУПС. СПб., 2007. № 2. С. 70–78.
8. Мардас А. Н. Прогнозирование инновационных процессов на малых выборках // Применение математики в экономике. Вып. 17. СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 2008.

O. A. Guliaeva, D. A. Mardas

THE EVOLUTION, MODERN PROBLEMS AND OPPORTUNITIES OF STRATEGIC ANALYSIS IN CORPORATION CONTROL

The article is devoted to the forecast in strategic planning of corporation. The quantitative procedures of portfolio analysis are given.

Strategic analysis, forecasting, methods of strategic planning, portfolio models, corporate governance

УДК 334.025 + 65.015.13;

В. А. Дрецинский

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматриваются основные подходы к управлению знаниями в высокотехнологичных и наукоемких российских предприятиях. Предложены приемлемые к внедрению методы диагностики системы управления исследованиями и разработками, сохранения и использования знаний предприятия.

Высокотехнологичные и наукоемкие предприятия, система управления знаниями предприятия и ее элементы, методы диагностики системы управления знаниями

На очередном этапе развития перед Россией остро стоит проблема восстановления промышленного потенциала на основе новой индустриализации. Причем сегодня эта проблема из плоскости экономической переходит в геополитическую сферу, связанную с выживанием страны и восстановлением положения России как мировой державы. Как отме-

тил, выступая на съезде «Деловой России», В. В. Путин: «Чтобы изменить структуру экономики, мы намерены провести “новую индустриализацию”, модернизировать или вновь создать до 25 миллионов современных рабочих мест»¹.

В решении этой стратегической задачи роль локомотива реиндустриализации призваны сыграть предприятия, обладающие технологиями, способными обеспечить инновационную активность и достаточно высокие темпы развития по целому ряду направлений и видов деятельности. К ним могут быть отнесены предприятия, обладающие наиболее передовыми технологиями четвертого и пятого технологических укладов. Это прежде всего предприятия оборонно-промышленного, в том числе авиационно-космического комплекса, атомного машиностроения, ряд производств электронной, электротехнической и радиотехнической отраслей, научное приборостроение и производство сложного медицинского оборудования, предприятия микробиологической, химико-фармацевтической и химической отраслей, сферы информационно-телекоммуникационных технологий, высокотехнологичных видов связи и передачи данных, компании, оказывающие услуги навигационного, геодезического, метеорологического и другого обеспечения. Начинается промышленное освоение и шестого технологического уклада, ядро которого составляет наноэлектроника, высокотемпературная сверхпроводимость, энергосбережение, тонкая химия и гениальная инженерия и т. п.

Такие предприятия принято называть «высокотехнологичными» или «наукоемкими», хотя эти понятия далеко не всегда взаимосвязаны друг с другом автоматически.

По мнению автора статьи, *высокотехнологичным предприятием* может считаться, если для разработки и производства его продукции необходимо привлечение специалистов высокого образовательного уровня и квалификации и требуются передовые технологии, базирующиеся на достижениях современных научных исследований и содержащие элементы технологических ноу-хау.

Высокотехнологичное предприятие должно осуществлять активную инновационную деятельность, переводя результаты научных исследований и разработок в сферу предпринимательства. При этом доля затрат на инновации от общего объема отгруженных товаров собственного производства должна быть не менее 15 %. Это должно позволить предприятию получать дополнительную инновационную ренту не только за счет выпуска продукции с уникальными потребительскими свойствами, но и за счет значительного увеличения собственной производительности труда, более эффективного использования ресурсов, формирования новых или существенного расширения существующих рынков сбыта своей продукции. Кроме того, обладание конфиденциальной научно-технологической информацией резко ограничивает число предприятий-конкурентов, производящих подобную продукцию и использующих соответствующие технологии.

Предприятие может называться *наукоемким* лишь в том случае, если доля его собственных затрат на научные исследования и опытно-конструкторские разработки в стоимости продукции будет существенно выше, чем средняя доля аналогичных затрат в стоимости продукции других предприятий данной отрасли. К категории наукоемких целесообразно относить предприятия, в продукции которых доля затрат на исследования и разработки в общих издержках составляет не менее 3.5–4.5 %, а в наиболее сложных научных областях она может

¹ Путин В. В. Выступление на съезде «Деловой России» // Взгляд. 21.12.2011. Режим доступа <http://www.vz.ru/economy/2011/12/21/548712.html>.

в несколько раз превышать эти показатели¹. Данное значение критерия наукоемкости продукции не является строгим, поскольку только в нашей стране существует несколько методик учета затрат на научные исследования и разработки. Может использоваться и другой показатель – наукоотдача, под которым понимается отношение объема продаж новой наукоемкой инновационной продукции с высокими потребительскими свойствами в общем объеме продаж к расходам на исследования и разработки за определенный период. Так, если в США, Китае, Южной Корее доля наукоемкой продукции в промышленном экспорте составляла в 2009 г. около 33 %, то в России этот показатель составлял² всего около 2 %.

В комплексе современных технологий эффективного менеджмента, для высокотехнологичных и наукоемких предприятий одной из важнейших становится технология управления знаниями, – процесс систематического воздействия на специализированные объекты предприятия, занимающиеся поиском и созданием, накоплением и сохранением, передачей и обменом, правовой защитой и трансфертом, а также непосредственным использованием необходимых научных, конструкторских, технологических, экономических знаний и опыта, с целью создания высокой доли добавленной стоимости продукции из знаний, как нематериальных активов организации. Объектами управления в данном случае являются как собственно организационное знание, так и специализированные подразделения, их высококвалифицированный персонал, а также специфические отношения между сотрудниками, выполняющими вышеперечисленные функции. К специализированным подразделениям предприятия могут относиться научно-исследовательские отделы и лаборатории, конструкторские бюро, опытные и испытательные участки, конструкторско-технологический, информационно-вычислительный и информационно-аналитический отделы, отдел научно-технической информации, отдел изобретательства и рационализации, патентное бюро, научно-техническая библиотека, отдел обучения и переподготовки персонала, отдел правового обеспечения интеллектуальной деятельности и т. п.

В силу особенностей деятельности, предприятия в том или ином виде создают собственную систему управления знаниями (СУЗ), представляющую собой организованную совокупность элементов, находящихся в определенных связях и отношениях и функционирующих с целью создания благоприятных условий для исследований и разработок, накопления знаний, опыта и их дальнейшего эффективного использования. Иногда этот процесс протекает целенаправленно в рамках специализированного организационного проектирования, но чаще всего такая структура возникает естественным образом и, как правило, представляет собой ее фрагментарное отражение.

Основными элементами системы управления знаниями предприятия являются:

- совокупность целей функционирования СУЗ;
- стратегии и политики управления знаниями, исследованиями и разработками;
- субъекты и объекты управления, объединенные в организационную структуру;
- функции субъектов управления знаниями предприятия;
- методы и технологии управления знаниями, исследованиями и разработками;
- технические и информационные средства, программное обеспечение;
- организационная культура, способствующая признанию ценности знаний.

¹ Склярченко Р. П. Что такое наукоемкий рынок? Портал Инновации и предпринимательство. Режим доступа <http://www.innovbusiness.ru>.

² OECD, STAN Indicators Database, 2009 edition.

Создание эффективной СУЗ, которая бы стимулировала исследования и разработки, сохранение знаний, их воплощение в инновационные продукты, весьма сложно. Первым шагом, позволяющим оценить эффективность и качество системы управления знаниями, выявить ее слабые стороны и направить на них управленческое воздействие, определить разрыв между потребностью и наличием необходимого знания, источники восполнения недостающего знания и их доступность, является диагностика.

Диагностика системы управления знаниями представляет собой технологии выявления признаков и оценки текущего состояния процессов и объектов управления знаниями, сравнения их с лучшей практикой, разработки перспективного профиля необходимых знаний и организационных преобразований в СУЗ, которые обеспечат желаемый результат управления знаниями. В некоторых случаях она может включать и аудит объема информации и знаний, в которых нуждается предприятие.

Диагностика процессов управления знаниями позволит определить степень их интеграции в общую систему производственных и бизнес-процессов предприятия. Она может осуществляться либо с целью поиска просчетов в критических для предпринимательской деятельности знаниях, либо для поиска новых возможностей.

Диагностика объектов управления знаниями может включать различные аспекты, связанные с организационным знанием, в том числе его связь со стратегией предприятия, анализ и оценку интеллектуального ресурса предприятия, оценку интеллектуальной собственности, интеллектуального потенциала сотрудников, анализ уровня используемых технологий и другие аспекты функционирования системы.

Для достижения тех или иных целей *диагностики* могут применяться различные *методы*, в том числе опросы и тесты, методы рейтингования, сходства, оценки сбалансированных показателей. Не все они в одинаковой мере дают объективный результат и в зависимости от специфики и сложности исследований и разработок, проводимых предприятием, подлежат соответствующей адаптации. Наиболее предпочтительна комплексная диагностика качественными и количественными методами.

Опросы и тестирование представляют собой выяснение позиций в отношении создания и использования знаний заинтересованного персонала предприятия путем прямых вопросов, в том числе и относительно уровня их личных знаний, или получение от него косвенной информации по определенным вопросам, путем устного или письменного обращения. Они позволяют изучить определенные аспекты управления знаниями, например, препятствия, которые возникают при внедрении СУЗ. При этом следует иметь в виду, что опросы и тесты оценивают не объективную реальность, а лишь субъективное восприятие сотрудников.

Метод рейтингования может быть применен в тех случаях, когда необходимо диагностировать процессы управления знаниями в сравнении с однотипными структурными подразделениями или предприятиями. Суть метода может состоять в определении экспертами рейтинга – числового показателя предпочтения одного оцениваемого объекта СУЗ перед другим по тем или иным аспектам управления знаниями.

Наиболее рационально формировать рейтинг как интегральный показатель, базирующийся на совокупности отдельных признаков. Методика определения рейтинга при этом может включать два элемента: определение состава выбранных признаков и правила вычисления интегрального показателя, которые базируются на методах ранжирования и определения соответствующих весовых коэффициентов. При расчете рейтинга могут быть

рекомендованы три принципиально разных подхода к оценке показателей:

- фактического состояния СУЗ предприятия;
- достигнутых результатов работы по исследованиям, разработкам, сохранению и использованию знаний;
- потенциала организации в области исследования, разработок и внедрению их результатов в инновационные продукты и технологии.

Одним из достаточно эффективных методов диагностики системы управления знаниями может служить «метод сходства», основы которого предложены в [1]. Суть метода состоит в предоставлении по исследуемому аспекту управления знаниями, набора утверждений, каждое из которых необходимо оценить с позиции состояния дел в области исследований и разработок, сохранении и использовании знаний конкретного предприятия или его части с использованием качественных показателей:

- «значительное сходство», если утверждение достаточно точно описывает положение дел в конкретной организации;
- «умеренное сходство» если утверждение сходно с процессами, происходящими в организации, но недостаточно точно их описывает;
- «незначительное сходство», если утверждение слабо согласуется с реальностью.
- сходство отсутствует, если утверждение противоречит реальности.

Качественные показатели могут быть соответственно трансформированы в количественные: 3, 2, 1, 0. По каждому исследуемому аспекту набранные баллы суммируются, а затем рассчитывается относительный показатель, как частное от деления суммарного балла по данному аспекту на произведение общего числа утверждений в разделе на максимальное значение баллов. Данный показатель легко интерпретировать: чем он выше, тем эффективнее реализуется та или иная функция управления знаниями. Эффективным или действительно значимым, тот или иной аспект управления знаниями целесообразно полагать, если он находится на уровне не ниже 0.62.

Если значимость соответствующих аспектов для предприятия не равноценна, то их строго ранжируют по важности и рассчитывают весовой коэффициент в общей системе управления знаниями конкретного предприятия. При наличии достаточного числа респондентов целесообразно рассчитывать статистическое среднее, а также частотные показатели выборки. По результатам диагностики могут быть построены графики, отражающие сильные и слабые стороны управления знаниями, преимущества, на которые предприятие может опереться, и недостатки, которые ему следует исправить.

Для диагностики управления знаниями также может быть рекомендовано использование метода, основанного на *оценке сбалансированных показателей* [2]. Суть метода заключается в измерении достигнутых показателей системы управления знаниями, исследованиями и разработками предприятия, которые определены в строгом соответствии со стратегией и задачами, внутренними бизнес-процессами предприятия. В качестве показателей представляющего интерес аспекта могут использоваться, например, индекс увеличения стоимости нематериальных активов, индекс удовлетворенности персонала средой для обмена знаниями и информацией, количество предложений по улучшению качества продукции и технологии на одного сотрудника и т. п.

В рамках сбалансированной системы необходимо использовать показатели, которые измеряют достигнутые результаты, и показатели, которые отражают процессы, способствующие получению этих результатов. Достоинством данного метода является интеграция

финансовых и нематериальных активов, которые в современных условиях играют все более важную роль. Карта сбалансированных показателей делает акцент на нефинансовых показателях эффективности, давая возможность оценить такие с трудом поддающиеся измерению аспекты деятельности предприятия, как, например, его инновационный потенциал.

Методика формирования системы сбалансированных показателей может включать четыре основных элемента:

1) построение системы стратегических задач в области управления знаниями, научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, логически связанную со стратегическими целями предприятия;

2) формирование системы сбалансированных показателей, количественно измеряющих эффективность результатов исследований и разработок, процессов сохранения, обмена и использования знаний, представляющих «точки достижения цели» и определить сроки, в которые они должны быть достигнуты;

3) разработка целевых проектов в областях инвестиций, исследований, разработок, создание информационно-коммуникационной системы поддержки и обмена знаниями, обучения и повышения квалификации персонала, внедрения в производство продуктов и технологий и т. п., обеспечивающие реализацию необходимых изменений;

4) создание «приборных панелей» руководителей структур управления знаниями различных уровней для контроля и оценки деятельности в этой области.

«Приборная панель» руководителя каждого уровня и каждого функционального направления должна включать те показатели, которыми он оперирует в своей деятельности. В панели целесообразно отражать показатели конечного результата и так называемые опережающие показатели, которые позволяют осуществлять мониторинг представляющих интерес процессов. При построении карты сбалансированных показателей необходимо, чтобы задачи и показатели менеджеров более высокого уровня в интегрированном виде отражали задачи и показатели менеджеров подчиненных структур.

В табл. 1 показан пример системы сбалансированных показателей, позволяющей оценить степень достижения целей системы управления знаниями. Подобные системы позволяют осуществлять мониторинг процессов управления знаниями и их соответствия процессам достижения стратегических целей предприятия.

Использование для диагностики метода *оценки зрелости системы* позволяет оценить существующую («как есть») СУЗ предприятия и создать пошаговый план действий для формирования желаемой системы («как надо»), определить, какие мероприятия и какие количественные показатели необходимы на каждом этапе ее развития, а также определить уровень достижения поставленных целей.

Для оценки зрелости СУЗ могут использоваться модели, включающие различные направления деятельности по управлению знаниями и комплекс мероприятий для их развития. Для оценки существующей системы может вводиться от 5 до 9 уровней зрелостей. В качестве примера рассмотрим пятиуровневую градацию [3]:

1) первый уровень – хаотично связанное со знаниями предприятие, осуществлено три мероприятия и менее;

2) второй уровень – осведомленное о знаниях предприятие, осуществлено четыре мероприятия и более, выбранных, как минимум, из двух направлений;

3) третий уровень – сфокусированное на знаниях предприятие, реализовано шесть и более мероприятий, выбранных, как минимум, по трем направлениям;

4) четвертый уровень – управляющее знаниями высокотехнологичное предприятие, реализовано более двух мероприятий в каждом из направлений;

5) пятый уровень – полностью сконцентрированное на знаниях наукоемкое высокотехнологичное предприятие, осуществлены все представленные мероприятия.

Таблица 1

Направление, цели		Показатели		
		конечного результата	опережающие	
Финансовое	Получить устойчивую прибыль	Рост прибыли. Рентабельность высокотехнологичного производства. Сокращение издержек производства. Снижение себестоимости продукции		
Потребительские	Повысить удовлетворенность клиентов	Емкость рынка высокотехнологичной продукции	Рыночная доля в целевом сегменте	
		Приобретение новых клиентов	Цены по сравнению с рынком	
		Удержание постоянных клиентов	Средняя стоимость заказа	
		Повторное обращение	Претензии по срокам и качеству	
Внутренние процессы	Научные исследования	Высокая доля исследовательских программ	Численность патентов на изобретения, полезные модели, ноу-хау	
		Выявление неявных знаний исследователей и специалистов	Количество разработок в посевной стадии	
	Разработки	Добиться совершенства продукции и технологий их производства	Рост производительности	Выполнение сменного задания
			Создание новых продуктов	Уровень автоматизации
	Инновационная деятельность	Увеличить долю наукоемкой инновационной продукции	Затраты на НИОКР, на приобретение лицензий, патентов, ноу-хау	Доля наукоемкой продукции в промышленном экспорте
			Прибыль от реализации инновационной продукции	Доля импортозамещающей высокотехнологичной продукции
			Наличие фондов на развитие инициативных разработок	Численность разработок для внедрения в производство
	Обучение и развитие	Повысить производительность труда и квалификацию персонала	Низкая текучесть высококвалифицированного персонала	Зарплата к среднеотраслевой
			Уровень подготовки и квалификация	Количество сотрудников, повысивших квалификацию
			Учебная база	Обучающие программы
	Управление знаниями	Получение нужной информации и знаний в нужное время	Повышение эффективности основных процессов	Сообщества практики
			Создание системы формализованных знаний	Карты знаний Базы знаний, системы поддержки

В зависимости от выполнения мероприятий, пример которых представлен в табл. 2, компаниям присваивается определенный уровень зрелости. Количество оцениваемых элементов СУЗ и число осуществляемых мероприятий в их рамках может быть различным. Главное, чтобы эти элементы и мероприятия полностью соответствовали целям и задачам, стоящим перед высокотехнологичным и наукоемким предприятием.

Таблица 2

Направления	Осуществляемые мероприятия
Процессы	1. Проведение бенчмаркинга и аудита текущего состояния. 2. Создание стратегии управления знаниями. 3. Внедрение новых систем организации сообществ. 4. Разработка процессов управления знаниями. 5. Осуществление исследовательских программ, определение направлений исследований и методологии их проведения. 6. Проведение опытно-конструкторских разработок
Персонал	1. Проведение ознакомительных мероприятий и тренингов по управлению знаниями. 2. Стимулирование и поощрение сотрудничества и командной работы. 3. Создание и развитие исследовательских сообществ. 4. Создание формальных сетей управления знаниями
Контент	1. Создание карт знаний. 2. Внедрение политик в области управления знаниями. 3. Оценка интеллектуального капитала. 4. Создание системы формализованных знаний в виде описаний изобретений, полезных моделей, ноу-хау, рацпредложений
Технологии	1. Проведение аудита и оценка систем управления знаниями. 2. Внедрение способов для обмена передовым опытом. 3. Использование ПО для управления знаниями (Инtranет, Group ware и т. д.). 4. Внедрение информационно-справочных систем, баз данных, экспертных систем

Зрелость предприятия в области управления знаниями может быть графически определена ее позиционированием в координатах основных элементов системы, которые определяют профиль СУЗ предприятия. Диаграмма профиля зрелости СУЗ компании показана на рис. 1. Профиль дает представление о возможностях эффективного управления знаниями предприятия и помогает определить для этого приоритетные направления, которые необходимо развивать для получения достойных результатов.

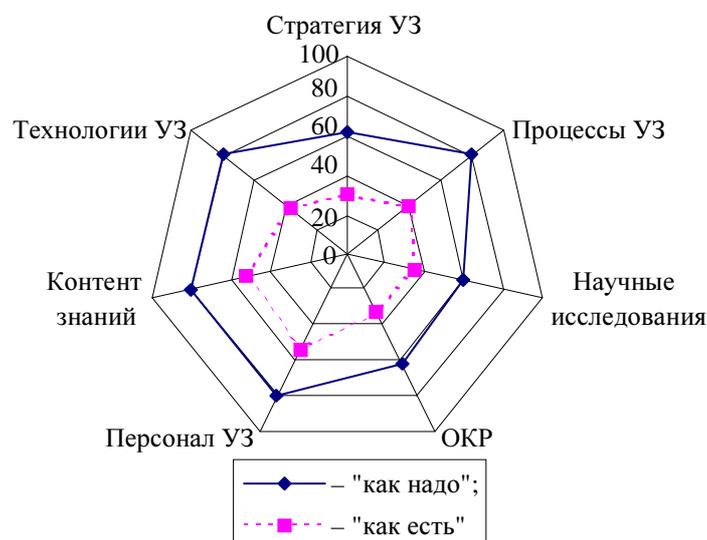


Рис. 1

Проведенный экспертный опрос позволил оценить эффективность рассмотренных методов диагностики. Результаты опроса сведены в табл. 3.

Экспертиза проводилась методом нестрогого ранжирования, поскольку некоторые оценки в ранжировке каждого эксперта могли быть равноценны. Вероятность ошибки для оценки статистической значимости принималась не превышающей 0.2. Результаты экспер-

тизы дают основание полагать, что наиболее предпочтительными для диагностики системы являются метод, основанный на оценке достижения сбалансированных показателей, и метод сходства. Как показывает практика, наиболее значимые результаты можно получить при их совместном использовании, поскольку они взаимно дополняют друг друга. При этом на первом этапе целесообразно осуществлять диагностику методом сходства, затем по ее результатам разработать проект организационных изменений в рассматриваемой области и уже на его основе разработать систему сбалансированных показателей, позволяющую осуществлять мониторинг реализации проекта организации исследований и разработок, сохранения и использования знаний в интересах достижения предприятием стратегических целей.

Таблица 3

Методы диагностики	Основные характеристики								Интегральная оценка мощности метода
	Достоверность результатов	Объективность результатов	Соответствие стратегическим целям	Степень интеграции	Всесторонность охвата	Численные показатели	Интерпретация результатов	Возможность сравнения	
Опрос и тестирование	Ниже средней	Ниже средней	Ниже средней	Ниже средней	Ниже средней	Ниже средней	Средняя	Ниже средней	0.10
Метод рейтингования	Средняя			Средняя					
Метод сходства		Средняя	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	0.25	
Оценка сбалансированных показателей	Высокая	Высокая							Высокая
Метод оценки зрелости системы	Ниже средней	Средняя	Средняя	Выше средней	Ниже средней	Ниже средней	Выше средней	Средняя	0.20

Проведением диагностики системы управления знаниями можно получить ответы на различные интересующие руководство предприятия вопросы [4]. А диагностика организационного знания и интеллектуальных ресурсов в целом позволяет сформировать стратегию проведения научных исследований и разработок, создания и использования знаний, как фундамента для будущего роста и устойчивого развития предприятия¹.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букович У., Уилльямс Р. Управление знаниями. Руководство к действию. М.: ИНФРА, 2002.
2. Нортон Д., Каплан Р. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. М.: Олимп-Бизнес, 2010.
3. Дрецинский В. А. Экономика и менеджмент знаний организации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
4. Мариничева М. К. Управление знаниями на 100 %. Путеводитель для практиков. М.: Альпина Бизнес букс, 2008.

V. A. Dreshchinsky

DIAGNOSTICS METHODS OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF KNOWLEDGE IN MODERN HIGH TECHNOLOGICAL ENTERPRISES

The article is devoted to the basic approaches of management of knowledge in high technology Russian enterprises. Comprehensible to use methods of diagnostics of management by research and development systems are offered.

The high technology enterprises, control system of knowledge of the enterprise and its elements, diagnostics methods of the management system of knowledge

¹ Сайт Технологии менеджмента знаний. Режим доступа //http://kmtec.ru.
Сайт Управление знаниями. Режим доступа //http://www.uni-dubna.ru.



УДК 341.39.

А. С. Пученков

**«БЫХОВСКАЯ ПРОГРАММА» ГЕНЕРАЛА
КОРНИЛОВА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В ФОРМИРОВАНИИ
ИДЕОЛОГИИ БЕЛОГО ДВИЖЕНИЯ**

Анализируется «Быховская программа» генерала Л. Г. Корнилова – один из важнейших документов Белого движения. Рассказывается о роли генерала А. И. Деникина в написании этого программного документа.

Быхов, генерал Л. Г. Корнилов, А. И. Деникин, Белое движение

Внимание исследователей истории Гражданской войны традиционно привлекает вопрос о партийном облике Белого движения, в частности, акцент делается на анализе доктрины «непредрешения» будущей формы правления в России, ставшей общей для белых сил. Почему белые не выбросили монархический флаг? Сумели ли бы они привлечь этим в свои ряды новых сторонников? Оправданно ли было «непредрешение» в условиях Гражданской войны? Когда и кем был впервые сформулирован этот лозунг? Была ли армия на самом деле внепартийна и аполитична, как это провозглашалось в белогвардейских агитках? Или же она была «классовой», а значит – проводила классово ограниченную политику, как об этом писали советские историки? На такие вопросы можно разбить эту проблему.

В сентябре 1917 г. началось так называемое «Быховское сидение» – так в исторической литературе и мемуаристике обычно называют пребывание генералов, будущих участников Белого движения, под арестом в Быхове за участие в августовском мятеже Верховного Главнокомандующего генерала Л. Г. Корнилова против Временного правительства А. Ф. Керенского. «Быховское сидение» сыграло огромную роль в формировании идеологии Белого движения. «Быховцы» будут занимать виднейшие посты в южно-русском Белом движении на всем протяжении Гражданской войны.

Напомним, что на момент возникновения «Алексеевской организации» – прообраза Добровольческой армии 2(15) ноября 1917 г. – Л. Г. Корнилов и еще несколько видных генералов – А. И. Деникин, А. С. Лукомский, И. П. Романовский, С. Л. Марков – находились в заключении в маленьком городке Быхов Могилевской губернии. Здесь, в здании старого католического монастыря, ставшего тюрьмой для арестованных генералов, зародилось Белое движение, здесь же были разработаны основные положения будущей политической платфор-

мы военной контрреволюции. В Быхове решался вопрос: продолжать ли начатое дело после неудачи корниловского выступления или считать его законченным. Все единогласно признали – продолжать, а генерал С. Л. Марков первым предложил создать армию из добровольцев.

Прошедшие с описываемых событий девять с лишним десятилетий породили разнообразную историческую литературу, затрагивающую «Быховское сидение». Все без исключения авторы – советские, эмигрантские, зарубежные и современные российские историки – сходились на том, что «Быховское сидение» сыграло огромную роль в формировании последующей идеологии Белого движения. Удивительная симфония взглядов столь разных авторов не может не удивлять. «“Быховское сидение”, – писал автор одной из первых советских работ о Белом движении Д. Кин, – дало возможность военным вождям контрреволюции в полном спокойствии учесть уроки августовского мятежа Корнилова и выработать программу будущих действий» [1, с. 5]. В свою очередь, во втором томе «Истории гражданской войны», текст которой вычитывал сам И. В. Сталин, говорилось о том, что в Быхове «участники недавнего мятежа могли спокойно разрабатывать планы нового заговора», готовя кадры для «нового похода против народа» [2, с. 47.] Схожим образом рассуждал и примкнувший к советской власти бывший царский генерал М. Д. Бонч-Бруевич, писавший в своих тенденциозных воспоминаниях о том, что «пребывание в Быхове было использовано Корниловым для того, чтобы сколотить штаб будущей белой армии». По словам М. Д. Бонч-Бруевича, в Быхове Л. Г. Корнилов «подготавливал кровопролитную гражданскую войну на Юге России» [3, с. 191–192].

Академик И. И. Минц в своем классическом труде «История Великого Октября» подчеркивал, что охраняемый верными ему текинцами Л. Г. Корнилов в комфортной обстановке «имел возможность целиком отдаться подготовке нового заговора». По утверждению И. И. Минца, в Быхове «тайно от народа составлялся новый план разгрома революции» [4, с. 684].

Высокопоставленные арестанты действительно имели массу времени для обсуждения всех интересующих их проблем. Разговоры неизбежно затрагивали и политику. Как вспоминал генерал А. И. Деникин: «Все разговоры сводились, однако, в конце концов к одному вопросу, наиболее мучительному и больному – о русской смуте и о способах ее прекращения» [5, с. 90]. Арестанты держались преимущественно вместе, лишь Л. Г. Корнилов, которого все продолжали называть «Верховный», по целым дням не выходил из своей комнаты. Отдельные комнаты были только у Л. Г. Корнилова и А. С. Лукомского; на предложение Л. Г. Корнилову занять две комнаты Лавр Георгиевич отвечал, что прибережет вторую для «товарища Керенского». В любой момент генералы могли покинуть тюрьму, но побег исключался, так как это сыграло бы на руку А. Ф. Керенскому, подтвердив выдвинутые им в адрес Л. Г. Корнилова обвинения.

Заключенные единогласно постановили продолжать свое дело; по инициативе бывшего депутата Государственной думы А. Ф. Аладьина нашлось немало защитников создания «корниловской политической партии». Очень ярко настроение «быховцев» выразил в своем тюремном дневнике генерал С. Л. Марков: «Можно ли нам поставить “точку”? Мне кажется, нет, иначе все движение приобретает характер авантюры. Помощь материальная тоже должна быть организована» [6, с. 38]. Вскоре узниками была составлена утвержденная Л. Г. Корниловым так называемая «корниловская программа», заключавшая в себе следующие положения:

1. Установление правительственной власти, совершенно независимой от всяких безответственных организаций – впредь до Учредительного собрания.

2. Установление на местах органов власти и суда, независимых от самочинных организаций.

3. Война в полном единении с союзниками до заключения скорейшего мира, обеспечивающего достояние и жизненные интересы России.

4. Создание боеспособной армии и организованного тыла – без политики, без вмешательства комитетов и комиссаров, с твердой дисциплиной.

5. Обеспечение жизнедеятельности страны и армии путем упорядочения транспорта и восстановления продуктивности работы фабрик и заводов; упорядочение продовольственного дела привлечением к нему кооперативов и торгового аппарата, регулируемых правительством.

Разрешение основных государственных, национальных и социальных вопросов откладывается до Учредительного собрания [5, с. 99].

«Корниловская программа» (иногда ее называют «Быховской программой») была составлена, что называется, на перспективу – иначе говоря, на случай возобновления прерванной арестом Л. Г. Корнилова и его сподвижников борьбы, составлялась, чтобы никто не мог упрекнуть «быховцев» в отсутствии у них политической программы. В одной из своих неопубликованных рукописей вождь Белого движения генерал А. И. Деникин писал: «...Так называемая “Быховская программа”, которую, кстати, составлял я (при участии некоторых узников), имела чисто деловой характер – водворение в стране спокойствия и порядка, никакого устройства будущей России вообще не предreshала и не обещала...» [7, л. 61]. А в знаменитых «Очерках русской смуты» А. И. Деникин утверждал, что он был против создания «корниловской политической партии» как «не соответствовавшей ни времени и месту, ни характеру корниловского движения, ни нашему профессиональному призванию» [5, с. 99]. В качестве знамени будущей борьбы А. И. Деникину виделось «имя Корнилова... вокруг которого соберутся общественные силы, политические партии, профессиональные организации – все те элементы, которые можно объединить в русле широкого национального движения в пользу восстановления русской государственности» [5, с. 98–99]. А. И. Деникину казалось, что сторонникам Л. Г. Корнилова необходимо стать в стороне от «всяких политических течений» и лишь затем восполнить пробел прошлого, объявив «строго деловую программу – не строительства, а удержания страны от окончательного падения» [5, с. 99]. Эти взгляды легли в основу «корниловской программы», основным составителем которой и был А. И. Деникин. В печати «корниловская программа» появилась не датированной, под видом программы августовского выступления генерала Л. Г. Корнилова.

Несмотря на свой закрытый характер, значение «Быховской программы» трудно переоценить. Представляется, что даже при учете «делового характера» этого политического документа нельзя отрицать того, что он в серьезной мере выражал действительные взгляды «быховских сидельцев», в том числе и самого генерала Л. Г. Корнилова. «Быховская программа» во многом предвосхитила и базовые принципы всей идеологии Белого дела. Об этом говорит хотя бы то обстоятельство, что уже в «Быховской программе» был выдвинут главный принцип политической программы Белого движения – «непредreshение» впредь до созыва Всероссийского Учредительного собрания окончательного решения основных вопросов общерусской государственной жизни. Белогвардейцы считали для себя невозможным предопределять форму государственного устройства освобожденной от большевиков России. Много лет спустя, уже в эмиграции, А. И. Деникин напишет в одном из писем писателю И. Ф. Наживину: «В вопросе о будущей форме правления в России я стою, как и раньше, на точке зрения “непредreshения”. Не для “маскировки”, не по тактическим соображениям, а потому, что в данное время **не знаю** [выделение принадлежит А. И. Деникину – Авт.], ка-

кая форма будет целесообразнее, приемлемее для народа, устойчивее – после русского землетрясения. Как не знает никто» [8, л. 4]. В этих строчках присутствует столь редко встречающееся у русских властителей уважение к собственному народу и его позиции, в них нет желания навязать народу «счастье», не интересуясь его собственным мнением.

При выбрасывании лозунга «непредрешения», вероятно, узники руководствовались не только вышеприведенными этическими, но и сугубо прагматическими соображениями – идея монархии, а в особенности ассоциация с Романовыми, были непопулярны. По замечанию известного историка и политического деятеля С. П. Мельгунова, «непредрешенство Белого движения свидетельствовало о том, что “контрреволюция” в смысле реставрации не имела под собой почвы в стране» [9, с. 23.]. Кроме того, сам генерал Л. Г. Корнилов не питал никакой симпатии к павшей династии; так Лавр Георгиевич принимал участие в аресте царской семьи в Александровском дворце в марте 1917 г., прослав после этого в монархических кругах «красным генералом». Помимо этого непредрешенство может быть объяснено и традиционными для офицерской среды представлениями о неучастии армии в политических спорах. Личные политические пристрастия в данном случае, как думалось, должны отойти на второй план, а армия должна быть внепартийной организацией. Вместе с тем декларируемая и задумываемая аполитичность армии в действительности не могла быть реализована на практике, реалии Гражданской войны были таковы, что «аполитичность» армии не могла не быть химерой. Антибольшевизм, по сути своей, уже представлял собой определенную политику.

Как уже говорилось, «быховцы» придавали политическим декларациям малое значение. Да и впоследствии руководством Белого движения четко осознавалось, что политическая обстановка, равно как и градус настроения российского общества, могут поменяться, и тогда «из рукава» можно извлечь припрятанный – тот или иной – лозунг. Член Особого совещания уже при А. И. Деникине Н. Н. Чебышев писал в эмигрантской газете «Новое время»: «Со времен Корнилова отсутствие политического уточнения, объединение всех под сенью идеи спасения страны от неминуемой гибели через большевиков – расширяло кадры идейных борцов, в которых и была вся суть. В душе у каждого лежал запечатанный пакет, который надлежало вскрыть после, где-то под Москвой, или в Москве, или еще позже, когда что-то выяснится, кто-то соберется. Этим может быть нарушалось единство в общении, порождало лишние поводы к возможным антипатиям в частях. Но я не знаю случая, чтобы разномыслие по вопросу о будущей форме правления помешало выполнению воинского долга или вообще повредило делу борьбы, нарушив должную согласованность действий против врага...» [10, с. 2–3].

Любопытную зарисовку политических идеалов белогвардейцев в ту пору оставил в своих воспоминаниях генерал-казак Н. В. Шинкаренко, к слову сказать, по своим убеждениям – немонархист: «За что воюем? Против чего, – это мы знали и ощущали отчетливо. Против изменников большевиков. Против всего сволочного для нас социализма, под какими бы названиями он ни шел. Против всех товарищей. И последним пунктом, против всех изменников сепаратистов, как бы они не звались, украинцами, гетманцами, петлюровцами или еще как. Тут все ясно. Но вот **за что?** Чтобы что именно сделать? Точных мыслей не имел никто из нас. А, оставаясь в области неточной и по существу своему инстинктивной, каждый из нас воевал за то, чтобы сделать жизнь и свою и других по возможности похожей на то, что было раньше до революции. Определялась эта похожесть сообразно вкусам каждого. Но, вкусы это мечты. На практике же, подчинение тому, что велит начальство. Непредрешающее...» [11, л. 69].

Историк генерал Н. Н. Головин так объяснял «непредрешенство» «Быховской программы»: «Подобно белому цвету, представляющему собой синтез всех цветов спектра, Белое движение ожидало, что победа над врагом Великой России сама по себе приведет к примирению всех борющихся партий, классов и других социальных группировок. Эта мечта оказалась силой и в то же время слабостью Белого движения...» [12, с. 246]. Сложно ответить на вопрос: расширял или, напротив, сужал лозунг «непредрешения» ряды сторонников Белого движения. Однозначного ответа тут быть не может. Большинство офицеров, не интересуясь политикой, придерживались монархических убеждений. Последнее не означает, что это был осознанный выбор, скорее это был стихийный монархизм, некая генетическая установка. Кроме того, сама идея монархии воспринималась как нечто естественное и привычное, не нуждающееся в критическом анализе. Помимо всего прочего в сознании офицерства образ сильной, могучей России, державы, к мнению которой прислушиваются в международной политике, прочно увязывался с монархическим строем, воспоминания о котором были еще свежи в памяти. С этой точки зрения открытое выставление монархического знамени и провозглашение реставрации в качестве цели Белой борьбы могло бы, возможно, увеличить количество вооруженных участников Белого движения. Вместе с тем позиция вождей движения, придерживавшихся «непредрешенства» еще со времен «Быховского сидения», также имела свои очевидные плюсы и была логична.

«Быховский этап» сыграл важнейшую роль в последующей истории Белого движения. В Быхове были заложены основы программы Белого движения, сложились предпосылки для возникновения в недалеком будущем такой крупной антибольшевистской военной организации, как Добровольческая армия. «Быховцы» же стали вождями южно-русского Белого движения, занимая в течение всей Гражданской войны самые крупные посты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кин Д. Деникинщина. Л.: Прибой, 1927.
2. История гражданской войны в СССР. М.: ОГИЗ, 1947. Т. II.
3. Бонч-Бруевич М. Д. Вся власть Советам! М.: Воениздат, 1964.
4. Минц И. И. История Великого Октября. М.: Наука, 1977. Т. II.
5. Деникин А. И. Очерки русской смуты. М.: Айрис-прес, 2003. Т. II.
6. Рай за решеткой. Из тюремного дневника мятежного генерала Маркова (1917) / Публ. А. И. Ушакова // Родина. 1990. № 10.
7. Bakhmeteff archive. Anton & Kseniia Denikin collection. Box 10. Рукопись А. И. Деникина «Навет на белое движение».
8. Российский государственный архив литературы и искусства (РГАЛИ), ф. 1115, оп. 4 (И. Ф. Наживин), ед. хр. 68.
9. Мельгунов С. П. Российская контрреволюция. (Методы и выводы ген. Головина). Доклад в Академическом Союзе 17 июня 1938 г. Париж: Изд-во Академ. Союза, 1938.
10. Чебышев Н. *Idola fori* // Новое время. Белград. 1924. 23 авг.
11. Центральный музей Вооруженных сил (ЦМВС). Документальный фонд. ф. Собрание музея «Родина». Воспоминания генерала Н. В. Шинкаренко.
12. Головин Н. Н. Российская контрреволюция в 1917–1918 гг. М.: Айрис-Прес, 2011. Т. I.

A. S. Puchenkov

GENERAL KORNILOV'S «BYKHOVSKAYA PROGRAM» AND ITS ROLE IN THE WHITE MOVEMENT IDEOLOGY

General Kornilov's «Bykhovskaya program» is analyzed in the article – one of the most important documents of the White Movement. Also it shows the role of general Denkin in creation of this document.

Bykhov, the generals L. G. Kornilov, A. I. Denikin, the White movement

Сведения об авторах

Авдеев Борис Яковлевич

Профессор кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ,
д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: bya-avdeev@rambler.ru.

Андреев Валерий Сергеевич

Студент гр. 6301 кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (904) 633-57-90. E-mail: walek7@yandex.com.

Аньчков Максим Геннадьевич

Аспирант кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-30-16. E-mail: qwer.neo@gmail.com.

Белов Михаил Петрович

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

Тел.: (812) 346-12-48. E-mail: milesa58@mail.ru.

Барановский Максим Владимирович

Аспирант кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (904) 559-03-11. E-mail: maxim.bmw.spb@gmail.com.

Богданов Александр Владимирович

Директор НОЦ «Метакомпьютинг» СПбГЭТУ, профессор кафедры вычислительной
техники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: 920-82-92. E-mail: bogdanov@csa.ru.

Боронахин Александр Михайлович

Доцент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, канд.
техн. наук.

Тел.: (812) 234-08-14. E-mail: boronachin@mail.ru.

Булашевич Александр Евгеньевич

Старший научный сотрудник ООО «Одитек», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 685-35-78. E-mail: bae47@yandex.ru.

Бутусов Денис Николаевич

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 008-71-90. E-mail: denorc@gmail.ru.

Вейнмейстер Андрей Викторович

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 934-27-40. E-mail: dron_wein@mail.ru.

Глинский Геннадий Федорович

Профессор кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: +7 (904) 630-86-17. E-mail: genaglinskii@mail.ru.

Грачева Ирина Евгеньевна

Доцент кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-30-16. E-mail: IEGrachova@mail.ru.

Гуляева Ольга Анатольевна

Доцент кафедры инновационного менеджмента СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 908-19-30. E-mail: oaioa@mail.ru.

Дрецинский Владимир Александрович

Профессор кафедры инновационного менеджмента СПбГЭТУ, д-р воен. наук, профессор.

Тел.: (812) 346-44-86.

Друян Евгений Васильевич

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: druian@yandex.ru.

Квиникадзе Гурам Элгуджевич

Травматолог-ортопед Елизаветинской больницы.

Тел.: (812) 556-82-89. E-mail: Guram88@inbox.ru.

Котова Елена Евгеньевна

Доцент кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-37-98. E-mail: apu_kotova@mail.ru.

Линник Станислав Антонович

Заведующий кафедрой травматологии и ортопедии Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И. И. Мечникова, д-р мед. наук, профессор.

Тел.: (812) 543-80-54. E-mail: stanislavlinnik@mail.ru.

Лукомский Юрий Александрович

Заведующий кафедрой корабельных систем управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-16-45. E-mail: loucomsqui@mail.ru.

Мардас Дмитрий Анатольевич

Аспирант кафедры инновационного менеджмента СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 355-50-51. E-mail: denmarru@mail.ru.

Молдовян Александр Андреевич

Профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-28-27. E-mail: maa1305@yandex.ru.

Писарев Андрей Сергеевич

Преподаватель кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 951-23-99. E-mail: a_pisarev@mail.ru.

Поляхов Николай Дмитриевич

Профессор кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: ndpol@mail.ru.

Приходько Ирина Аркадьевна

Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 966-42-74. E-mail: irinaprihodko@mail.ru.

Путов Виктор Владимирович

Заведующий кафедрой систем автоматического управления СПбГЭТУ, декан ФЭА, профессор, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Путов Антон Викторович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: anputov@yandex.ru.

Пученков Александр Сергеевич

Доцент кафедры истории культуры, государства и права гуманитарного факультета СПбГЭТУ, докторант Санкт-Петербургского института истории РАН, канд. ист. наук.

Тел.: +7 (921) 346-98-67.

Ранков Максим Михайлович

Травматолог-ортопед Санкт-Петербургской городской многопрофильной больницы № 2, аспирант.

Тел.: (812) 510-93-35. E-mail: orthomax@yandex.ru.

Савельев Даниил Михайлович

Инженер кафедры автоматике и процессов управления СПбГЭТУ.

E-mail: saveljev.dan@gmail.com.

Самсонов Сергей Юрьевич

Травматолог-ортопед Елизаветинской больницы.

Тел.: (812) 556-82-89. E-mail: serge.samsnow@gmail.com.

Тхурейн Киав Левин

Аспирант кафедры вычислительной техники и информационной технологии СПбГМТУ.

Тел.: +7 (951) 664-72-36. E-mail: phothar83@gmail.com.

Федоров Александр Алексеевич

Магистрант кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 559-79-37. E-mail: a.fedorov.work@gmail.com.

Филатов Денис Михайлович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, аспирант.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: DenF2412@list.ru.

Ха Мань Тханг

Аспирант кафедры корабельных систем управления СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-16-45. E-mail: hqlen201004@gmail.com.

Хо Нгок Зуй

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 369-67-89. E-mail: aimezthngocduy207@yahoo.com.

Чан Танг Дык

Аспирант кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-08-14. E-mail: tduc83@mail.ru.

Шелудько Виктор Николаевич

Первый проректор СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (812) 234-25-39. E-mail: VNSheludko@eltech.ru.

Шестопалов Михаил Юрьевич

Проректор по научной работе СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 946-01-18. E-mail: shestopalov_08@mail.ru.

Шпекторов Андрей Григорьевич

Доцент кафедры корабельных систем управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-16-45. E-mail: spect_ag@mail.ru.

Шукейло Юрий Александрович

Доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (812) 346-29-17. E-mail: yashukeylo@yandex.ru.

Щеглов Олег Владимирович

Травматолог-ортопед кафедры травматологии и ортопедии Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И. И. Мечникова, аспирант.

Тел.: (812) 543-80-54. E-mail: stanislavlinnik@mail.ru.

Якупов Олег Эльдусович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: elckooo@gmail.com.

Яхнев Александр Николаевич

Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ, инженер-программист ООО «Одитек».

Тел.: +7 (981) 128-10-98. E-mail: Aleksandr@Yahnev.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 (статья должна быть объемом 4–8 маш. с., обзорная статья – до 16 маш. с.);
 - сведения об авторе(ах);
 - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
 - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
 - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

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

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

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

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

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Times New Roman» 14 pt; межстрочный интервал одинарный); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

Перечень авторов разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Times New Roman» 12 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman» 14 pt; жирный; выравнивание по левому краю; отступы слева и справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него – 12 pt; межстрочный интервал одинарный).

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.75 см; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал одинарный).

Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него 9 pt; межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

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

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

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

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 8 pt, «символ» 14 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив; интервалы: перед формулой 6 pt, после нее 6 pt.

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

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом; интервалы: перед таблице 4 pt, после нее 4 pt.

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

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и

обозначения на рисунке даются шрифтом размером 10 pt, индексы 8 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок и номер рисунка даются курсивом. Буквенные обозначения фрагментов рисунка (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) ставятся внизу фрагмента; интервалы: перед рисунком 6 pt, после него 6 pt.

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

Перечень основных тематических направлений журнала:

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

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

Технические вопросы можно выяснить по адресу: Izvestiya-leti@yandex.ru