

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. Курьянов
("Информатика, управление
и компьютерные технологии")
В. В. Путов
("Автоматизация
и управление")
Г. И. Прокофьев
("Электротехника")
Ю. В. Филатов
("Приборостроение
и информационные
технологии")
В. В. Шаповалов
("Биотехнические системы
в медицине и экологии")
С. А. Степанов
("Управление качеством,
инновационный
и антикризисный менеджмент")
О. Ю. Маркова
("Гуманитарные науки")
О. Г. Вендик
("История науки,
образования и техники")
Н. В. Лысенко
("Современные технологии
в образовании")

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

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

- Крупальник К. М., Корнилов Н. А., Кондратьева Т. А.*
Реактор для длительной высокотемпературной
обработки полупроводниковых пластин 3
*Богачев Ю. В., Драпкин В. З., Князев М. Н.,
Фролов В. В., Черненко Ю. С.* ДПЯ-томография
свободнорадикальных состояний биологических объектов 8
Афанасьев В. П., Мухин Н. В., Семенов А. В., Чигирев Д. А.
Моделирование неидеальных петель гистерезиса тонкопленочных
конденсаторных структур на основе цирконата-титаната свинца 17

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Петров Д. Л., Кротов С. В., Митяков А. В.* Модель системы
MapReduce, основанная на инфраструктуре облачных вычислений ... 25
*Голубев И. А., Курьянов М. С., Павлухин И. С., Серебрянский Д. А.,
Холод И. И.* Система восстановления моделей информационных
бизнес-процессов в унаследованных ИТ-системах 31
Бурков Е. А., Карпачевский А. В., Падерно П. И.
Оценка компетентности экспертов на основе
результативности их участия в экспертизах 38
Бровкина Л. А., Смирнова В. А. Анализ сингулярного
спектра в задаче логистики 44
Жуков К. Г. Синтез цифрового генератора
на основе рекуррентных выражений 49
Бутусов Д. Н., Андреев В. С. Модельное проектирование
генератора гармонических сигналов на базе плис 55
*Афанасьев А. Н., Кабацкий А. В., Кутузов А. А., Фридман А. С.,
Шейнман Е. Л.* Архитектура программного обеспечения
обработки и 3d визуализации информации системы
гидроакустического мониторинга акватории 60
*Афанасьев А. Н., Васильева А. Ю., Губарев Н. В., Чекашева Н. А.,
Шейнман Е. Л.* Организация интерфейсов пользователя
подсистемы 3d визуализации информации системы
гидроакустического мониторинга акватории 64
Воронов Ю. В., Дмитриев Г. И., Законников Е. А., Мейев В. А.
Принципы реализации контента сайта системы сбора и обработки
данных о научно-образовательной деятельности вузов 69
Алексеев А. А., Шевцов И. В., Шестопалов М. Ю.
Диагностика технологического процесса формирования свойств
никелевого порошка с использованием нечеткой модели 74

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Шестопалов М. Ю., Путов В. В., Анушина Е. С., Казаков В. П.,
Путов А. В., Русяева Т. Л., Стоцкая А. Д., Филатов Д. М.*
Автоматизированная установка для изготовления
профилированных кристаллов термоэлектрических материалов 78

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Боронахин А. М., Бохман Е. Д., Ларионов Д. Ю.,
Подгорная Л. Н., Шальмов Р. В.* Мобильная
инерциальная система мониторинга рельсового пути 84

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Входной электрический импеданс широкополосного преобразователя, излучающего в жидкость 91

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

Захаров И. С., Казанцева А. Г. Разработка и экспериментальная проверка математических моделей динамики гальванотаксиса инфузорий для биотестирования водных сред 99

Ландау И. Н., Попечителев Е. П., Стома Е. И. Мембранный кислородный полярографический датчик для аппаратуры искусственной вентиляции легких 105

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Алексеев В. В., Королев П. Г., Коновалова В. С., Комшилова К. О., Калякин И. В. Организация исследовательского лабораторного практикума по дисциплине "Локальные измерительно-вычислительные системы" на базе программируемых логических контроллеров 113

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Магомедов М. Н., Звонцов А. В. Методика обоснования экономической эффективности внедрения автоматизированных систем управления (на примере газодобывающего предприятия) 119

Житенева М. И. Экологическая безопасность: учет экологического фактора в международных и европейских стандартах оценки 126

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Степанова Н. В. Специфика языка экономической прессы в кризисные периоды (на материале англоязычной периодики 2008–2009 гг.) 130

Божкова С. Г. К вопросу о новых российских источниках по истории испаноязычных стран Америки (1812–1916 гг.) 135

Сведения об авторах 142

Правила представления рукописей авторами 149

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России

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

Учредитель:

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

Свидетельство о регистрации

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

* * *

Редакторы:

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

Подписано в печать 14.12.11 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 19.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)

Заказ 156.

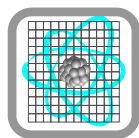
Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

197376, Санкт-Петербург,

ул. Проф. Попова, 5

Тел.: (812) 346-45-23

Факс: (812) 346-28-56



УДК 621.315.592

К. М. Крупальник, Н. А. Корнилов, Т. А. Кондратьева

РЕАКТОР ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Рассмотрены особенности конструкции различных типов реакторов для высокотемпературной обработки полупроводниковых пластин. Предложена экспериментальная конструкция реактора, позволяющая реализовать процесс длительной высокотемпературной обработки с температурами до 1300 °С в течение 120 мин. Технологические параметры были экспериментально подтверждены на оборудовании компании «Закрытое акционерное общество «Научное и технологическое оборудование»» (ЗАО «НТО», торговая марка «Semi-TEq»). По результатам работы были поданы заявки № 2011115281/(022650) и № 2011115283/(022652) на получение патентов на полезную модель.

Термическая обработка, быстрый термический отжиг

Конструкции реакторов для температурной обработки. Традиционными системами для термической обработки полупроводниковых пластин являются печи с реакторами, выполненными из кварца. Наиболее распространенными в России на данный момент являются протяженные кварцевые реакторы – «кварцевые трубы» с максимальным диаметром обрабатываемого образца до 100 мм. Такие реакторы используются для длительных процессов температурной обработки, отжига, модификации поверхности полупроводниковых пластин различных материалов [1]. Типичное применение подобных реакторов – длительная, до двух часов, обработка при высоких температурах (до 1250 °С). Максимальная температура в данном случае ограничена температурой деградации реактора, обусловленной физическими свойствами кварца [2]. Как правило, подобные реакторы имеют низкие скорости нагрева и охлаждения образца, т. е. высокую инерцию процесса, которая исключает возможность проведения быстрых и многостадийных процессов термической обработки. К недостаткам данного типа реакторов также можно отнести малые габариты обрабатываемых образцов.

В современных лабораториях университетов, как и в лабораториях пилотных производств в области микроэлектроники, необходимо универсальное оборудование, сочетающее в себе не только возможность проведения высокотемпературных процессов, но и возможность быстрых контролируемых многостадийных процессов термической обработки.

При этом ключевыми технологическими характеристиками реакторов для температурной обработки следует считать максимальную температуру, время процесса, максимальные скорости нагрева и охлаждения образца, возможность обработки образцов разных размеров [3].

На сегодняшний день наиболее распространенными системами, обладающими большинством из описанных характеристик, являются компактные установки быстрой термической обработки. Такие установки имеют все достоинства традиционных «кварцевых труб», однако конструкция реактора в совокупности с нагревательными элементами на основе галогенных ламп накаливания позволяют достигать высоких скоростей нагрева образцов. Нагрев образцов в таком реакторе происходит радиационным способом – кварц оптически прозрачен в диапазоне излучения галогенных ламп накаливания [4]. В подобных установках также имеются широкие возможности по обработке образцов разных диаметров, вплоть до 300 мм. Однако основной проблемой таких систем является сложность реализации длительных (до 1 ч) процессов при температурах порядка 1300 °С. Авторами данной статьи была предложена экспериментальная конструкция реактора для компактной установки быстрой термической обработки, сочетающая в себе возможность проведения процессов длительной высокотемпературной обработки полупроводниковых пластин с возможностью быстрого нагрева и охлаждения пластин и проведения многостадийного процесса по заданным параметрам.

Экспериментальная конструкция реактора. Как было отмечено, основным недостатком большинства реакторов для термической обработки, с точки зрения длительности и максимальной температуры процесса, является материал, из которого изготовлен корпус реактора, – кварц. Кроме того, форма корпуса во многом определяет эффективность нагрева образца внутри реактора. Для обеспечения возможности достижения более высоких температур процесса (до 1300 °С) авторами настоящей статьи была выбрана конструкция корпуса реактора из нержавеющей стали. Для обеспечения охлаждения стенок конструкция реактора была выполнена с двойными стенками, пространство между которыми предназначено для циркуляции охлаждающей жидкости, например воды.

Форма корпуса реактора выбиралась с учетом экспериментальных данных, полученных на имеющихся в ЗАО «НТО» установках быстрого термического отжига. На рис. 1 и 2 представлен график скорости нагрева образца в зависимости от расстояния нагреватель–образец. Как видно из графика, для увеличения скорости нагрева необходимо уменьшать расстояние между образцом и нагревателем. В то же время при использовании нагревательного элемента на основе галогенных ламп накаливания возникает проблема однородности нагрева. При значительном приближении образца к нагревателю однородность нагрева уменьшается, при этом на образце проявляются «горячие» зоны, соответствующие форме вольфрамовых спиралей галогенных ламп. Для уменьшения этого эффекта образец необходимо располагать на расстоянии 40...60 мм от нагревателя [5] или использовать термостатирующий элемент, например, из пиролитического графита.

На рис. 1 и 2 представлен график процесса нагрева полупроводниковой пластины до 1300 °С. В качестве начальной температуры была выбрана температура 150 °С. Заданное время выдержки температуры 1300 °С – 360 с. Эксперименты производились на одной и той же экспериментальной установке с нагревателем на основе галогенных ламп. Нагрев осуществлялся с помощью внешнего нагревателя через кварцевое стекло. Температура измеря-

лась при помощи пирометра и термопар. В первом случае образец находился на расстоянии 80 мм от нагревателя. Скорость нагрева при этом составила порядка 10 °С/с. Скорость нагрева при приближении образца к нагревателю до расстояния 40 мм составила 60 °С/с.

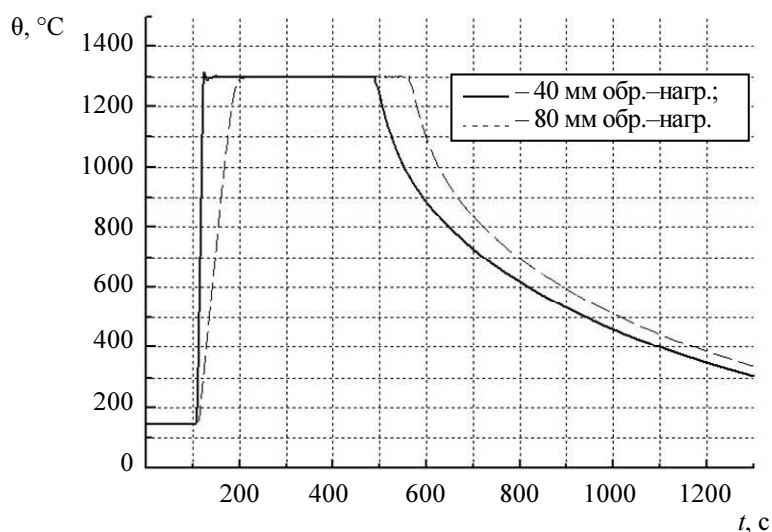


Рис. 1

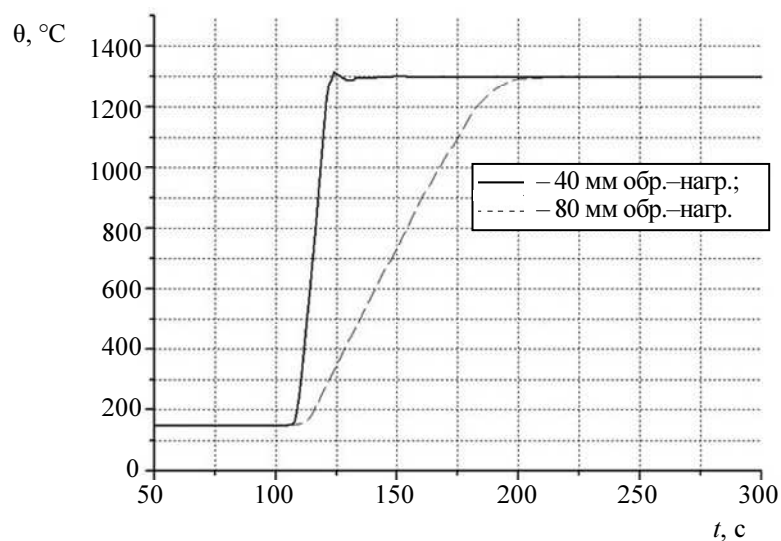


Рис. 2

На рис. 3–5 представлены эскизы конструкции экспериментального реактора. На рис. 3 обозначены: 1 – образец; 2 – корпус с двойными стенками; 3 – пространство для охлаждающей жидкости; 4 и 5 – патрубки для подачи охлаждающей жидкости; 6 – отверстие в корпусе для кварцевого окна; 7 – кварцевое окно; 8 – высокотемпературное уплотнение; 9 – галогенные лампы; 10 – держатели образца; 11 – устройство для перемещения образца относительно нагревателя; 12 – отражатель излучения ламп; 13 – система охлаждения отражателя; 14 – дополнительный корпус для размещения механизмов и средств измерения; 15 – система охлаждения корпуса; 16 – отверстия для ввода пирометров; 17 – загрузочное отверстие; 18 – дверца камеры; 19 – система охлаждения дверцы; 20 – пневматический привод дверцы; 21 – отверстие для откачки камеры; 22 – отверстие для напуска газа; 23 – заглушка; 24 – система охлаждения заглушки.

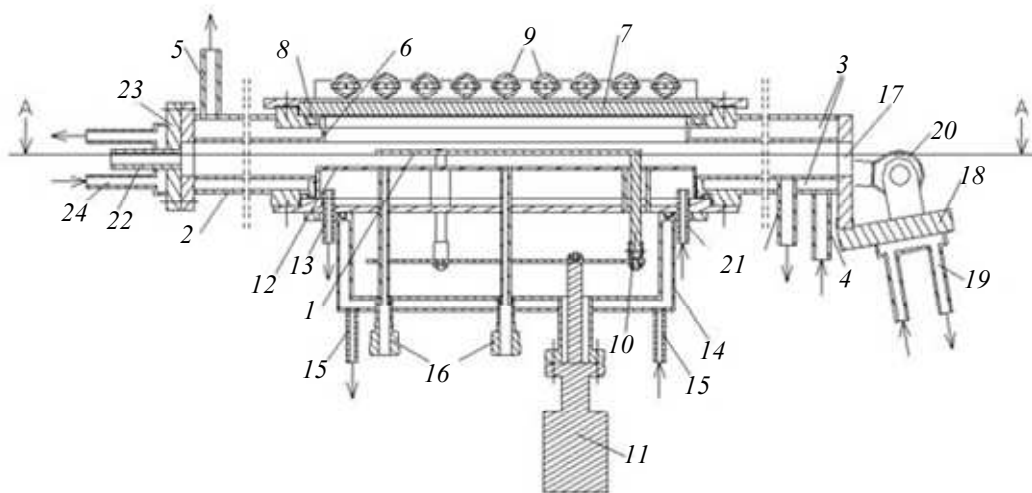


Рис. 3

Как видно из рис. 3, корпус реактора имеет плоскую форму для оптимизации расстояния между нагревателем и образцом. Такая конструкция также позволяет разместить измерительные приборы непосредственно под пластиной, что дает возможность избежать эффекта «засветки» пирометров излучением галогенных ламп. В составе реактора есть устройство, позволяющее перемещать образец относительно нагревательного элемента (позиции 10 и 11 на рис. 3) и тем самым оказывать влияние на скорость и однородность нагрева образца. Скорость и однородность нагрева образца меняются при перемещении образца вверх и вниз относительно нагревателя. Диапазон расстояний образец–нагреватель составляет 35...55 мм.

Такое устройство также позволяет производить загрузку и выгрузку образца в автоматическом режиме и может быть включено в систему обратной связи для контроля параметров осуществляемого процесса. При этом температура процесса контролируется оптическими пирометрами, которые устанавливаются в дополнительный корпус реактора (позиции 14 и 16 на рис. 3). Важнейшим преимуществом такого механизма является возможность после проведения процесса опустить образец на водоохлаждаемый отражатель (позиции 1 и 12 на рис. 3). При этом достигаются высокие скорости охлаждения образца в диапазоне температур ниже 200 °С, что позволяет сократить время процесса на 20...30 мин.

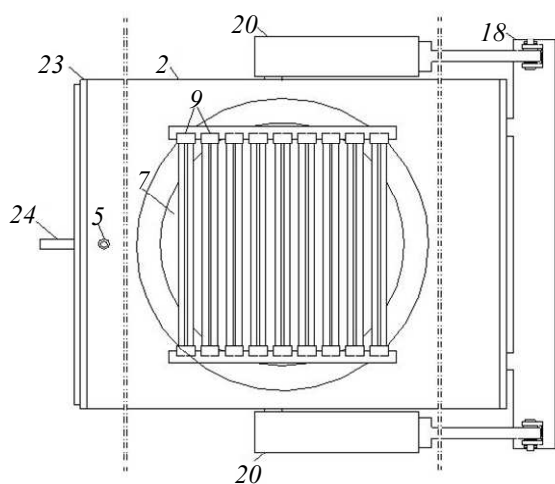


Рис. 4

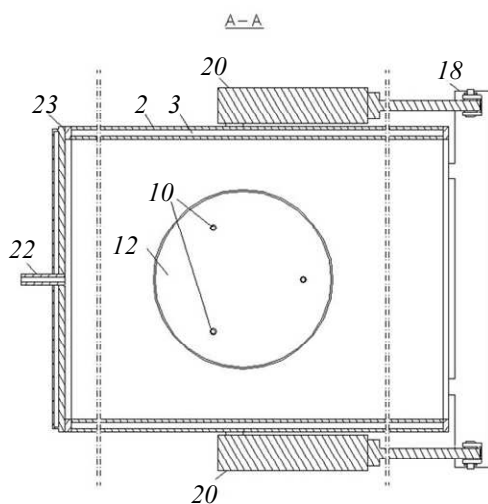


Рис. 5

Устройство автоматической загрузки и выгрузки образца из реактора в совокупности с системой перемещения образца описано авторами статьи в заявке № 2011115281/(022650) на получение патента на полезную модель «Устройство для загрузки и извлечения полупроводниковых пластин в реактор и из реактора для термической обработки». Эскизы на рис. 3–5 являются частью заявки № 2011115283/(022652) на получение патента на полезную модель «Реактор для термической обработки полупроводниковых пластин в газовой среде или вакууме».

При помощи макета экспериментальной конструкции реактора была получена кривая нагрева, представленная на рис. 6 и 7.

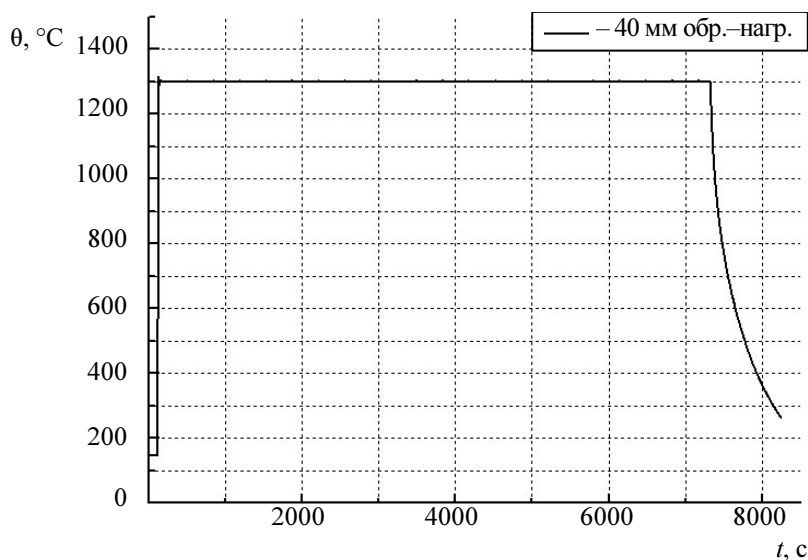


Рис. 6

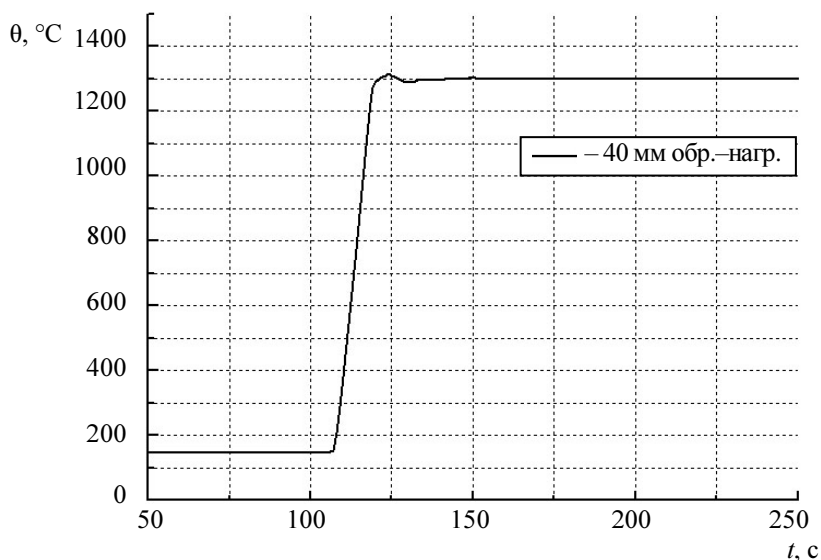


Рис. 7

Скорость нагрева образцов составила до 80 °C/с. В течение всего времени выдержки – 120 мин при температуре 1300 °C система работала стабильно. Полученные результаты свидетельствуют о правильном выборе конструкции реактора для установок длительной высокотемпературной обработки.

«Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ (грант 10-03-00845-а)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fiory A. T. Rapid Thermal Processing for Silicon Nanoelectronics Applications // J. of the Minerals, Metals and Materials. June 2005. P. 26.
2. Физические величины: справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. Крупальник К. М., Корнилов Н. А., Кондратьева Т. А. Установки быстрого термического отжига для формирования омических контактов полупроводниковых приборов на основе соединений АЗВ5 // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 3. С. 9–14.
4. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978.
5. Pat. US № 5775511. Method and Apparatus For Measuring Substrate Temperatures / В. Peuse, G. Miner. May 26, 1998.

K. M. Krupalnik, N. A. Kornilov, T. A. Kondratyeva

REACTOR FOR THE CONTINUOUS HI-TEMPERATURE THERMAL PROCESSING OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATES

Typical designs of thermal processor reactors were examined. Experimental reactor design for hi-temperature processing at 1300 °C for 120 minutes was shown. Experimental results were shown using thermal processing systems by SemiTEq JSC. Results were published as applications for the patent № 2011115281/(022650) and № 2011115283/(022652).

Thermal processing, rapid thermal annealing

УДК: 537.611.43

**Ю. В. Богачев, В. З. Драпкин, М. Н. Князев,
В. В. Фролов, Ю. С. Черненко**

ДПЯ-ТОМОГРАФИЯ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Дается краткий обзор методов визуализации свободнорадикальных состояний в биологических объектах. Рассмотрены особенности явления динамической поляризации ядер, сформулированы основные требования по оптимальному выбору спиновых проб для эффективной ДПЯ-томографии биологических объектов.

Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), ядерный магнитный резонанс (ЯМР), динамическая поляризация ядер (ДПЯ), магнитно-резонансная томография (МРТ)

В настоящее время существует довольно много признанных методов построения медицинских изображений: КТ, МРТ, УЗИ, ПЭТ. Но, несмотря на это многообразие, сейчас разрабатываются новые методы, способные дать важные данные о функционировании живых организмов на молекулярном уровне. Одна из таких областей исследований – построение изображений распределения свободных радикалов в биологических объектах – free radical imaging [1]. Существует две наиболее важные области применения томографии свободнорадикальных состояний – получение изображений распределения эндогенных свободных радикалов и распределения концентрации кислорода в живых организмах. Велика роль в метаболизме здорового организма естественных или генерируемых внутри свободных радикалов (эндогенных свободных радикалов). Но, хотя такие свободные радикалы, как супероксидный (O_2^{\cdot}) и гидроксильный (OH^{\cdot}) радикалы или оксид азота (NO) всегда присутствуют в организме в очень малом количестве, установлен ряд фактов, говорящих о значительном изменении, чаще всего увеличении, концентрации этих свободных

радикалов при развитии целого ряда заболеваний: воспалительных процессов, нейродегенеративных, ишемических и, возможно, онкологических заболеваний. Томография свободнорадикальных состояний дает возможность непосредственного обнаружения свободных радикалов в организме, открывая новые горизонты для биомедицинских исследований и, возможно, диагностики.

Методы томографии свободнорадикальных состояний. Томография свободнорадикальных состояний, хотя и базируется на явлениях электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и ядерного магнитного резонанса (ЯМР), по своей методологии и технике реализации существенно отличается от традиционной магнитно-резонансной томографии (МРТ). Кроме того, не существует стабильных свободных радикалов с адекватными концентрацией и биологическим временем жизни, которые встречаются в естественном состоянии *in vivo*. Поэтому в отличие от МРТ или ЯМР-томографии томография свободнорадикальных состояний будет включать какое-то предварительное внутривенное или внутримышечное введение стабильных или медленнометаболизирующих нетоксичных воднорастворимых свободных радикалов или стабильных имплантируемых спиновых проб (спиновых ловушек, зондов или меток) в исследуемый объект.

Наибольшее развитие для визуализации свободных радикалов *in vivo* получили методы стационарной и импульсной ЭПР-томографии [2], а также метод томографии двойного протон-электронного резонанса (proton-electron double resonance imaging – PEDRI) [3], известной также под названием томографии с использованием эффекта Оверхаузера (Overhauser magnetic resonance imaging – OMRI) [4].

Основное ограничение применения методов ЭПР-томографии связано с тем, что электромагнитное излучение в высокочастотном диапазоне, обычно применяемом в ЭПР-спектроскопии (9...10 ГГц), сильно поглощается проводящими структурами, к которым относятся ткани живых организмов. Из-за этого обстоятельства большинство экспериментов по получению изображений свободных радикалов с применением ЭПР проводится в низких магнитных полях, обычно в диапазоне 7...40 мТл, частота ЭПР при этом лежит в диапазоне от 200 МГц до 1 ГГц. Электромагнитное излучение на этих частотах может проникать в ткани на глубину порядка нескольких сантиметров. Таким образом можно изучать небольшие по размерам объекты, как правило, мелких животных типа крыс и мышей.

Стационарная ЭПР-томография, наиболее широко применяемая для визуализации свободнорадикальных состояний, хронологически разработана раньше, чем импульсная ЭПР-томография. Это вызвано тем, что сверхбыстрая спиновая динамика ансамбля неспаренных электронов создает специфичные требования для электронных компонентов и устройств, которые необходимы для реализации импульсной ЭПР-томографии.

Стационарная ЭПР-томография подходит для спиновых проб даже с большой шириной линий. Чувствительность этого метода также высока из-за очень узкой полосы пропускания детектирования, что свойственно использованию низкочастотной модуляции и фазочувствительного детектирования. Если рассматривать уровни используемой РЧ-мощности по отношению к допустимому значению удельного коэффициента поглощения (SAR), то стационарная ЭПР-томография непревзойденна в этом отношении, так как в ней требуются уровни мощности порядка нескольких милливатт. Главный сдерживающий фактор для стационарной ЭПР-томографии – это относительно длинное время, необходи-

мое для построения изображения из-за специфики сканирования поля. Если выполняется спектрально-пространственное построение изображения в трех или в четырех размерностях для спиновых проб, которые имеют довольно короткое биологическое время жизни, то необходимо учитывать эффект потери интенсивности сигнала в течение времени измерения. Возмущения, возникающие во время измерения живых объектов от дыхательного движения и перистальтики кишечника, требуют применения динамических корректирующих цепей для автоматической настройки и согласования.

Импульсная ЭПР-томография обладает такими заметными преимуществами, как возможность очень быстрого сбора данных, на порядки величины быстрее, чем в МРТ, вследствие сверхбыстрой спиновой динамики неспаренного электрона по сравнению с ядром, возможность улучшения чувствительности с помощью усреднения сигнала и возможность контрастирования изображения управлением релаксационными процессами T_1 и T_2 , что делает этот метод универсальным функциональным инструментом построения изображений, хотя и только для малых животных.

Уровни РЧ-мощности, используемые в импульсной ЭПР-томографии, выше, чем в стационарной, но очень сложные короткие рабочие циклы импульсных последовательностей делают среднюю мощность, рассеиваемую в живых тканях, в пределах приемлемых уровней.

Главное ограничение применения импульсной ЭПР-томографии связано с тем, что только спиновые пробы с очень узкой шириной линии ЭПР могут быть использованы. Кроме того, есть конечное разрешение, которое можно достичь в импульсной ЭПР-томографии из-за ограничений предела увеличения градиента магнитного поля, поскольку при больших градиентах временной отклик может стать чрезмерно коротким. Широкое применение этого метода также сдерживается сложностью и высокой ценой экспериментальной техники.

Наиболее перспективным методом томографии свободнорадикальных состояний, не имеющим ограничений по размеру исследуемых объектов, является метод томографии протон-электронного двойного резонанса (PEDRI) [3] или магнитно-резонансная томография на эффекте Оверхаузера (OMRI) [4]. В этом методе для усиления магнитно-резонансных изображений в низких полях используется поляризация протонов в присутствии стабильных свободных радикалов или насыщение сигнала ЭПР свободных радикалов стационарным или импульсным облучением, что приводит к усилению протонной намагниченности (это явление известно также под названием эффекта Оверхаузера) в основном через времязависимое дипольное взаимодействие между неспаренными электронами свободных радикалов и протонами воды. Поскольку эффект Оверхаузера является частным случаем явления динамической поляризации ядер (ДПЯ), то более правильно этот метод называть ДПЯ-томографией.

В ДПЯ-томографии применяется стандартное для МРТ оборудование и программное обеспечение, единственное отличие – необходима установка для облучения образца на соответствующей частоте ЭПР. Для снятия ограничений по размерам исследуемого образца эксперименты по ДПЯ-томографии выполняются в слабом магнитном поле, где характерны низкие диэлектрические потери в живых тканях. Разрешение изображений, получаемых при помощи этого метода, не зависит от ширины линий ЭПР исследуемых свободных радикалов. Вместе с тем, эффективность применения ДПЯ-томографии для визуализации свободнорадикальных состояний биологических объектов *in vivo* сильно зависит от выбора стабильных имплантируемых спиновых проб в исследуемый объект.

Для того чтобы сформулировать требования по оптимизации выбора эффективных для ДПЯ-томографии спиновых проб, рассмотрим основные аспекты явления ДПЯ.

Механизмы динамической поляризации ядер. Интенсивность сигналов магнитного резонанса (МР) пропорциональна спиновой поляризации (P), определяемой в общем случае соотношением [5]

$$P = \frac{1}{nI} \sum_{(m)} (m_I / I_z / m_I) n_m, \quad (1)$$

где $(m_I / I_z / m_I)$ – матричный элемент спинового оператора I_z ; z – направление квантования; $n = \sum_{(m)} n_m$ – концентрация спинов в образце; n_m – населенность уровня, принадле-

жащего магнитному квантовому числу m .

Поляризация возникает всегда, если какое-либо воздействие (магнитное, электрическое или др.) расщепляет энергетические уровни. Создаваемая таким образом поляризация называется статической. В постоянном магнитном поле B_0 для статической ядерной поляризации из (1) получаем, например, выражение

$$P = \text{th} \frac{\gamma_n \hbar B_0}{2kT} \cong 10^{-11} B_0 T^{-1}. \quad (2)$$

Приближенное равенство в (2) написано для протонов ($I = \frac{1}{2}$, гиромагнитное отношение $\gamma_n = 2.7 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$) в предположении $\frac{\gamma_n \hbar B_0}{2kT} \ll 1$. В поле $B_0 = 10^{-1}$ Тл и при температуре $T = 1$ К протонная поляризация, согласно (2), составляет $\sim 10^{-2}$ %. Большую поляризацию можно получить при увеличении поля B_0 и охлаждении образца до сверхнизких температур.

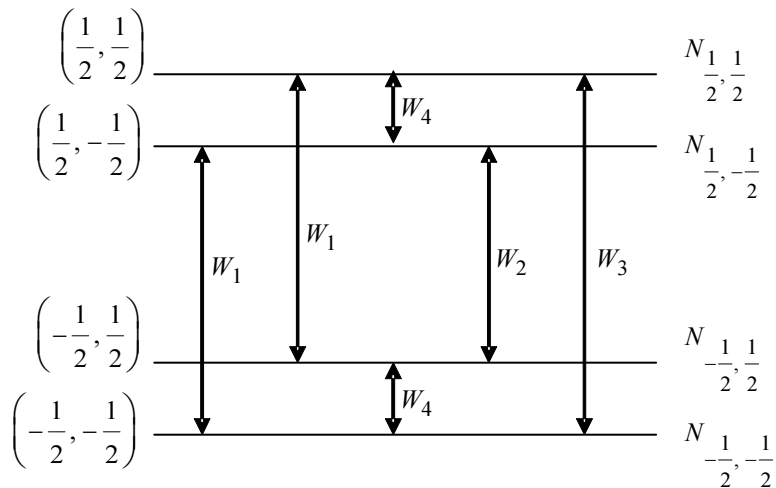
Значительную статическую поляризацию ядер диамагнитных атомов (ионов) получают при введении их в ферро- или антиферромагнетики, где существует сильное вейсовское поле (до 10^2 Тл). В некоторых атомах со стороны электрона на ядро действует сильное локальное магнитное поле (до $10 \dots 10^2$ Тл), обусловленное сверхтонким взаимодействием типа $I \sim \hat{A} S$ между спинами. Гортер (1948) и Розе (1949) предложили использовать такое взаимодействие для ориентации ядер. Их метод основан на создании условий, при которых разным направлениям ядерного спина соответствуют энергии, отличающиеся на величину, большую или порядка kT . Такие условия создаются при поляризации внешним полем электронных спинов, которые через сверхтонкое взаимодействие ориентируют ядра. Очевидно, что заметную статическую поляризацию ядер можно получить лишь при температурах решетки ~ 0.1 К и ниже.

В 1953 г. Оверхаузером [6] был предсказан эффект значительного усиления ядерной поляризации, названный впоследствии его именем, являющийся частным случаем явления ДПЯ. После экспериментального обнаружения ДПЯ [7] были найдены многие применения этого явления в технике и экспериментальной физике. Известно успешное применение динамической поляризации ядер в мазерах, магнитометрах, спиновых генераторах и гироскопах [8]–[10]. Сущность явления ДПЯ подробно изложена в ряде обзорных работ [5], [11], [12].

В настоящей статье авторы не ставили целью освещение всех аспектов этого явления, а лишь систематизировали ряд фактов, необходимых для практического применения в ДПЯ-томографии.

В экспериментах по ДПЯ имеют дело с ансамблями частиц. Наблюдаемые величины при этом являются макроскопическими характеристиками. Для многих из них можно получить простые уравнения движения. Проиллюстрируем это на примере уравнения поляризации при ДПЯ (см. рисунок).

Рассмотрим систему из ядерных ($I = 1/2$) и электронных ($S = 1/2$) спинов, между которыми существует дипольное взаимодействие, малое по сравнению с ядерным зеемановским взаимодействием. Каждое спиновое состояние в нулевом приближении теории возмущений характеризуется одновременно двумя квантовыми числами M и m . Соответствующие волновые функции обозначим $(M, m)^0$. Так как M и m в случае $S = 1/2$ и $I = 1/2$ могут принимать по два значения, имеется четыре энергетических состояния с волновыми функциями $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)^0$, $\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)^0$, $\left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)^0$, $\left(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)^0$. Энергетические уровни и возможные релаксационные переходы в такой системе изображены на рисунке. Справа указаны населенности $N_{M, m}$ соответствующих уровней.



Для рассматриваемой системы спинов уравнение движения продольной ядерной намагниченности можно представить в виде [11]

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{1}{T'_{1n}} [(P - P_0) - \rho(\Pi - \Pi_0)], \quad (3)$$

где $T'_{1n} = (W_2 + 2W_4 + W_3)^{-1}$ – время продольной ядерной релаксации, обусловленное взаимодействием ядер с электронами; P_0 и Π_0 – ядерная и электронная поляризации термодинамически равновесного состояния соответственно;

$$\rho = -\frac{W_2 - W_3}{W_2 + 2W_4 + W_3} = -(W_2 - W_3)T'_{1n} \quad (4)$$

– коэффициент, зависящий от природы взаимодействия спинов.

При наличии прямой ядерной релаксации с вероятностью W_4' полное время релаксации имеет вид $T_{1n}' = (W_2 + 2W_4 + W_3 + W_4')^{-1}$. В этом случае в (3) вместо ρ надо использовать величину

$$\rho' = -\frac{W_2 - W_3}{W_2 + 2W_4 + W_3 + W_4'} = -\rho \frac{T_{1n}}{T_{1n}'} = -\rho f.$$

Добавочный множитель

$$f = \frac{W_2 + 2W_4 + W_3}{W_2 + 2W_4 + W_3 + W_4'} = \frac{T_{1n}}{T_{1n}'} \quad (5)$$

введен Абрагамом [12] и называется коэффициентом утечки.

Наконец, Бломбергенем и др. [13] уравнение (3) было обобщено на случай произвольных спинов S и I , после чего оно приняло вид

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{1}{T_{1n}} \left[(P - P_0) - \rho f \frac{I(I+1)}{S(S+1)} (\Pi - \Pi_0) \right]. \quad (6)$$

В стационарном состоянии $\frac{dP}{dt} = 0$, и равновесное значение ядерной поляризации при ДПЯ для $S = I$ получается из (6) следующим:

$$P_g = P_0 \left(1 + \rho f \frac{\Pi - \Pi_0}{P_0} \right). \quad (7)$$

Коэффициент усиления ядерной поляризации при полном насыщении электронного резонанса ($\Pi = 0$) согласно (7) определяется выражением

$$K_g = \frac{P_g}{P_0} = 1 - \rho f \frac{\Pi_0}{P_0} \cong -\rho f \frac{\Pi_0}{P_0}.$$

При контактном взаимодействии спинов, как отмечалось, $W_3 = W_4 = 0$, тогда согласно (4) $\rho = -1$. Так как значение коэффициента утечки согласно определению (5) лежит в пределах $0 \leq f \leq 1$, то, принимая $f = 1$, имеем

$$K_{g \text{ конт}} \cong 1 + \frac{\Pi_0}{P_0}.$$

Определяя электронную и ядерную поляризации Π_0 и P_0 соотношениями $\Pi_0 \cong \frac{\gamma_e \hbar B_0}{2kT}$; $P_0 \cong \frac{\gamma_n \hbar B_0}{2kT}$, получаемыми из (2) в приближении $kT \gg \hbar\omega$, имеем

$$K_{g \text{ конт}} \cong 1 + \frac{\gamma_e}{\gamma_n} \cong \frac{\gamma_e}{\gamma_n}. \quad (8)$$

Подставив значения γ_e и γ_n в (8), находим, что $K_{g \text{ конт}} \cong 660$.

При наличии начального расщепления электронных уровней, обусловленного, например, взаимодействием вида $\hat{A}\hat{I}\hat{S}$, можно говорить об эффективном гиромагнитном отношении электронов, определяемом как $\gamma_e^* = \frac{\omega_e}{B_0}$, где ω_e – частота электронных переходов. В сильных полях B_0 ($\gamma_e \hbar B_0 \gg A$) $\gamma_e^* \cong \gamma_e$, в слабых и квазиуловых полях ($\gamma_e \hbar B_0 \ll A$) γ_e^* может значительно превышать γ_e .

В связи с этим коэффициент усиления (8), где в общем случае γ_e надо заменить на γ_e^* , может составить несколько тысяч.

В маловязких жидкостях при дипольной связи между спинами и релаксации первого типа вероятности ядерных релаксационных переходов, согласно Абрагаму [12], связаны соотношением $W_2 : W_3 : W_4 = 2 : 12 : 3$. Подстановка этого соотношения в (4) дает $\rho = +\frac{1}{2}$ и, следовательно:

$$K_{g \text{ дип}} \cong 1 - \frac{\gamma_e^*}{2\gamma_n} \cong -\frac{\gamma_e^*}{2\gamma_n}. \quad (9)$$

Отметим, что согласно (9) при дипольной связи спинов ядерная поляризация отрицательна и в два раза меньше, чем при контактном взаимодействии. ДПЯ в таких системах часто называют отрицательным (или перевернутым) эффектом Оверхаузера. Инверсия населенностей уровней в таких случаях позволяет реализовать ядерный мазер, что и было осуществлено Абрагамом с соавторами [12].

Характерными веществами, в которых наблюдается отрицательный эффект Оверхаузера, являются растворы свободных радикалов и парамагнитных ионов в жидкостях. Из свободных радикалов наиболее хорошо изучен дисульфонат пероксиламина (ДП) $K_2(SO_3)_2 NO$ (соль Фреми) [9]. При насыщении линии сверхтонкой структуры (СТС) спектра ЭПР ДП в слабых полях можно получить усиление поляризации протонов растворителя в ~ 1000 раз [9], [12]; поляризация в зависимости от насыщаемого перехода может быть положительной или отрицательной. В сильных полях наибольшее усиление поляризации не превышает 100. Недостатком растворов ДП является их нестабильность. Стабилизированные бикарбонатом натрия растворы ДП сохраняют свои радиоспектроскопические свойства примерно в течение месяца.

Теоретический анализ явления ДПЯ и экспериментальных данных [5], [9], [11], [14]–[16] позволил сформулировать следующие основные общие требования для выбора спиновых проб для эффективной ДПЯ в биологических объектах:

1. Исследуемые образцы должны иметь узкие линии ЯМР рабочих ядер (соответственно, большие времена релаксации). Если исследуются макромолекулярные соединения с широкими линиями ЯМР, то должна быть техническая возможность по использованию метода переноса двойной «электрон–ядро 1–ядро 2» спиновой намагниченности [17].

2. Между рабочими ядрами и электронными спинами спиновых проб должно существовать флуктуирующее взаимодействие. Преобладающая доля ядерной релаксации должна быть обязана этому взаимодействию. Для устранения косвенных механизмов ядерной релаксации (утечки) рабочий образец не должен содержать другие парамагнитные примеси.

3. Для получения наибольшего положительного усиления ядерной поляризации (положительный эффект Оверхаузера) спиновые пробы надо выбирать так, чтобы взаимодействие электронных спинов спиновых проб с ядрами водорода было контактным. При необходимости инверсии населенностей ядерных уровней (отрицательный эффект Оверхаузера) взаимодействие спинов должно быть дипольным.

4. В случае использования ультраслабых магнитных полей спиновые пробы должны иметь хорошо разрешенные зеемановские уровни. Для наибольшей ДПЯ желательно иметь хорошо разрешенную СТС узких линий ЭПР с константой сверхтонкого взаимодействия (СТВ), удовлетворяющей условию $\gamma_e \hbar B_0 \ll A$.

5. В случае слабых, промежуточных или сильных магнитных полей спиновые пробы должны иметь одиночную узкую линию ЭПР, поскольку необходимо насытить электронные спины для переноса поляризации к протонам, а широкие спектральные линии трудно насытить эффективным способом.

6. Насыщение ЭПР-переходов не должно приводить к перегреву биологических тканей. С этим требованием согласуется требование наличия узких линий ЭПР, что позволяет существенно снизить мощность облучения на частоте ЭПР-переходов.

7. Диэлектрические потери исследуемых образцов, особенно в случае высоких магнитных полей, должны быть малыми, так чтобы добротность нагруженного образцом резонатора была большой.

8. Для визуализации *in vivo* необходимо использовать биостабильные, нетоксичные и предпочтительно водорастворимые парамагнитные спиновые пробы. Они вводятся внутривенно, внутриперитонеально или внутримышечно в анестезированное животное. Время жизни спиновой пробы *in vivo* должно быть достаточным для детектирования эффекта ДПЯ, т. е. должно превышать время обследования.

Анализ имеющихся в литературе экспериментальных данных по ДПЯ не позволяет, к сожалению, назвать какой-либо определенный класс веществ (или даже одно вещество), полностью удовлетворяющих сформулированным требованиям. Водные растворы парамагнитных ионов металлов менее всего удовлетворяют перечисленным требованиям, так как они имеют сравнительно широкие (десятки гауссов) линии ЭПР и, как правило, сильно зависящие от температуры знак и значение коэффициента ядерной поляризации в эффекте Оверхаузера.

Ряд устойчивых парамагнитных спиновых проб, основанных на триарилметилрадикалах (ТАМ), были разработаны компанией «Nyscomed Innovations» для функциональной ДПЯ-томографии на малых животных, чтобы количественно оценивать раковую перфузию и гипоксию тканей [2].

Перспективными для целей ДПЯ-томографии являются тритильные радикалы, разработанные в НИОХ СО РАН для измерения концентрации супероксидной радикальной формы кислорода [18]. Это стабильные радикалы, нечувствительные к действию компонентов цитоплазмы, в частности молекулярного кислорода, но резко меняющие ширину ЭПР-сигнала при контакте с супероксидом.

Перспективны также спиновые ловушки и спиновые зонды на базе нитроксильных радикалов имидазолинового и имидазолидинового рядов, в том числе рН-чувствительные спиновые зонды [19], которые уже используются в биофизических и биомедицинских ис-

следованиях для определения изменений локальных рН в липосомах, изучения трансмембранного транспорта ионов и электрических потенциалов поверхностей мембран и белков, оценки эффективности способов доставки лекарственных препаратов, например биоразтворимых полимеров, и изучения изменения рН при распаде лекарственных препаратов *in vivo*, контроля изменений рН в желудке и других органах *in vivo*, и др.

Таким образом, ДПЯ-томография свободнорадикальных состояний приобретает все большее значение для биологических исследований на молекулярном и клеточном уровнях, и вполне возможно, что уже в ближайшем будущем этот метод будет применен в клинической практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lurie D. J. Free radical imaging // *The British J. of Radiology*. 2001. № 74. P. 782–784.
2. Radio frequency continuous-wave and time-domain EPR imaging and Overhauser-enhanced magnetic resonance imaging of small animals: instrumental developments and comparison of relative merits for functional imaging / S. Subramanian, K. Matsumoto, J. B. Mitchell and M. C. Krishna // *NMR Biomed*. 2004. Vol. 17. P. 263–294.
3. Lurie D. J. Proton-electron double-resonance imaging (PEDRI) // Berliner L. J. editor. *Biological magnetic resonance*. Vol. 18: *In vivo EPR (ESR): theory and applications*. New York: Kluwer Academic, 2001. P. 547–578.
4. Overhauser instrumentation: similarities with and differences from MRI / T. Claassen-Vujčić, H. Borsboom, E. Konijnenburg et al. // *Phys. Med. Biol*. 1998. Vol. 43. P. 1863–1875.
5. Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер. М.: МИР, 1965.
6. Overhauser A. W. Polarization of Nuclei in Metals // *Phys. Rev*. 1953. Vol. 89. P. 689; Vol. 92. P. 411.
7. Carver T. R., Slitcher C. P. Experimental Verification of the Overhauser Nuclear Polarization Effect // *Phys. Rev*. 1956. Vol. 102. P. 975.
8. Бородин П. М. Физические основы квантовой радиофизики: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985.
9. Померанцев М. Н., Рыжков В. М., Скроцкий Г. В. Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972.
10. Ядерный магнитный резонанс в земном поле / П. М. Бородин, А. В. Мельников, А. А. Морозов, Ю. А. Чернышев. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1967.
11. Ацаркин В. А. Динамическая поляризация ядер в твердых диэлектриках. М.: Наука, 1980.
12. Абрагам А. Ядерный магнетизм. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
13. Bloembergen N. *Nuclear Magnetic Relaxation*. New York, 1961.
14. Dynamic nuclear polarization with nitroxides dissolved in biological fluids / D. Grucker, T. Guiberteau, V. Eclancher et al. // *J. Magn. Resonance*. 1995. Vol. B106. P. 101–109.
15. Яхин Р. Г. Динамическая поляризация протонов, молекулярное движение, эффекты сольватации. Казань: Фэн, 2000.
16. Одинцов Б. М. Электронно-ядерный эффект Оверхаузера в растворах. Казань: Изд-во КФ АН СССР, 1986.
17. Application of Double Electron-Nuclear Magnetization Transfer in Low-Field MRI / Yu. Bogachev, Yu. Chernenko, V. Drapkin et al. // *Book of abstracts of International Symposium «NMRCM 2011»*. St.-Petersburg, 2011. P. 46.
18. Halevy R., Tormyshev V., Blank A. Microimaging of Oxygen Concentration near Live Photosynthetic Cells by Electron Spin Resonance // *Biophysical J*. 2010. Vol. 99. P. 971–978.
19. Nitroxides with two pK values – useful spin probes for pH monitoring within a broad range / I. A. Kirilyuk, A. A. Bobko, V. V. Khrantsov, I. A. Grigor'ev // *Organic & Biomolecular Chemistry*. Jan. 2005. Vol. 3, № 7. P. 1269–1274.

Yu. V. Bogachev, V. Z. Drapkin, M. N. Knyazev, V. V. Frolov, J. S. Chernenco

DNP TOMOGRAPHY OF FREE RADICALS IN BIOLOGICAL OBJECTS

This article reviews the methods of free radicals imaging in biological objects. The main peculiarities of Dynamic Nuclear Polarization (DNP) phenomena are discussed. Basic demands of spin probes choosing for effective DNP Tomography are formulated.

Electron Paramagnetic Resonance (EPR), Nuclear Magnetic Resonance (NMR), Dinamic Nuclear Polarization (DNP), Magnetic Resonance Tomography (MRT)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИДЕАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ ГИСТЕРЕЗИСА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЦИРКОНАТА-ТИТАНАТА СВИНЦА

Исследованы искажения формы петель диэлектрического гистерезиса тонкопленочных конденсаторных структур на основе ЦТС. Предложен простой и вариативный способ аналитической аппроксимации петель гистерезиса сегнетоэлектрических пленок с неидеальными характеристиками. Проанализирована возможность его использования для прогнозирования формы петли гистерезиса при произвольной амплитуде поляризующего поля, т. е. при переключении по частным циклам.

Петля гистерезиса, сегнетоэлектрики, пленки ЦТС

Целый ряд физических явлений имеет характеристики, которые представляют собой замкнутую кривую, называемую петлей гистерезиса. Среди них можно отметить кривые поляризации, намагничивания, деформации и ряд других.

В статье рассматриваются гистерезисные явления в сегнетоэлектрических пленках, связанные с переключением поляризации под действием приложенного электрического поля в определенном интервале температур. Нелинейная зависимость поляризованности от напряженности электрического поля является следствием доменного строения сегнетоэлектриков и в периодически изменяющихся полях трансформируется в диэлектрический гистерезис. Экспериментальное наблюдение петель гистерезиса осуществляется с помощью традиционной схемы Сойера–Тауэра либо ее модифицированных вариантов [1].

Способ характеристики сегнетоэлектрических пленок, основанный на снятии петель диэлектрического гистерезиса, сравнительно прост в реализации и достаточно информативен, что является его неоспоримым преимуществом. Основными инструментами воздействия на исследуемый образец в данном методе могут выступать: амплитуда, частота, форма периодического сигнала, длительность его воздействия, температура. Анализ петель диэлектрического гистерезиса позволяет оценивать качество сегнетоэлектрических пленок, делать количественные оценки базовых характеристик сегнетоэлектрических материалов, определять управляемость системы и степень ее нелинейности, исследовать деградационные и усталостные явления, извлекать специфическую информацию о свойствах сегнетоэлектрических структур, проявляющихся в различного рода искажениях формы петель диэлектрического гистерезиса.

При анализе структур с сегнетоэлектрическими слоями, а также систем, включающих в себя такие элементы, часто возникает необходимость учитывать переключения по петле гистерезиса, непрерывный набор частных циклов которой демонстрирует многообразие форм кривых. Решение такой задачи связано с известными неудобствами [2]. Вдобавок к ним дефектность, неоднородность пленок, различные условия формирования интерфейсов сегнетоэлектрической тонкопленочной конденсаторной структуры приводят к различным искажениям формы петель гистерезиса [1], [3]–[5]. Численное моделирование,

базирующееся на процессах в сегнетоэлектрических кристаллах и доменах [5]–[8], оказывается не только громоздким, но и весьма ограниченным при попытке описания тонких сегнетоэлектрических пленок с неидеальными характеристиками. Поэтому для решения практических задач поиск вариативного и вместе с тем сравнительно простого аналитического способа описания петель гистерезиса также представляет интерес [2], [9], [10].

Целью работы, результаты которой представлены настоящей статьей, являлось экспериментальное исследование петель гистерезиса тонкопленочных конденсаторных структур на основе пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС) – $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ и их моделирование, позволяющее аналитически достаточно точно описывать петли с существенными искажениями формы.

Исследованные образцы и экспериментальные результаты. Авторами исследовались две серии образцов конденсаторных структур с сегнетоэлектрическими пленками ЦТС, полученными по различным технологиям. Снятие петель диэлектрического гистерезиса осуществлялось с помощью схемы Соьера–Тауэра. Фазовый состав и микроструктура пленок ЦТС исследовались методами малоугловой рентгеновской дифракции и электронной микроскопии.

Образцы первой серии представляли собой конденсаторные структуры с электродами Pt и/или Ir на основе пленок ЦТС ($x = 0.54$) толщиной 100 нм, обладавших текстурой в направлении (111). Пленки были получены методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений с последующей высокотемпературной обработкой. В качестве подложек использовался оксидированный кремний с адгезионным подслоем Ti и с Ir-электродом. Кривыми 1 на рис. 1, а и б показаны петли гистерезиса, снятые на конденсаторных структурах Ir/ЦТС/Ir и Ir/ЦТС/Pt соответственно. Несмотря на то, что первая структу-

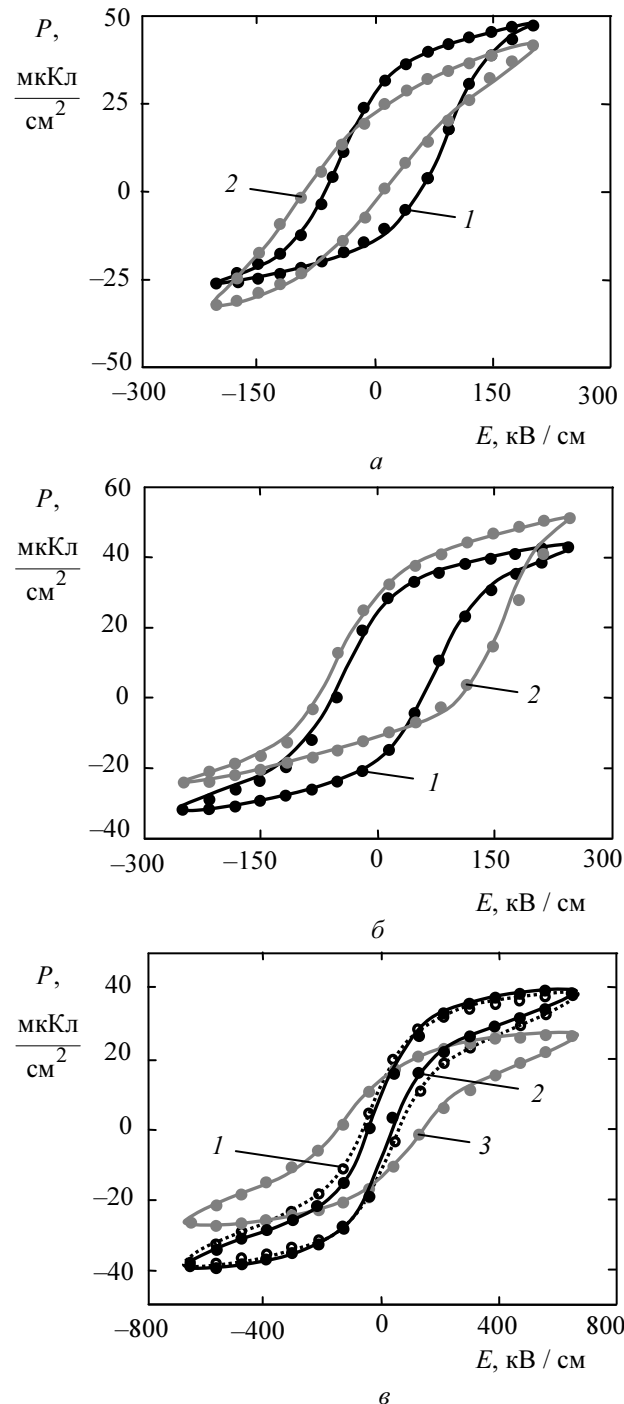


Рис. 1

ра, казалось бы, симметрична, обе характеристики обладают смещением за счет наличия в пленках встроенного поля. Последнее обусловлено различными условиями формирования

нижнего и верхнего интерфейсов. В обоих случаях интерфейс пленки ЦТС с нижним электродом формировался при температуре кристаллизации перовскита (600 °С в течение 1 мин), тогда как верхние электроды наносились при комнатной температуре. Кривыми 2 на рис. 1, *а*, *б* показаны петли гистерезиса тех же образцов, форма которых претерпела изменения после воздействия сильных электрических полей (*а*) и хранения в поляризованном состоянии (*б*). Кривая 2 на рис. 1, *а* показывает слабую нелинейность, связанную с деградацией сегнетоэлектрических свойств, а на рис. 1, *б* – уширение площади петли и более сильное смещение характеристики, что можно связать с частичным закреплением доменных стенок на дефектах структуры.

На рис. 1, *в* приведены петли гистерезиса конденсаторных структур с Pt-электродами на основе пленок ЦТС толщиной 1 мкм и текстурой (101). Пленки получены методом высокочастотного реактивного магнетронного распыления с последующей кристаллизацией при 550, 580 и 600 °С (кривые 1, 2 и 3 соответственно) в течение 120 мин. Форма данных петель значительно отличается от кривых 2 на рис. 1, *а* и *б* в силу различных технологий формирования структур. На петлях гистерезиса 1 и 2 (рис. 1, *в*) можно отметить наличие характерных «перетяжек» в центральной части характеристик. Петля 3 демонстрирует ухудшение сегнетоэлектрических свойств пленки ЦТС с ростом температуры обработки, связанное с разупорядочением структуры пленки.

Выбор алгоритма для аналитического моделирования петель гистерезиса. Можно выделить несколько направлений, в рамках которых до настоящего момента разрабатывались модели поляризации: ориентационные модели поляризации; подходы, основанные на использовании реологических элементов и электромеханических аналогий; модели, в которых анализируется кинетика доменных границ и делается попытка учета взаимовлияния сегнетоэлектрических доменов на процесс их переключения; термодинамический подход; фазово-полевые модели эволюции доменной структуры; подход, базирующийся на использовании операторов запаздывания и аппроксимирующих функций. Наибольший интерес представляют модели, в которых математический расчет максимально «офизичен». Как правило, в них искомая петля гистерезиса получается в результате численного решения [6]–[8]. Однако, как отмечают сами авторы работ, физические процессы, протекающие в реальных материалах, оказываются существенно сложнее. Как следствие, область использования этих моделей ограничивается неудовлетворительной точностью описания эксперимента и сложностью подбора параметров [8]. Учитывая вышеизложенное, ограничимся рассмотрением подхода, связанного с использованием аналитического способа описания петель гистерезиса [9], [10]. Среди предложенных алгоритмов наиболее вариативным выглядит [2], однако применительно к сегнетоэлектрическим материалам он нуждается в определенной адаптации.

Рассмотрим следующий аналитический способ построения петель диэлектрического гистерезиса, позволяющий описывать возможные искажения их формы. Для построения петли гистерезиса при постоянной температуре и частоте будем использовать следующие параметры: E_m – амплитуда электрического поля, изменяющегося по гармоническому закону; P_m – максимальное значение поляризации; P_s – точка на оси поляризации, получае-

мая пересечением с ней касательной к спадающей части гистерезисной петли (для предельного цикла данный параметр имеет конкретный физический смысл – это спонтанная поляризация сегнетоэлектрика); α , β – фазовые сдвиги, определяющие характер потерь; σ – параметр, связанный со значением производной функции $P(E)$ в точках, соответствующих величине коэрцитивного поля, т. е. задающий крутизну характеристики; δE , δP – величины, задающие смещение центра петли вдоль осей электрического поля и поляризации, моделируя наличие в материале встроенных полей.

Приведем все переменные и параметры, имеющие размерность напряженности электрического поля и поляризации, к безразмерному виду путем их нормирования на постоянные коэффициенты: $X = E / E_0$, $Y = P / \varepsilon_0 E_0$, где E_0 – нормировочный коэффициент, В/м; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м.

Для описания петель гистерезиса использовались следующие основные выражения:

$$X(\xi) = X_m^* \sin(\xi + \alpha) \quad (1)$$

– формула, задающая входное синусоидальное воздействие,

$$Y(\xi) = Y_m^* \operatorname{th} \left\{ \sigma \left[X(\xi - \alpha - \beta) + \delta X \right] \right\} \quad (2)$$

– формула, описывающая отклик на эталонном конденсаторе в схеме Сойера–Тауэра, где ξ представляет собой безразмерный параметр (произведение частоты на время), который при построении кривой поляризации ставит поляризованность в соответствие с напряженностью электрического поля. Фактически, формулы (1) и (2) отражают процесс переключения, записанный в параметрической форме.

Выражения (1) и (2) могут описывать только прямоугольные петли гистерезиса. Такая форма петель в общем случае не реализуется в сегнетоэлектрических пленках (см. рис. 1), особенно если речь идет о неопределенных циклах переключения. Чтобы учесть данную особенность, введем угол θ между касательной к вершине петли и осью абсцисс, который будет определяться формулой

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{Y_m - Y_s}{X_m} \right). \quad (3)$$

Далее выполним поворот зависимости $Y(X)$ на угол θ при помощи формул вращения декартовой системы координат:

$$X^*(\xi) = X(\xi) \cos \theta + Y(\xi) \sin \theta, \quad (4)$$

$$Y^*(\xi) = -X(\xi) \sin \theta + Y(\xi) \cos \theta. \quad (5)$$

После операции вращения значения величин X_m^* и Y_m^* изменятся, поэтому необходимо осуществить их корректировку с помощью следующих выражений:

$$X_m^* = X_m \cos \theta - Y_m \sin \theta, \quad (6)$$

$$Y_m^* = X_m \sin \theta + Y_m \cos \theta. \quad (7)$$

Для параллельного переноса петли гистерезиса вдоль оси ординат можно использовать формулу: $\tilde{Y}(\xi) = Y^*(\xi) + \delta Y$.

На рис. 2 представлены типичные зависимости, полученные с помощью соотношений (1)–(7). По осям абсцисс каждого графика на рис. 2 отложена напряженность электрического поля, нормированная на амплитуду периодического воздействия, а по осям ординат – поляризация, деленная на свое максимальное значение. Линия 1 на рис. 2, а представляет собой характеристику линейного диэлектрика без потерь, она построена при условии равенства нулю спонтанной поляризации и фазовых сдвигов ($Y_s = 0$, $\alpha = \beta = 0$) и трансформируется в кривую 2 путем внесения потерь, т. е. когда $\alpha > 0$. Положив $Y_s > 0$, $\alpha = \beta = 0$, получим характеристику нелинейного диэлектрика без потерь (рис. 2, б, кривая 1). Добавив фазовый сдвиг α , можно построить кривую 2, описывающую поведение нелинейного диэлектрика с потерями. Таким образом, Y_s определяет нелинейность характеристики. Для построения сегнетоэлектрических петель (рис. 2, в–ж), кроме величины Y_s , задавался фазовый сдвиг $\beta > 0$. Петли гистерезиса на рис. 2, в и г построены при различных значениях параметра σ , определяющего их наклон. На данных рисунках кривые 1 представляют собой идеальный случай прямоугольных петель, у которых спонтанная поляризация равна остаточному и максимальному значениям поляризации; они построены при $Y_s = Y_m$. Путем уменьшения Y_s они трансформируются в кривые 2.

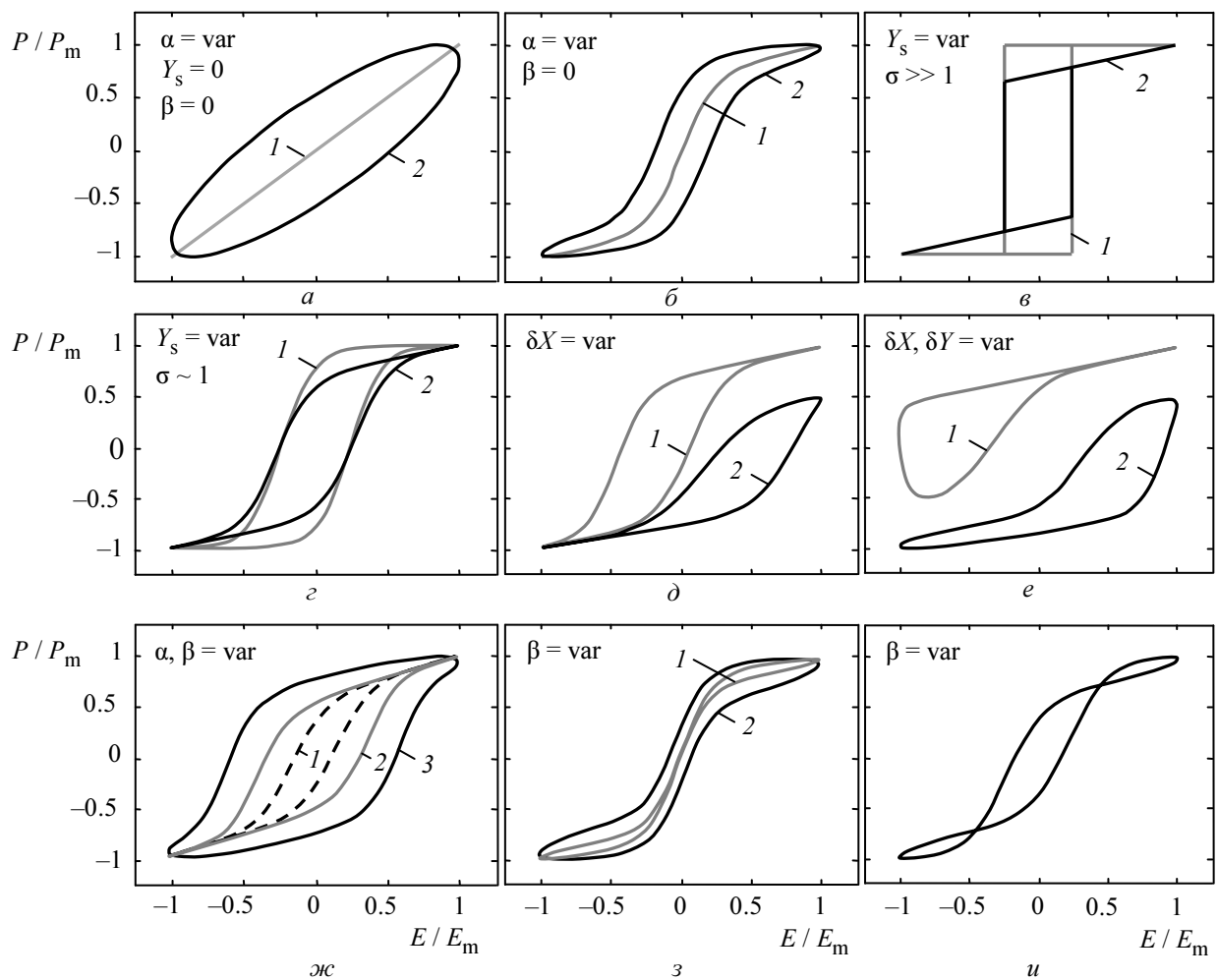


Рис. 2

Кривая 2 на рис. 2, *г* является типичной петлей гистерезиса сегнетоэлектрического конденсатора. Варьируя параметром δX , можно сдвигать тело петли вдоль оси напряжений, при этом концы петли будут зафиксированы, так как амплитуда воздействия не меняется, а с помощью δY можно делать параллельный перенос петли вдоль оси поляризации, как показано на рис. 2, *д*, *е* (остальные параметры оставались неизменными). Такие петли гистерезиса наблюдались экспериментально в образцах с сильными встроенными полями. На рис. 2, *ж* показано уширение петли 1 путем увеличения β при $\alpha = 0$ (кривая 2) и $\alpha > 0$ (кривая 3). По форме полученных зависимостей можно заметить, что в первом случае произошло возрастание коэрцитивного поля при неизменной спонтанной поляризации, а во втором – простое уширение площади петли по всем направлениям, которое характерно для потерь на сквозную проводимость. Действительно, если найти условия, при которых функция (2) обращается в ноль, то можно показать, что при $\alpha = 0$ фазовый сдвиг β связан с величиной коэрцитивного поля и, тем самым, учитывает потери энергии поля на переполяризацию. Фазовый же сдвиг α при $\beta = 0$ моделирует другие типы потерь, в частности, потери на сквозную проводимость пленки. Существует еще один набор петель, который можно получить только при $\beta < 0$. Если положить $|\beta| < \alpha$, то получим петлю с перетяжкой в центральной части (рис. 2, *з*, кривая 1). Уширение данной петли путем увеличения фазового сдвига α показано на кривой 2. Увеличение же $|\beta|$ относительно α дает петлю на рис. 2, *и*.

Таким образом, соотношения (1)–(7) позволяют генерировать широкий набор форм петель гистерезиса, наблюдаемых в сегнетоэлектрических пленках. При описании экспериментальных петель гистерезиса большинство параметров определяется непосредственно, за исключением фазовых сдвигов, подбор которых требует использования процедуры подгонки. На рис. 1 точками показаны экспериментальные петли диэлектрического гистерезиса, а сплошными кривыми – расчетные. Для всех петель гистерезиса погрешность аппроксимации не превышала 3 %.

При произвольном значении амплитуды переменного поля переключение поляризации в структурах с сегнетоэлектрическими слоями может проходить по частным гистерезисным циклам. Анализ отклика системы на произвольное воздействие помимо необходимости учета самого эффекта памяти осложняется еще и тем, что вдоль основной кривой поляризации сегнетоэлектриков существует несколько участков, в пределах которых происходит заметное изменение формы частных петель гистерезиса.

Аналитический способ аппроксимации петель гистерезиса позволяет упростить решение такой задачи. Путем интерполяции параметров, описывающих ограниченный набор из n частных циклов переключения поляризации, известных из эксперимента, можно с высокой точностью рассчитать петлю гистерезиса, отвечающую любому интересующему значению амплитуды поляризующего поля. Для определения минимального числа n , которое может обеспечить приемлемую погрешность такого расчета, на образце с пленкой ЦТС было измерено множество частных циклов переключения поляризации. Из них были изъяты три опорных цикла для амплитуд поляризующего напряжения, соответствующих значениям полей, при которых только начинает проявляться необратимое смещение сегнетоэлектрических доменов (кривая 1 на рис. 3); когда идет интенсивное переключение доменов (кривая 2 на рис. 3); вблизи насыщения (кривая 3 на рис. 3).

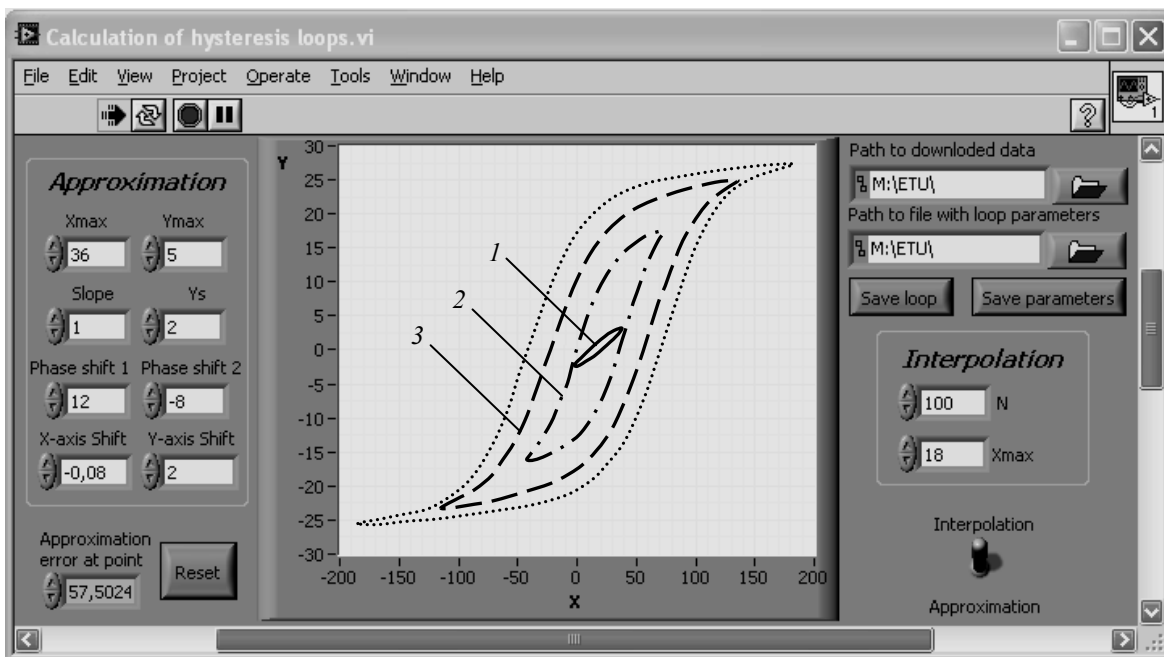


Рис. 3

С этими тремя опорными петлями сравнивались расчетные кривые, полученные при тех же максимальных напряжениях, что и опорные, на основе интерполяции параметров двух, трех, четырех и более равноотстоящих друг от друга циклов. В результате высчитывалась относительная погрешность Δ , график зависимости которой представлен на рис. 4. Номера кривых на рис. 4 соответствуют номерам опорных петель на рис. 3. Как и следовало предполагать, точность описания формы частных петель на различных участках основной кривой поляризации неодинакова. Осцилляции кривой 2 связаны с изменением расстояния по шкале X от опорной петли 2 до ближайших к ней петель из экспериментальной выборки. Из анализа рис. 4 можно заключить, что набор из пяти равноотстоящих друг от друга экспериментальных циклов позволяет спрогнозировать форму петли для произвольной амплитуды управляющего поля с точностью не ниже 4 %. Дальнейшее увеличение числа циклов не приводит к заметному снижению погрешности расчета.

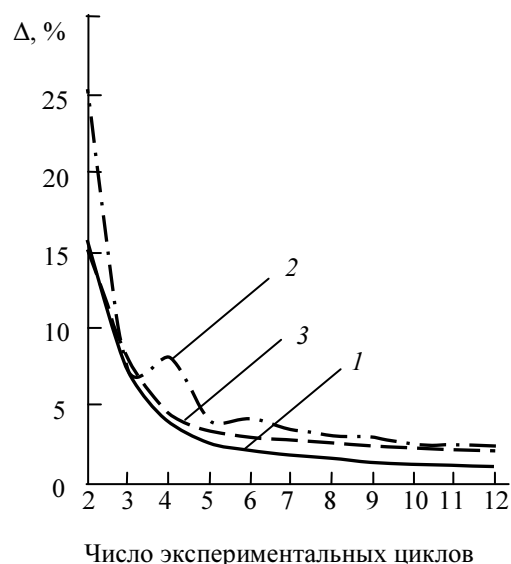


Рис. 4

В результате выполнения работы в среде программирования LabVIEW был разработан виртуальный прибор, лицевая панель которого представлена на рис. 3, предназначенный для построения характеристик в виде петли гистерезиса с возможностью изменения формы петли в широких пределах, внесения различного рода искажений. В программе реализован алгоритм, позволяющий прогнозировать форму отклика системы на периодическое воздействие произвольной амплитуды, путем интерполяции параметров, описывающих ограниченный на-

бор частных циклов переключения, известных из эксперимента. Листинг и описание программы приведены в заявке № 2011618445 от 09.11.2011 на получение свидетельства о регистрации программы для ЭВМ «Программа для расчета характеристик в виде петли гистерезиса неидеальной формы с учетом переключений по частным циклам».

Работа выполнена в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» Минобрнауки РФ, проекты № 2.1.1/11106 и № 2.1.2/11618.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лайнс М., Глас А. Сегнетоэлектрики и родственные материалы. М.: Мир, 1981.
2. Lapshin R. V. Analytical model for the approximation of hysteresis loop and its application to the scanning tunneling microscope // Review of Scientific Instruments. 1995. Vol. 66, № 9. P. 4718–4730.
3. Conspicuous voltage shift of D-E hysteresis loop and asymmetric depolarization in Pb-based ferroelectric thin films / S. Okamura, S. Miyata, Y. Mizutani et al. // Jpn. J. Appl. Phys. 1999. Vol. 38, № 9B. Pt. I. P. 5364–5367.
4. Влияние отжига на самополяризованное состояние в тонких сегнетоэлектрических пленках / И. П. Прошин, Е. Ю. Каптелов, Е. А. Тараканов, В. П. Афанасьев // Физика твердого тела. 2002. Т. 44, вып. 9. С. 1659–1664.
5. Misirlioglu I. B., Okatan M. B., Alpay S. P. Asymmetric hysteresis loops and smearing of the dielectric anomaly at the transition temperature due to space charges in ferroelectric thin films // J. of Appl. Phys. 2010. Vol. 108. P. 034105 (8).
6. Kotsos A., Landis C. M. Phase-Field Modeling of Domain Structure Energetics and Evolution in Ferroelectric Thin Films // J. of Appl. Mech. 2010. Vol. 77. P. 041014 (12).
7. Smith R. C., Hom C. L. A domain wall model for ferroelectric hysteresis // Center for Research in Scientific Computation technical report CRSC-TR99-01: J. of Intelligent Material Systems and Structures. 1999.
8. Балашов Е. Г., Скалиух А. С. Моделирование петель гистерезиса и оптимальный выбор параметров // Математические модели физических процессов: Сб. науч. тр. 11-й Междунар. конф. Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2005. С. 114–117.
9. Device modeling of ferroelectric capacitors / S. L. Miller, R. D. Nasby, J. R. Schwank, M. S. Rodgers // J. of Appl. Phys. 1990. Vol. 68. P. 6463–6471.
10. Гречухин В. Н. Математическое описание петли гистерезиса // Вест. ИГЭУ. 2005. Вып. 1. С. 1–4.

V. P. Afanasjev, N. V. Mukhin, A. V. Semenov, D. A. Chigirev

MODELLING OF NONIDEAL HYSTERESIS LOOPS OF THIN-FILM CAPACITOR STRUCTURES BASED ON LEAD ZIRCONATE-TITANATE

Distortions of the dielectric hysteresis loops of thin-film capacitor structures based on PZT were investigated. A simple but variant algorithm was proposed for the analytical approximation of the hysteresis loops of ferroelectric films with nonideal characteristics. This approach was analyzed in order to its application for prediction the shape of the hysteresis loop corresponding voluntary amplitude of the polarizing field.

Hysteresis loop, ferroelectrics, PZT films



УДК 681.324

Д. Л. Петров, С. В. Кротов, А. В. Митяков

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ MAPREDUCE, ОСНОВАННАЯ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Представлена модель системы, позволяющая реализовать метод MapReduce на инфраструктуре современных облачных вычислений. Модель проста в реализации за счет использования облачных служб, при этом показано, что модель обеспечивает больший уровень отказоустойчивости и масштабируемости, чем современные подходы, реализующие метод MapReduce.

Облачные вычисления, облачные службы, MapReduce

MapReduce. Программная модель Google MapReduce [1] предназначена для обработки больших объемов данных на основе массивно параллельной обработки. Программная модель основана на простых базовых принципах:

- 1) последовательный обход входных данных;
- 2) вычисление пар ключ-значение из каждого блока входных данных;
- 3) группировка всех промежуточных значений по ключу;
- 4) последовательный обход по ключам группы;
- 5) снижение размерности данных в каждой из групп.

Программная модель проста, и при этом эффективно поддерживается параллелизм. Программист может абстрагироваться от вопросов параллельного и распределенного программирования, поскольку среда выполнения программ MapReduce сама заботится о распределении задач по вычислительным машинам кластера, о производительности сети, отказоустойчивости и т. д. Базовые принципы программной модели накладывают некоторые ограничения на решаемые задачи, но она подходит для многих проблем, решение которых на одном вычислительном устройстве невозможно из-за большого количества данных (терабайты, петабайты): подсчет вхождений слов в текст большого объема, распределенный grep, распределенная сортировка и т. д.

Несмотря на простоту программной модели MapReduce его реализация представляет собой сложную техническую задачу [2]. Основная сложность заключается в обеспечении отказоустойчивости системы при работе в распределенной среде, состоящей из сотен и,

возможно, тысяч вычислительных машин (серверов). Кроме того, должны быть обеспечены отказоустойчивые механизмы группировки и передачи данных между серверами. Существующие версии MapReduce (например, Apache Hadoop¹) реализуют указанные возможности и являются сложными, комплексными программными проектами, содержащими сотни тысяч строк программного кода.

В этой работе рассматривается вопрос реализации метода MapReduce на основе существующих технологий облачных вычислений. Современные сервисы облачных вычислений предлагают не только вычислительные ресурсы (серверы) по требованию, но и дополнительные облачные службы, облегчающие разработку распределенных программ в облаке. Облачные службы образуют инфраструктуру облачных вычислений. В работе предлагается модель системы MapReduce на инфраструктуре современных облачных вычислений.

Инфраструктура облачных служб. Современные сервис-провайдеры облачных вычислений наращивают состав и функционал служб, которые предоставляются совместно с основным продуктом – вычислительными мощностями. Сервис-провайдер Amazon Web Service² (AWS) кроме основной службы аренды вычислительных ресурсов – Elastic Compute Cloud (EC2), предоставляет службы хранения данных в файлах, службу аренды блочных устройств, масштабируемую нереляционную базу данных (БД), реляционную БД и другие службы общим количеством более 20 штук. Эти службы наравне со службами аренды серверов представляют собой инфраструктуру облачных служб. Каждый сервис-провайдер имеет собственные облачные службы, значительно различающиеся по составу и функциям.

Несмотря на обилие и разнородность облачных служб им присущи некоторые общие черты. Наиболее популярные сервис провайдеры, такие как Microsoft Azure³ и Amazon Web Service имеют ряд служб совершенно аналогичных по функциям. Эти службы образуют инфраструктуру современных облачных вычислений и уже являются неотъемлемой их частью. Перечисление и краткое описание инфраструктуры облачных служб приведено в табл. 1.

Таблица 1

Наименование сервиса	AWS	Azure
Серверы	Elastic Compute Cloud (EC2)	Azure Compute
Служба хранения файлов	Simple Storage Service (S3)	Binary Large Object (BLOB) Service
Структурированные данные	SimpleDB	Table Service
Обмен сообщениями	Simple Queue Service (SQS)	Queue Service
Блочные устройства	Elastic Block Store (EBS)	Azure Drive

Облачные службы нацелены на упрощение разработки распределенных систем. Использование облачных служб при разработке систем видится перспективным направлением развития распределенных вычислений. В данное время существуют способы решения задач на основе метода MapReduce на инфраструктуре облачных вычислений. Такую возможность предоставляет служба Amazon Elastic MapReduce⁴, входящая в состав служб

¹ <http://hadoop.apache.org>

² <http://aws.amazon.com>

³ <http://www.microsoft.com/windowsazure>

⁴ <http://aws.amazon.com/elasticmapreduce>

AWS. Но все существующие сейчас реализации используют лишь вычислительные узлы облаков, на которых размещаются существующие среды выполнения метода MapReduce, такие как Apache Hadoop. Существующие подходы не используют дополнительные облачные службы. Перспективным видится реализация среды выполнения для метода MapReduce с использованием облачных служб. Это позволит повысить отказоустойчивость систем и упростить их разработку.

Анализ метода MapReduce. Построение среды выполнения метода MapReduce требует детального анализа самого метода, для которого удобно использовать не программную модель, а модель данных, описывающую входные и выходные данные процедур Map и Reduce.

MapReduce преобразует множество пар ключ–значение из одного множества (K^1 – множество ключей; V^1 – множество значений) в множества пар ключ–значение из другого, результирующего множества (K^2 – ключи; V^2 – значения). Причем множество вторых пар значительно меньше, чем множество первых пар. Зачастую выходом MapReduce является одна пара $\langle K^2, V^2 \rangle$.

Задачей процедуры Map является прямое преобразование из пары первых множеств в множество пар вторых множеств $\langle K^1, V^1 \rangle \rightarrow \langle K^2, V^2 \rangle$. Типичным примером такого отображения является преобразование пар <имя файла, содержимое файла> в множество пар <слово, частота повторения слова в файле> в задаче распределенного подсчета частоты слов, или построения индекса.

Среда выполнения должна обеспечить параллельный запуск множества вычислительных узлов (серверов) и последовательно запускать процедуру Map с входными данными $\langle k_i^1, v_i^1 \rangle$.

Модель данных для среды выполнения MapReduce.

Процедура Map:

Input: $\langle k_i^1, v_i^1 \rangle$ – множество пар начальных ключей и значений: $k_i^1 \in K^1$ и $v_i^1 \in V^1$.

Одному обработчику Map передается одна пара.

Output: $\langle k_i^2, v_i^2 \rangle$ – множество пар $k_i^2 \in K^2$ и $v_i^2 \in V^2$. Один обработчик Map может выдавать в результате множество пар.

Процедура Reduce:

Input: $\langle k_i^2, \{v_j^2\} \rangle$ – множество пар ключей и множества значений из результирующего множества, $k_i^2 \in K^2$ и $v_j^2 \in V^2$, причем ключи в парах не повторяются, т. е. $\forall i, j: k_i^2 \neq k_j^2$.

Output: $\langle k_i^2, v_i^2 \rangle$ – множество пар ключей и значений из результирующего множества: $k_i^2 \in K^2$ и $v_i^2 \in V^2$.

Обрабатываемые процедурами Map (слева) и Reduce (справа) множества представлены на рис. 1. На рисунке ключи различаются цветами.

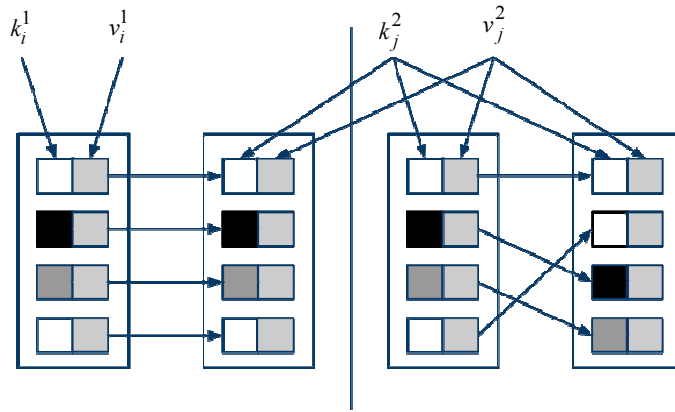


Рис. 1

С точки зрения реализации среды выполнения MapReduce важен переход от выполнения процедуры Map к Reduce. Этот переход будем называть процедурой PreReduce. На рис. 1 PreReduce можно представить в виде перехода от левой части рисунка к правой его части. В соответствии с семантикой метода MapReduce процедура PreReduce должна выполнить группировку всех промежуточных значений по ключам из множества K^2 (п. 3 в принципах MapReduce). Алгоритмы группировки ключей зависят от способа представления данных и их расположения после выполнения процедуры Map. Таким образом, процедура PreReduce задействуется не только при переходе от Map к Reduce, но и при сохранении результатов процедуры Map. Процедуру сохранения результатов Map называют EmitIntermediate; на вход она принимает пару $\langle k_i^2, v_i^2 \rangle$ [1], [3].

В некоторых реализациях MapReduce используется не элементарная программная модель Map-Reduce, а более обобщенная Split-Map-Shuffle-Sort-Reduce [3]. В ней группировка осуществляется в виде двух шагов Shuffle и Sort, которые могут быть изменены пользователем в отличие от традиционного метода MapReduce [1], [4].

Основная сложность реализации среды выполнения MapReduce на инфраструктуре облачных служб заключается в реализации механизма группировки, т. е. шага PreReduce. Модель системы (рис. 1) представляется в виде мастер-сервера, содержащего все основные данные, и двух множеств серверов-обработчиков: задания Map и задания Reduce.

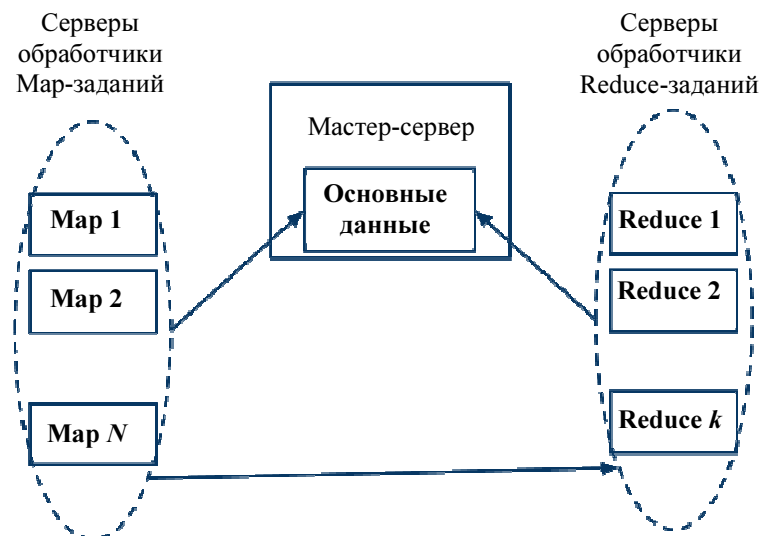


Рис. 2

Модель системы MapReduce на инфраструктуре облачных служб. Обработка большого объема данных, типичная для задач использующих метод MapReduce, приводит к следующим проблемам на шаге PreReduce:

1) проблема группировки списков: $\{\langle k_i^2, v_i^2 \rangle\} \rightarrow \{\langle k_j^2, \{v_j^2\} \rangle\}$, где K в результирующем множестве уникальны;

2) проблема распределения задач $\langle k_i^2, \{v_j^2\} \rangle$ по серверам-обработчикам Reduce-задач.

Указанные проблемы решаются путем использования модели построения системы для метода MapReduce, основанной на масштабируемых и отказоустойчивых облачных службах, перечисленных в табл. 1.

Модель использует облачную службу таблиц и службу очередей для хранения основных данных (Master Data), а также множество (пул) серверов-обработчиков Map- и Reduce-заданий. На практике модель может реализоваться в облаках Amazon Web Services на основе служб SimpleDB, Simple Queue Service (SQS) и Elastic Cloud Computing или же в облаках Azure: Table Service, Queue Service, Azure Compute.

Модель $M = \langle T, Q_{in}, T_u \rangle$ состоит из элементов инфраструктуры облачных служб, таких как таблицы T и T_u , и очереди Q_{in} :

– таблица T предназначена для хранения пар промежуточных значений $\langle k_i^2, v_i^2 \rangle$ – результатов выполнения процедуры Map;

– очередь Q_{in} служит для хранения еще не обработанных ключей k_i^2 процедурой Reduce, причем ключи в очереди должны быть уникальными, т. е. $\forall i, j: k_i^2 \neq k_j^2$;

– таблица T_u – также для хранения уникальных ключей k_i^2 и статуса их обработки процедурой Reduce: «не обработано», «обработано».

Таблица T содержит поля «ключ» k_i^2 и «значение» v_j^2 . Ключи k_i^2 не уникальны, т. е. условие $\forall i, j: k_i^2 \neq k_j^2$ не выполняется, поскольку таблица содержит выходные данные процедуры Map. Данные из таблицы извлекаются по полю «ключ», это поле должно быть проиндексировано, если пользоваться терминами реляционных БД.

На основе модели M сформулируем формальные требования к процедуре PreReduce на каждом из шагов метода MapReduce.

Split (до выполнения процедуры Map):

– таблицы T и T_u пустые;

– очередь Q_{in} пустая;

Shuffle (после выполнения процедуры Map):

– таблица T содержит все результаты выполнения процедур Map в виде пар k_i^2, v_j^2 ;

– очередь Q_{in} содержит все уникальные ключи k_i^2 , полученные в результате выполнения процедуры Map;

– таблица T_u содержит все уникальные ключи k_i^2 со статусом «не обработано».

Sort (после выполнения процедуры Reduce):

– таблица T не изменяется и содержит все результаты выполнения процедур Map в виде пар k_i^2, v_j^2 ;

– очередь Q_{in} пуста;

– таблица T_u содержит все уникальные ключи k_i^2 со статусом «обработано».

В предложенной модели все функции по хранению основных данных перешли от мастер-сервера к масштабируемым и отказоустойчивым облачным службам. Облачные службы, обладая свойствами масштабируемости и отказоустойчивости, способны повысить отказоустойчивость системы в целом. Единственный мастер-сервер для этого необходимо заменить на множество серверов-обработчиков управляющих заданий, в дополнение к множествам серверов Map- и Reduce-заданий.

Анализ модели. На рис. 2 изображена традиционная система, реализующая метод MapReduce. Отказоустойчивость в традиционной реализации обеспечивается лишь на уровне серверов-обработчиков [2], [4]. Отказоустойчивость мастер-сервера на уровне модели системы не обеспечивается.

На рис. 3 изображена система, реализующая метод MapReduce на основе предложенной модели. В предложенной модели основные данные располагаются на стороне облачных служб, а не на стороне мастер-сервера, и единственный мастер-сервер заменен на множество серверов-обработчиков управляющих заданий. Таким образом, предложенная модель не содержит элементов, представленных в единственном экземпляре. Такие элементы заменяются на множество серверов-обработчиков, что становится возможным с использованием облачных служб.

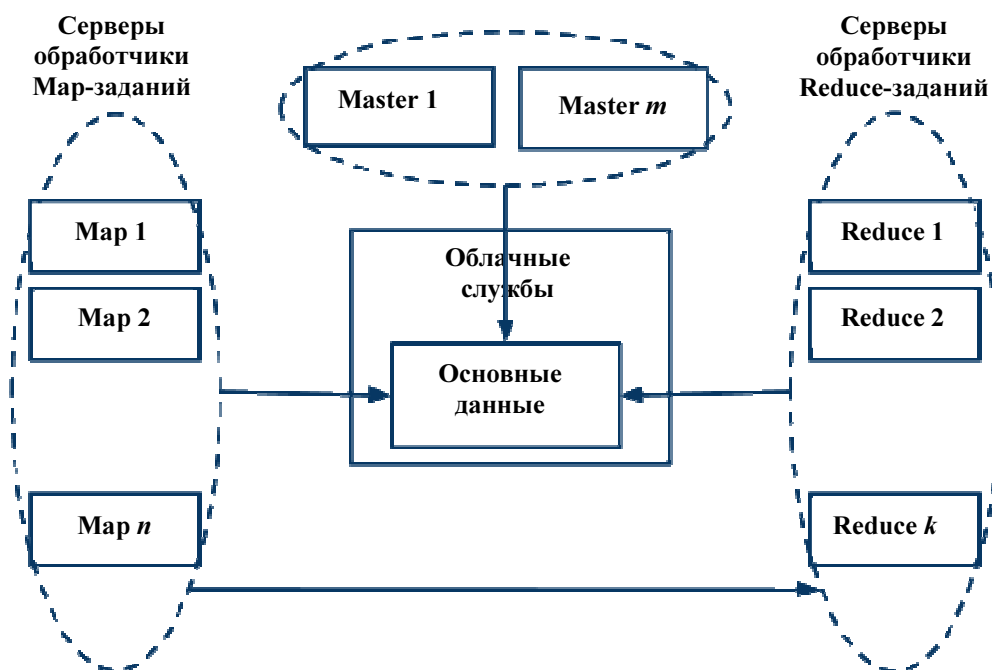


Рис. 3

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы. В работе показано, что современные провайдеры вычислительных ресурсов, такие как Amazon Web Services и Microsoft Azure, имеют аналогичный состав облачных служб, предоставляющих вычислительные ресурсы. Службы образуют архитектуру современных вычислительных «облаков». Для решения вычислительных задач в «облаке» необходимо выполнить отображение решаемой задачи на инфраструктуру облачных служб.

В статье представлена модель системы, позволяющая реализовать метод MapReduce на инфраструктуре современных облачных вычислений. Модель проста в реализации за счет использования облачных служб, при этом в статье показано, что модель обеспечивает больший уровень отказоустойчивости и масштабируемости чем современные подходы, реализующие метод MapReduce.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters // Proc. of the 6th conf. on Symposium on Operating Systems Design & Implementation. 2004. P. 1–10.
2. Lammel R. Google's MapReduce programming model – Revisited // Science of Computer Programming. 2007. Vol. 68. Is. 3. P. 208–237.
3. Hadoop++: Making a Yellow Elephant Run Like a Cheetah / J. Dittrich, J.-A. Quian'e-Ruiz, Al. Jindal, et al. // Proc. of the very large database endowment. 2010. Vol 3(1). P. 518–529.
4. Chen R., Chen H., Zang B. Tiled-MapReduce: optimizing resource usages of data-parallel applications on multicore with tiling // Proc. of the Parallel Computing Technologies. 2010. P. 523–534.

D. L. Petrov, S. V. Krotov, A. V. Mityakov

MAPREDUCE SYSTEM MODEL BASED ON CLOUD COMPUTING INFRASTRUCTURE

In the paper presented the system model which allows to implement of MapReduce method. It is simple to implement the model because model based on cloud services. In the article shows that the model provides a higher level of fault tolerance and scalability than current approaches that implement a MapReduce method.

Cloud computing, cloud services, MapReduce

УДК: 20.53.19, 28.23.13

*И. А. Голубев, М. С. Курьянов, И. С. Павлухин,
Д. А. Серебрянский, И. И. Холод*

СИСТЕМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В УНАСЛЕДОВАННЫХ ИТ-СИСТЕМАХ

Задача составления формального описания бизнес процессов предприятия на данный момент востребована, но не имеет решения в рамках единого программного инструмента. В статье приводится архитектура системы восстановления бизнес процессов, сочетающая в себе функции анализа данных и визуализации моделей процессов, направленная на закрытие данного сегмента рынка.

Система восстановления процессов, модель процесса, data mining, process mining

С задачей повышения эффективности ИТ-систем сталкиваются многие организации. Наибольшие трудности возникают, когда подобная задача решается применительно к унаследованным системам, число которых постоянно растет. Действительно, для таких

систем характерны уникальность, критичность для функционирования предприятия, высокая стоимость замены, постепенная модернизация, отсутствие точных спецификаций и детальных знаний у персонала и недоступность кодов.

В деятельности предприятия часто сталкиваются с отсутствием исходного описания протекающего производственного процесса на понятном формальном языке. Нередки случаи, когда такое описание есть, но используемый язык устарел, и анализ процесса становится слишком трудоемкой задачей. По целому ряду причин реальный процесс может не соответствовать исходным требованиям, что не всегда допустимо [1].

Для решения поставленной задачи используются разные подходы [2], основанные прежде всего на тщательном анализе бизнес-процессов с целью построения моделей разного уровня детализации. На рынке существует ряд продуктов, ориентированных на решение отдельных частных подзадач и опирающихся на опыт и знания бизнес аналитиков. Большое количество работ посвящено анализу данных и процессов – Data и Process Mining [3].

Резюмируя, можно утверждать, что возникла потребность в создании интегрированной среды анализа и построения моделей бизнес-процессов, которая сочетала бы в себе как функции работы с их визуальными моделями, так и методы восстановления и анализа процессов [4], [5].

Далее в работе рассматривается подход, предполагающий автоматизированный, а в пределе и автоматический метод анализа и восстановления бизнес-процессов в унаследованных ИТ-системах.

Другими словами, речь идет о создании системы, обладающей способностью восстанавливать «знания», заложенные создателями процесса на стадиях проектирования и написания кода. В дальнейшем аналитик на предприятии сможет изучить полученные модели, проверить их соответствие исходным требованиям и определить этапы модернизации с целью удовлетворения новых требованиям и/или повысить эффективность бизнес-процессов в целом за счет оптимизации.

Основываясь на данном подходе, можно создать программное приложение, позволяющее анализировать изменения состояния исследуемой информационной системы и на основе собранных данных строить и представлять в удобном для восприятия виде схемы протекающих процессов.

Для решения данной задачи необходимо:

1. Предложить модель описания схемы протекающих в исследуемой системе процессов.
2. Формализовать множество входных данных.
3. Реализовать предложенную концепцию на языке программирования.

Модель объекта исследования. Для построения схемы процесса необходимы данные о состояниях системы и данные сопровождающие переход системы из одного состояния в другое. Исходя из этих предпосылок и была выбрана модель представления системы (рис. 1).

Данная модель состоит из системы, включающей в себя различные компоненты, и среды передачи, через которую компоненты обмениваются сообщениями.

Сама исследуемая система в модели представляет собой «серый ящик». Доступ к содержащимся в нем компонентам, как правило, ограничен. Будем исходить также из того, что по некоторым компонентам можно получить данные об их свойствах. Назовем под-

множество таких компонентов «доступным». Остальные компоненты образуют подмножество «недоступных» компонентов. Состоянием системы назовем уникальное сочетание значений свойств компонентов из множества «доступных». С точки зрения процесса некоторые состояния системы могут быть эквивалентны. Это значит, что в схеме процесса они относятся к одному и тому же классу состояний несмотря на несущественные отличия в свойствах компонентов.

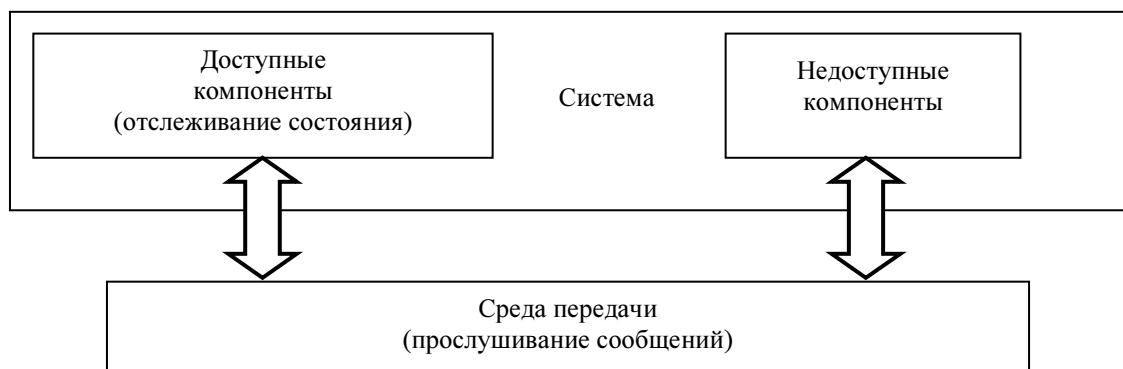


Рис. 1

Еще одна составляющая предложенной модели – это среда передачи данных, обладающая двумя важными свойствами. Во-первых, она дает возможность «прослушивать» передаваемые через нее сообщения. Информация о формате протокола обмена данными позволяет уточнить свойства компонентов системы. Во-вторых, разграничиваются промежутки времени, в которых система находится в фиксированном состоянии. Смена состояния может произойти только после отсылки или получения сообщения от другого компонента системы. Процесс «прослушивания» представляет собой создание упорядоченного по времени множества пар (переданное сообщение, состояние системы), которое в дальнейшем может быть использовано для моделирования всей системы (результат прослушивания – рис. 2).

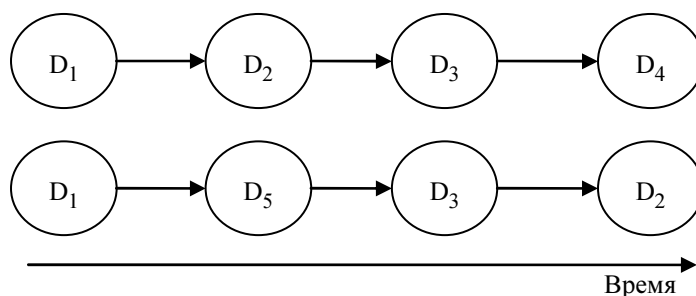


Рис. 2

Данная модель проста и достаточна для описания исследуемых информационных систем. Поясним на примере, как ее можно использовать для отображения реальной системы. Предположим, что исследуются процессы, происходящие при работе служащего с почтовой системой. В систему входят почтовый клиент и почтовый сервис. В данном случае клиент и сервис – это система, причем вся серверная составляющая и некоторая часть клиентской составляющей относятся к подмножеству «недоступных» компонентов. Все, что может быть перехвачено для анализа с помощью операционной системы, – сигналы отслеживаемых компонентов. В данном случае есть возможность перехватывать сетевой

трафик, визуальное представление, служебную информацию, используемую операционной системой, метаинформацию из почтовых протоколов и т. п. Предоставляемая операционной системой сетевая инфраструктура – это среда передачи данных. В качестве классов состояний системы могут выступать множества, сформированные по различным критериям. Если в качестве критерия взять семантическое содержание писем, то можно построить модель процесса работы служащего, если типы передаваемых сообщений – то модель его работы с почтовой системой (какие функции и в каком порядке он использует). Также можно углубиться в структуры пакетов и получить описание процесса взаимодействия почтового клиента с серверной частью. Аналогичным образом с помощью данной модели можно отобразить и другие информационные системы.

Модель процесса. После обработки собранных данных строится модель для решения поставленных задач. В модели должны присутствовать данные следующих видов:

- состояния, в которых находилась система;
- сообщения, передаваемые при переходах между состояниями;
- переходы системы из состояния в состояние;
- правила выполнения переходов.

Таким образом получаем, что модель – это четверка $M = (S, F, U, D)$, где $S = \{s_i\}$ – множество состояний системы; $U = \{s_i, \{p, s_j\}\}$ – множество условных элементов-разветвлений, s_i – состояние после которого идет развилка, p – условие прохождения по элементу развилки, s_j – следующее состояние системы; $F = \{r_i, r_j\}$ – множество переходов между узлами схемы процесса (состояния, элементы-разветвления), $r_i \in S \cup U$, $r_j \in S \cup U$; $D = \{m, f\}$ – множество переданных сообщений, m – сообщение, а $f \in F$.

Предположим, что записано несколько процессов происходящих в системе в виде последовательностей (состояние, сообщение):

- $(S1, m1) - (S2, m2) - (S3, m3) - (S4, ?)$,
- $(S1, m4) - (S5, m5) - (S3, m6) - (S4, ?)$,
- $(S1, m7) - (S2, m8) - (S1, m9) - (S2, m10) - (S3, m11) - (S4, ?)$,

тогда ей соответствует схема на рис. 3.

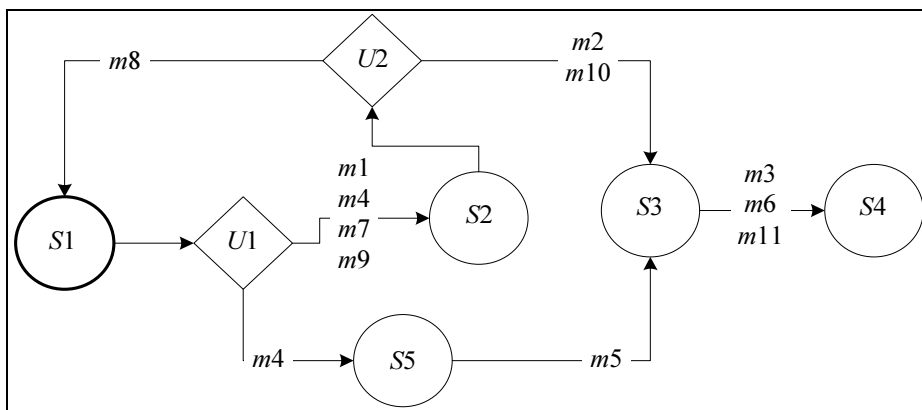


Рис. 3

Предложенная модель содержит элементы, которые позволяют выполнить все требуемые последующие задачи, а именно: представить пользователю в удобном для него виде модель процесса, провести дополнительную обработку, выполнить анализ, изменить или дополнить сам процесс.

Можно также сделать вывод, что множество D можно получить на стадии накопления информации о системе, а множества F , S и U программа должна воссоздать на основании полученных данных.

Этапы конструирования модели. Итак, для того чтобы построить модель исследуемого процесса, необходимо выделить множество состояний системы. Для этого предлагается следить некоторое время за работой системы и накапливать данные о ней, после чего выполнить аналитическую обработку накопленных данных для получения результирующей модели.

Стоит отметить, что у данного подхода есть ряд ограничений. Во-первых, нет гарантий, что система в период наблюдения побывает во всех состояниях и, вероятно, некоторые состояния не попадут в модель. Также есть вероятность того, что некоторые взаимосвязи между состояниями системы не будут отражены в полученной модели.

Тем не менее, на данном этапе будет получена схема, частично описывающая процесс, происходящий в системе. На следующих этапах эту схему можно будет дополнить, добавив не выявленные ранее связи и состояния системы.

В самом общем представлении процесс конструирования модели можно разделить на следующие этапы (рис. 4):

1. Слежение за системой с целью накопления данных о ней.
2. Интеллектуальный анализ имеющихся данных, в результате которого строится модель исследуемого процесса.
3. Представление результатов работы человеку в удобной для него форме.

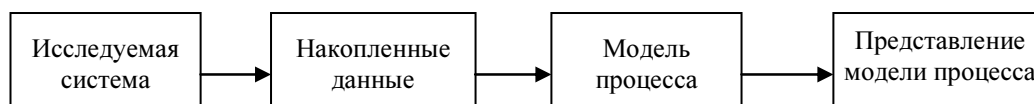


Рис. 4

На практике построение формализованного описания работы системы требует введения ряда дополнительных этапов (рис. 5), позволяющее существенно увеличить полноту и достоверность получаемой схемы. Кроме того, на каждом из этих этапов предусматривается контроль человеком и, в случае необходимости, коррекция анализа и самой получаемой модели.

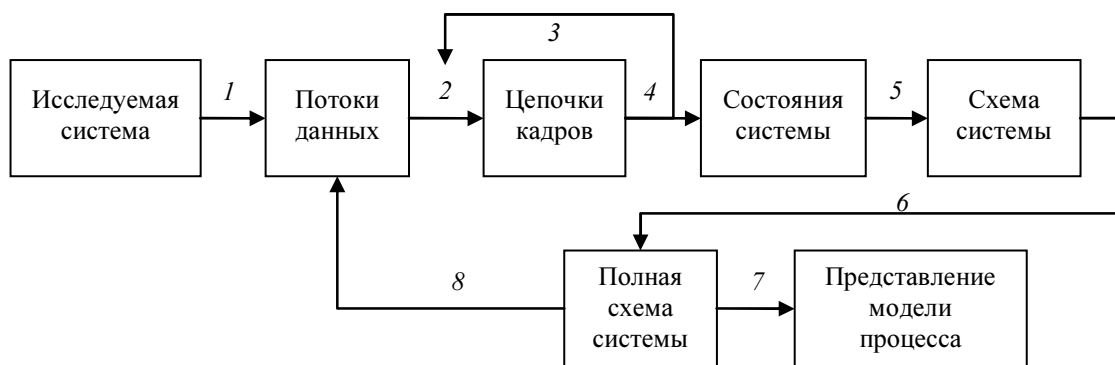


Рис. 5

Расширенный процесс конструирования модели предполагает выполнение следующих этапов.

Этап 1. Слежение за системой с целью накопления данных о ней.

Этап 2. Разбиение потока данных на отдельные порции (в дальнейшем – кадры).

Кадр – участок в потоке данных между двумя последовательными сменами состояний в системе. Например, в некоторых системах прослеживается четкая закономерность – кадр точно соответствует одному пакету прикладного протокола передачи данных. В более сложных системах необходимо выделять ряд признаков для такого разбиения. К ним можно отнести изменения в визуальном представлении, в системных переменных и т. п.

Этап 3. Фильтрация и ручная коррекция входных данных. Проводится как автоматически, так и пользователем. Данный этап очень важен, так поскольку все допущенные в нем ошибки будут распространяться на следующие этапы, внося искажения в результирующую модель.

Этап 4. Отнесение каждого из имеющихся кадров к некоторому состоянию системы. Поскольку у нас заранее нет знания о возможных состояниях, то необходимо решить задачу кластеризации всех имеющихся кадров по выделенным признакам. Для этого можно использовать как готовые алгоритмы кластеризации, так и разработанные специально для конкретной задачи, базирующиеся на ряде допущений о структуре входных данных.

Выделение классов состояний. Для выделения классов состояний на основании имеющегося множества кадров $K = \{k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_s\}$ необходимо определить отношение подобия двух элементов этого множества $d(k_i, k_j)$. Для определения подобия необходимо определить признаки, по которым будет выполняться сравнение элементов, т. е. каждый кадр должен иметь ряд признаков, характеризующих его:

$$K_i = \{a_1, a_2, \dots, a_f, \dots, a_n\}.$$

Примерами таких признаков могут служить, например, размер, отправитель, получатель и другие атрибуты заголовка пакета. Очевидно, что состав признаков зависит от анализируемых систем и данных, доступных для анализа.

Если представить множество кадров точками в n -мерном пространстве (n – количество признаков, по которому выполняется сравнение), то меру подобия можно рассматривать как расстояние между двумя точками. Естественно, что для вычисления расстояния все признаки должны быть преобразованы к числовому виду и нормализованы. Для вычисления расстояния могут быть использованы различные метрики расстояния: Чебышева, евклидово, манхэттенское, Махаланобиса.

После выбора функции вычисления расстояния d задачу выделения классов состояний можно свести к задаче кластеризации. Особенностью данной задачи является априорно неизвестное количество искомых кластеров (состояний системы), в связи с чем не все известные методы кластеризации могут быть использованы для ее решения.

Возможны два подхода решения задачи кластеризации при неизвестном количестве кластеров:

- Используются иерархические методы построения кластеров, строящие все возможное количество кластеров от 1 до s (т. е. от единого кластера, до кластеров, включающих в себя отдельные элементы), и затем выбираются кластеры с дисперсией меньше заданной.

- Задается минимально допустимое расстояние d_{\min} и далее для каждого нового элемента множества k_i вычисляется расстояние между ним и центрами c_j имеющихся кластеров – $d(k_i, c_j)$, если это расстояние меньше допустимого ($d(k_i, c_j) < d_{\min}$), то элемент k_i добавляется в кластер, если больше, то из элемента k_i образуется новый кластер.

В результате решения задачи кластеризации будет определено множество кластеров, которое и будет принято за множество состояний системы – S .

Восстановление взаимосвязей между состояниями в модели. Восстановление знаний об условных элементах реализуется автоматизированными методами с привлечением пользователя. На основе имеющегося множества D переданных сообщений строятся таблицы, из которых методами анализа данных Data Mining извлекаются скрытые правила переходов. Для извлечения некоторых правил имеющихся данных о системе недостаточно, поэтому в таких случаях применяются также и ручные методы восстановления с привлечением эксперта в предметной области.

Построенная модель в удобном для восприятия виде выводится пользователю. На данной стадии он может субъективно оценить качество полученной модели и либо продолжить процесс восстановления, либо преобразовать в удобный для дальнейшего использования формат.

Все стадии, приведенные в схеме, так или иначе реализованы в описываемом программном пакете. Компоненты реализованы в виде отдельных заменяемых блоков со стандартизированным интерфейсом. Это дает возможность быстро адаптировать весь пакет для более точного решения конкретных задач. При замене алгоритмов кластеризации и восстановления бизнес-правил и методов разбиения потока данных на кадры можно перенастроить программу, что позволит адаптировать ее для восстановления схем информационных процессов протекающих на других аппаратных и программных средах.

В заключение можно сказать следующее. В ходе проведенного исследования был предложен подход, основанный на методе автоматического построения моделей бизнес-процессов, которые выполняются в унаследованной информационной системе.

Перехваченные из информационной системы данные подвергаются кластерному анализу. Информации о результатах кластеризации достаточно для восстановления модели бизнес-процесса по сохраненным последовательностям данных. На данный момент существует прототип программной среды, который реализует полный цикл накопления и обработки информации. Пользователь программы получает в свое распоряжение ряд инструментов, позволяющих перехватывать интересующие его данные, сохранять их в форме, удобной для последующей обработки, редактировать, фильтровать, выполнять предобработку, автоматически строить схему процесса, отображать ее в удобной графической форме и сохранять в различных популярных форматах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weske. M. Business process management: concepts, languages, architectures Springer, 2007. 382 p.

2. Куприянов М. С. Анализ данных и процессов 3-е изд. / СПб.: БХВ, 2009. 512 с.
3. Чеботарев В. Г., Громов А. И. Эволюция подходов к управлению бизнес-процессами // Бизнес-Информатика. 2010 № 1 (11). С. 14–19.
4. Van der Aalst W. M. P., Van Hee K. Workflow Management: Models, Methods and Systems. The MIT Press, 2002. 384 p.
5. Modern business process automation/ W. M. P. van der Aalst, A. H. M. terHofstede, M. Adams, N. Russell, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 676 p.

*I. A. Golubev, M. S. Kupryanov, I. A. Pavluchin,
D. A. Serebryansky, I. I. Holod*

PROCESS DISCOVERY FOR LEGACY INFORMATION SYSTEMS

Although business process formal descriptions are highly demanded for enterprises today, this task lacks a decent integrated software tool. The paper covers software architecture of the system used to perform both data analysis and process model visualization. The system is aimed at closing the aforementioned market gap.

Process discovery system, process model, data mining, process mining

УДК 519.81

Е. А. Бурков, А. В. Карпачевский, П. И. Падерно

ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИХ УЧАСТИЯ В ЭКСПЕРТИЗАХ

Представлен подход, направленный на получение и использование априорных оценок компетентности экспертов на основе результативности их участия в экспертизах.

Итеративный алгоритм, компетентность, экспертные оценки

Для принятия важных управленческих решений часто используются методы экспертного оценивания. Их применение позволяет сделать выбор в тех ситуациях, когда лицо, принимающее решение (ЛПР), располагает неполной или недостоверной информацией, а критерии выбора имеют субъективный характер. Экспертное оценивание может быть применено для оценки качества сложных объектов и систем, планирования производства, анализа последствий принятых решений и т. д.

Основную роль при проведении экспертного оценивания играет экспертная комиссия, члены которой вырабатывают или готовят решение. Отбор экспертов – это важный этап любой экспертизы. Стоит отметить, что данная задача существенно упрощается, если мы располагаем неким реестром или базой данных (БД), в которой хранится информация о большинстве действующих специалистов. Создание такой БД является отдельным, требующим глубокой проработки вопросом. Необходимым минимумом личных данных, хранящихся в БД о каждом эксперте, являются: ФИО эксперта, место работы, контактная информация, сведения о научной деятельности (ученая степень, звание, публикации). Помимо перечисленного в БД должны храниться показатели, характеризующие профессиональный уровень специалиста в определенной предметной области, а также его способность полноценно выполнять обязанности эксперта. В качестве таких показателей могут использоваться коэффициенты компетентности, квалификации и экспертности, представляющие собой весовые коэффициенты (обычно их значения варьируются от нуля до единицы). Коэффициент компетентности отражает качество работы эксперта в целом и может быть использован как при формировании состава экспертной группы в качестве критерия

выбора, так и в алгоритмах обработки экспертных оценок в качестве весового коэффициента. Квалификация – менее изменчивая характеристика эксперта, как правило, являющаяся составной частью компетентности эксперта. Она может незначительно меняться от экспертизы к экспертизе в зависимости от периодичности их проведения и характера предметной области. Получить численное значение квалификации можно на основе данных о научной деятельности эксперта, опыте работы в предметной области, некоторых психофизических его характеристиках и т. п. Экспертность характеризует результативность работы эксперта в конкретной экспертизе, и при ее определении используется аксиома несмещенности [1]: чем меньше отклонение оценок, выставленных экспертом, от групповых оценок, полученных путем агрегирования, тем больше будет величина экспертности данного специалиста.

При добавлении нового эксперта в БД коэффициент компетентности эксперта определяется его квалификацией. После проведения экспертиз с участием данного эксперта коэффициент этот корректируется на основе анализа полученных результатов. Коэффициенты компетентности экспертов, скорректированные по результатам последней экспертизы, могут быть использованы при отборе экспертов, а также при расчете величины их гонорара. Привязка гонорара эксперта к компетентности мотивирует специалистов подходить к экспертному оцениванию с большей ответственностью. Отбор участников на основе показателя их компетентности будет более объективным и независимым.

В БД для каждого эксперта будет храниться коэффициент квалификации, присвоенный эксперту в начале экспертизы, а также коэффициенты экспертности и компетентности, получаемые по окончании экспертизы исходя из ее результатов. Если эксперт принимал участие в n экспертизах, то в БД будут храниться n его коэффициентов компетентности, экспертности и квалификации.

Рассмотрим два вопроса, связанные с формированием априорной оценки компетентности экспертов на основе апостериорных оценок, полученных в n предыдущих экспертизах:

- Как агрегировать коэффициенты экспертности, полученные экспертом после участия в n экспертизах?
- Как получить скорректированный коэффициент компетентности эксперта с учетом результативности его участия в экспертизе и его квалификации?

Агрегация. Очевидно, что экспертизы проведенные вчера и пять лет назад имеют различную значимость. Поэтому при агрегировании апостериорных коэффициентов экспертности надо учитывать то, как давно был получен каждый конкретный коэффициент, какова тенденция их изменения. Таким образом, задача заключается в определении априорного коэффициента экспертности на основе ряда апостериорных коэффициентов с учетом фактора времени. Для этого может быть использована следующая формула:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i e_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (1)$$

где \bar{e} – это априорный коэффициент экспертности; e_i – апостериорная оценка экспертности, полученная экспертом в i -й экспертизе; α_i – весовой коэффициент, определяющий значимость e_i . Коэффициент α_i представляет собой функцию, зависящую от двух пере-

менных: s_i – весовой коэффициент, определяемый значимостью i -й экспертизы; t_i – время, прошедшее с момента завершения i -й экспертизы, выраженное в годах. Эта зависимость выражается формулой

$$\alpha_i(s_i, t_i) = s_i p_{-t_i},$$

где p – параметр, зависящий от скорости развития предметной области, в которой проводились экспертизы.

Коррекция. Для определения скорректированного коэффициента экспертной компетентности был выбран итеративный алгоритм определения апостериорной компетентности. Алгоритм основан на аксиоме несмещенности [1], в соответствии с которой мнение большинства всегда является более компетентным, чем мнение отдельного эксперта¹.

Предположим, что для проведения экспертного оценивания n альтернатив было приглашено m экспертов, которые выразили свое мнение в виде численных оценок, т. е. каждый i -й эксперт поставил каждой j -й альтернативе оценку v_{ij} . Тогда все полученные от экспертов оценки можно представить в виде матрицы оценок следующего вида:

$$\mathbf{V} = (v_{ij})_{i=1, j=1}^{m, n}. \quad (2)$$

Начальные коэффициенты компетентности экспертов записываются в виде нормированного вектора компетентности:

$$\mathbf{c}_{0H} = (c_{0H_1} \quad \dots \quad c_{0H_i} \quad \dots \quad c_{0H_m}), \quad \sum_{i=1}^m c_{0H_i} = 1. \quad (3)$$

Дальнейшие расчеты не имеют смысла, если матрица экспертных оценок является несогласованной. Для оценки согласованности будем использовать коэффициент альфа Кронбаха. Формула его вычисления имеет следующий вид:

$$\alpha_K = \frac{m}{m-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}{\sigma_s^2} \right), \quad (4)$$

где m – число экспертов; σ_s – СКО ряда, j -й элемент которого представляет собой сумму всех оценок, полученных j -й альтернативой от экспертов; σ_i – СКО оценок i -го эксперта. Будем считать, что матрица (2) является согласованной, если значение коэффициента (4) не ниже 0.7 [2].

Рассчитывается начальный вектор групповых оценок альтернатив:

$$\bar{\mathbf{v}}_0 = \text{Agr}(\mathbf{c}_{0H}, \mathbf{V}) = (\bar{v}_{0_1} \quad \dots \quad \bar{v}_{0_j} \quad \dots \quad \bar{v}_{0_n}),$$

где $\text{Agr}(\mathbf{c}_{0H}, \mathbf{V})$ – заданная функция агрегирования экспертных оценок, например аддитивная свертка.

¹ Подробно исходная версия алгоритма представлена в [3].

Каждая последующая итерация алгоритма начинается с вычисления для всех экспертов отклонения вектора индивидуальных оценок \mathbf{v}_i от вектора групповых оценок альтернатив $\bar{\mathbf{v}}_{t-1}$, полученного на предыдущей итерации:

$$l_{ii} = d(\bar{\mathbf{v}}_{t-1}, \mathbf{v}_i), \quad i = \overline{1, m},$$

где t – индекс текущей итерации алгоритма; $\bar{\mathbf{v}}_{t-1}$ – вектор групповых оценок, полученный на предыдущей итерации алгоритма; \mathbf{v}_i – вектор, элементы которого представляют собой оценки, поставленные i -м экспертом каждой из n альтернатив; $d(\bar{\mathbf{v}}_{t-1}, \mathbf{v}_i)$ – функция расстояния между векторами $\bar{\mathbf{v}}_{t-1}$ и \mathbf{v}_i , вид которой зависит от заданной метрики пространства экспертных оценок.

Далее для каждого эксперта вычисляется максимально возможное в пределах заданного пространства экспертных оценок отклонение вектора его оценок \mathbf{v}_i от вектора групповых оценок $\bar{\mathbf{v}}_{t-1}$, а также относительное отклонение оценок:

$$l_{t_{\max}} = \max_{\mathbf{u}_i^t} \left\{ d(\bar{\mathbf{v}}_{(t-1)_i}, \mathbf{u}_i^t) \right\}, \quad i = \overline{1, m},$$

$$\sigma_i^t = l_i^t / l_{t_{\max}}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Коэффициенты компетентности экспертов пересчитываются с учетом значений (9):

$$c_i^t = 1 - \sigma_i^t, \quad i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

С учетом изменившегося нормированного вектора компетентности (3) пересчитывается вектор групповых оценок:

$$\bar{\mathbf{v}}_t = \text{Agr}(\mathbf{c}_{tH}, \mathbf{V}) = (\bar{v}_{t_1} \dots \bar{v}_{t_j} \dots \bar{v}_{t_n}).$$

В конце каждой итерации проверяется условие окончания выполнения алгоритма:

$$d(\bar{\mathbf{v}}_t, \bar{\mathbf{v}}_{t-1}) < \xi,$$

где ξ – параметр, определяющий момент остановки метода и задающий точность вычисления вектора групповых оценок (например, $\xi = 0.001$).

Было проведено тестирование представленного выше алгоритма с целью выявить наличие корреляционной зависимости между подаваемым на вход алгоритма и получаемым на последней итерации векторами коэффициентов компетентности экспертов. Тестирование проводилось методом Монте-Карло [4]. На вход алгоритма подавались случайная согласованная матрица экспертных оценок и различные векторы начальных коэффициентов компетентности экспертов, после чего проводилось вычисление коэффициента корреляции между подаваемыми на вход и получаемыми на выходе векторами коэффициентов компетентности:

$$k_{\text{кор}} = \frac{\sum_{i=0}^m (c_{0H_i} - \bar{c}_{0H})(c_{KH_i} - \bar{c}_{KH})}{\sqrt{\sum_{i=0}^m (c_{0H_i} - \bar{c}_{0H})^2 \sum_{i=0}^m (c_{KH_i} - \bar{c}_{KH})^2}},$$

где $c_{кн_i}$ – нормированное значение коэффициента компетентности i -го эксперта после заключительной итерации алгоритма.

На вход алгоритма подавалась случайная согласованная матрица экспертных оценок и все возможные вектора компетентности. Вычисления проводились для случайной матрицы размером 5×10 , и было перебрано более 10 тысяч различных входных векторов компетентности. Среднее значение коэффициента корреляции между входными и выходными векторами компетентности экспертов не превысило 0.01. Отсюда можно сделать вывод, что корреляционная зависимость между подаваемым на вход алгоритма и получаемым на последней итерации векторами коэффициентов компетентности экспертов отсутствует.

На основе полученных данных можно утверждать, что рассмотренный алгоритм может использоваться для получения апостериорного коэффициента компетентности экспертов, но не для последовательной корректировки этого коэффициента от экспертизы к экспертизе.

Необходимо иметь возможность корректировать коэффициент компетентности в зависимости от результативности участия эксперта в экспертизе. Чтобы такая корректировка была возможна, необходимо модифицировать приведенный итеративный алгоритм с целью появления корреляционной зависимости между входными и выходными данными. Предлагается внести ряд изменений в исходную версию алгоритма.

На вход алгоритма вместо нормированного вектора коэффициентов компетентности экспертов будем подавать нормированные векторы коэффициентов их квалификации и экспертности:

$$\mathbf{q}_H = (q_{H_1} \dots q_{H_i} \dots q_{H_m}), \sum_{i=1}^m q_{H_i} = 1,$$

$$\mathbf{e}_{0H} = (e_{0H_1} \dots e_{0H_i} \dots e_{0H_m}), \sum_{i=1}^m e_{0H_i} = 1,$$

где q_{H_i} – нормированное значение квалификации i -го эксперта (q_i берется из БД); e_{0H_i} – нормированное значение экспертности i -го эксперта. Значение e_{0_i} определяется в начале экспертизы либо по формуле (1), если известна информации о результатах участия i -го эксперта в предыдущих экспертизах, либо по следующей формуле, если подобная информация отсутствует:

$$e_{0_i} = \frac{1}{m^*} \sum_{k=1, k \neq i}^{m^*} e_{0_k}^0,$$

где m^* – число экспертов, экспертность которых e_k^0 рассчитывалась по формуле (1). На последующих итерациях модифицированного алгоритма экспертность будет рассчитываться аналогично формуле (6) (а затем нормироваться):

$$e_{t_i} = 1 - \sigma_{t_i}, \quad i = \overline{1, m}; t \neq 0.$$

Добавим в исходный алгоритм пересчет компетентности экспертов на каждой итерации (включая нулевую) в соответствии со следующей формулой:

$$c_{t_i} = \begin{cases} q_{H_i} + (1 - q_{H_i})(e_{t_{H_i}} - \bar{e}_H), & \text{если } e_{t_{H_i}} - \bar{e}_H > 0, \\ q_{H_i} - q_{H_i}(\bar{e}_H - e_{t_{H_i}}), & \text{если } e_{t_{H_i}} - \bar{e}_H \leq 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $e_{t_{H_i}}$ – нормированное значение экспертности i -го эксперта, полученное на t -й итерации; \bar{e}_H – среднее значение нормированной экспертности (равное $1/m$).

Использование в формуле (7) множителя $e_{t_{H_i}} - \bar{e}_H$ обусловлено тем, что данная величина характеризует успешность работы эксперта. Если данная разность больше нуля, то эксперт отработал «выше среднего». Следовательно, его компетентность должна быть скорректирована в большую сторону. Если эксперт был далек от мнения большинства, то его компетентность понижается. Величина, на которую будет скорректирован коэффициент компетентности, зависит от коэффициента квалификации эксперта.

Полученный с помощью (7) и нормированный вектор компетентности экспертов подается на следующую итерацию алгоритма. Прочие вычисления выполняются в соответствии с исходной версией алгоритма.

Модифицированная версия алгоритма также подверглась тщательному тестированию методом Монте-Карло. Полученное среднее значение коэффициента корреляции между входными и выходными векторами составило 0.97. Это показывает, что предложенный алгоритм обеспечивает корреляционную связь между входными и выходными данными.

Получаемые на выходе модифицированного алгоритма коэффициенты компетентности и экспертности записываются в БД. При проведении очередной экспертизы эти коэффициенты могут быть извлечены из БД и использованы при формировании экспертной комиссии и обработке экспертных оценок. Помимо вектора скорректированной компетентности на выходе модифицированного алгоритма мы получаем вектор групповых оценок, на основании которого можно выбрать наилучшую альтернативу, упорядочив исходное множество альтернатив по убыванию соответствующих им групповых оценок.

В заключение скажем следующее. Рассмотрен способ получения коэффициентов компетентности экспертов, что позволяет отбирать наиболее подходящих из них для каждой экспертизы, и как результат, получать достоверные оценки исследуемых альтернатив (объектов экспертизы). Разработан программный продукт, реализующий:

1) модифицированный итеративный алгоритм обработки экспертных оценок и получения апостериорной оценки компетентности экспертов. Данный алгоритм позволяет учесть при расчете коэффициентов компетентности экспертов: а) квалификацию эксперта; б) результативность его участия в проводившихся ранее экспертизах;

2) расчет априорной оценки компетентности экспертов на основе ряда апостериорных оценок с учетом давности и важности экспертиз.

Созданный программный продукт в совокупности с БД, обеспечивающей хранение информации об экспертах, целесообразно использовать при проведении экспертиз для решения задач группового выбора и определения значимости экспертов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. М.: Радио и связь, 1990. 286 с.
2. Дубина И. Н. Математические основы эмпирических социально-экономических исследований. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2006. 263 с.

3. Бурков Е. А. Определение компетентности экспертов на основе поставленных ими оценок // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2009. № 4. С. 20–24.
4. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Статистическое моделирование. М.: Наука, 1982. 296 с.

E. A. Burkov, A. V. Karpachevskiy, P. I. Paderno

DETERMINATION OF EXPERTS COMPETENCE BASED ON THEIR PERFORMANCE IN EXPERTISES

The paper presents an approach aimed at getting and using antecedent estimations of competence of experts based on their performance in expertises.

Iterative algorithm, competence, expert estimations

УДК 519.246.8

Л. А. Бровкина, В. А. Смирнова

АНАЛИЗ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА В ЗАДАЧЕ ЛОГИСТИКИ

Проведен анализ и построен прогноз временного ряда, соответствующего данным об объеме перевозок грузов с помощью метода анализа сингулярного спектра.

Временной ряд, логистика, анализ сингулярного спектра

Рассмотрим задачу построения математической модели прогнозирования объемов перевозок грузов на основе реальных данных. Исходным материалом для задачи является некоторый набор данных о процессе, полученный через равные промежутки времени – временной ряд.

Анализ временных рядов является широко применяемой на практике и быстро развивающейся областью математики. Он применяется для решения целого спектра экономических, технических и медицинских задач.

В снабженческой, производственной и распределительной логистике широко используются различные модели и методы прогнозирования, поскольку прогнозные оценки развития анализируемых процессов являются основой принятия управленческих решений. От точности и надежности прогноза зависит эффективность реализации логистических операций и функций [1].

Задача, сформулированная в данной статье, имеет экономический смысл – ее решение позволяет снизить затраты на перевозки грузов. Для решения данной задачи используется метод анализа сингулярного спектра (SSA), известный в России под названием «Гусеница». Впервые этот метод был сформулирован в 1969 г. в работе О. М. Калинина, выполненной под руководством А. Н. Колмогорова.

Для решения задачи используются различные программные пакеты: STATISTICA, Microsoft Excel, а также программы CaterpillarSSA 3.40 и CatSSA 2.00, разработанные на кафедре статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ.

Постановка задачи. На основе реальных данных транспортно-экспедиторской фирмы о перевозках груза в течение дня для 53 предприятий в период с 6 января 2009 г. по 28 июля 2010 г. требуется построить математическую модель соответствующего временного ряда и прогноз с целью получения как можно более достоверной информации о количестве исходящего груза на каждое предприятие.

Фрагмент исходных данных представлен в табл. 1.

Таблица 1

Пункт доставки (код)	Дата					
	01.03.2010	02.03.2010	03.03.2010	04.03.2010	05.03.2010	06.03.2010
	Масса перевозимого груза, т					
Предприятие 1	24,82	37,70	20,29	14,51	26,11	2,90
Предприятие 2	8,27	8,81	8,70	5,49	15,29	0,18
Предприятие 3	3,55	1,65	2,75	1,74	4,13	0,08
Предприятие 4	4,30	5,48	6,83	6,55	8,59	1,80

Далее приведен анализ и построен прогноз с использованием метода SSA для временного ряда, соответствующего предприятию 1. Для остальных предприятий результаты носят аналогичный характер.

Метод SSA основан на исследовании временного ряда методом главных компонент и не требует предварительной стабилизации ряда. Он позволяет исследовать структуру временного ряда, выделить отдельные его составляющие и прогнозировать как сам ряд, так и тенденции развития его составляющих. Особенности метода являются такие его свойства, как интерактивность и визуализация результатов вычислений. Достоинством метода является отсутствие требования априорного задания модели ряда, а также возможность выделения гармонических составляющих с изменяющимися амплитудами и частотами, что выгодно отличает его от методов, в основе которых лежит метод Фурье. Анализ сингулярного спектра служит для разложения временных рядов на интерпретируемые составляющие, такие как тренд, колебательные компоненты и шум.

Метод состоит из следующих этапов. Выбирается параметр L – «длина окна». Строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L+1)$ -ю и т. д. Следующий шаг – это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов – собственного и факторного.

Предположим, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов. Теоретические результаты позволяют при некоторых условиях определить по виду собственных чисел, собственных и факторных векторов, что это за слагаемые и какой набор элементарных матриц соответствует каждому из них. Суммируя элементарные матрицы внутри каждого набора и затем, переходя от результирующих матриц к ряду, мы получаем разложение ряда на аддитивные слагаемые, например на сумму тренда, периодики и шума.

Рассмотрим исходный ряд (объемы перевозок грузов в тоннах на предприятие 1) и анализируем его с помощью анализа сингулярного спектра. Длину окна L выберем кратной шести, периоду сезонной (недельной) компоненты, и достаточно большой (равной половине длины исходного ряда). Так как исходный ряд имеет длину 492, то длину окна выберем равной 246.

Нестационарность временного ряда определяется по графику автокорреляционной функции (рис. 1), на котором после периода затухания появляется несколько сравнительно больших значений коэффициента корреляции.

На рис. 2 приведены логарифмы и корни из собственных чисел (с. ч.) корреляционной матрицы. По виду графиков можно предположить, сколькими главными компонентами описывается ряд [2]. После 6-й главной компоненты на рис. 2 прослеживается равномерное убывание маленьких собственных чисел, следовательно, после 6-й компоненты наблюдается шум.

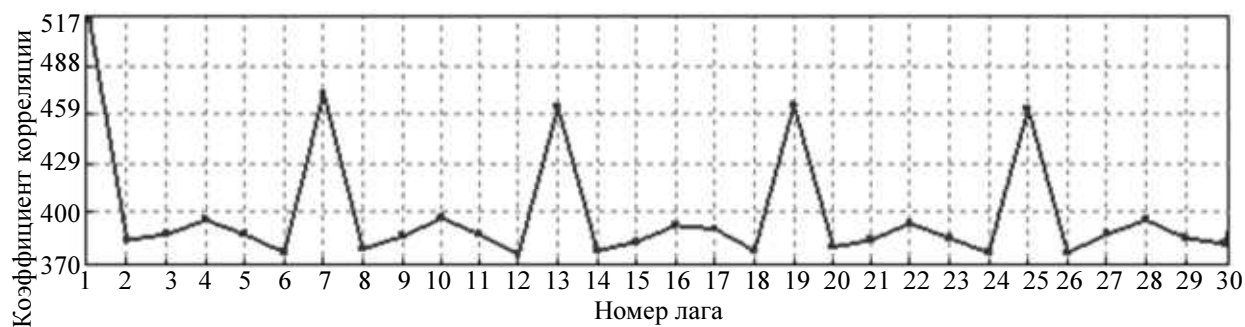


Рис. 1



Рис. 2

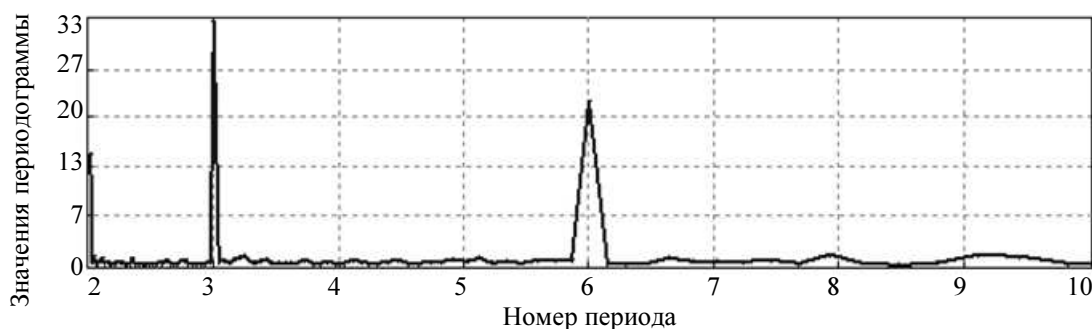


Рис. 3

По графику периодограммы (рис. 3) можно сделать вывод о присутствии периодических составляющих с периодами два, три и шесть дней.

Воспользовавшись методом анализа сингулярного спектра [2], получаем, что вклад первой компоненты в исходный ряд составляет 76,927 %, второй – 3,241 %, третьей – 3,211 %, четвертой – 2,878 %, пятой – 2,160 %, шестой – 2,143 %. Первая главная компонента представляет собой близкий к линейному тренд, вторая и третья ГК – периодические колебания с периодом три дня, четвертая – периодические колебания с периодом два дня, пятая и шестая – периодические колебания с периодом шесть дней.

На рис. 4, *a–e* представлен исходный ряд, восстановленный по каждой из первых шести компонент в отдельности.

Вклад в исходный ряд первых шести главных компонент (ГК) составляет 90,56 %.

Восстановим ряд по первым шести компонентам (рис. 5) и проведем анализ остатков. Темная линия на рис. 5 – восстановленный ряд, светлая – исходный ряд.

На графике АКФ (рис. 6) представлены коэффициенты корреляции ряда остатков, а также нижняя и верхняя граница значимости коэффициентов корреляции. Исходя из вида графика, значения ряда остатков независимы между собой.

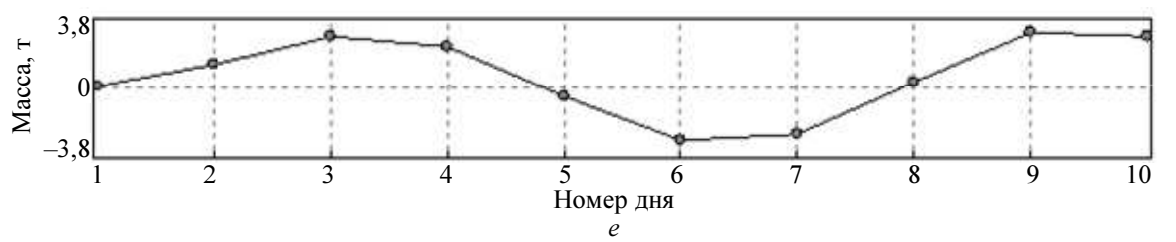
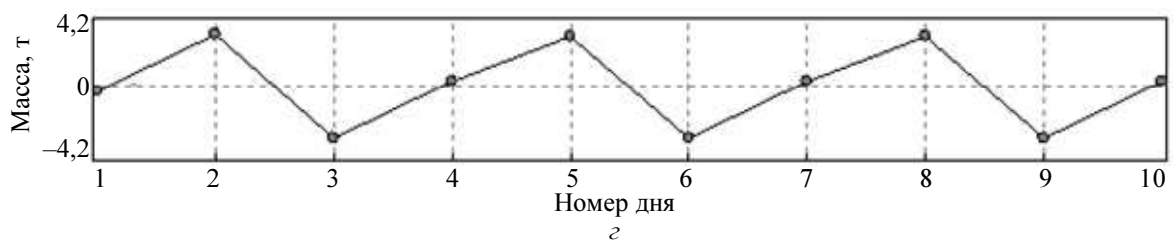
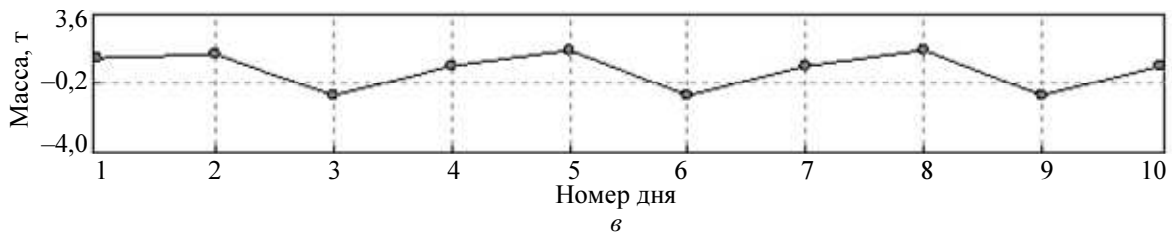
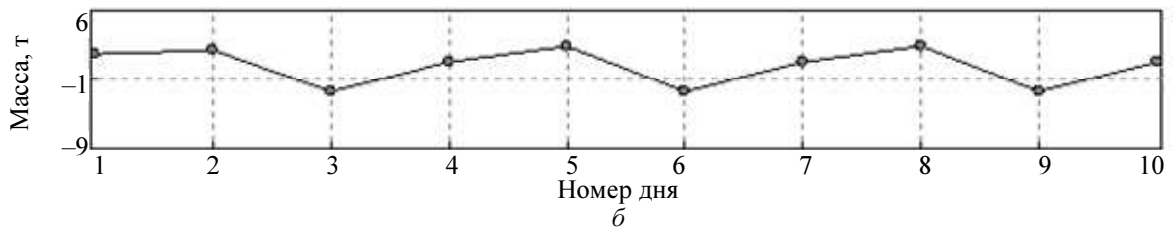
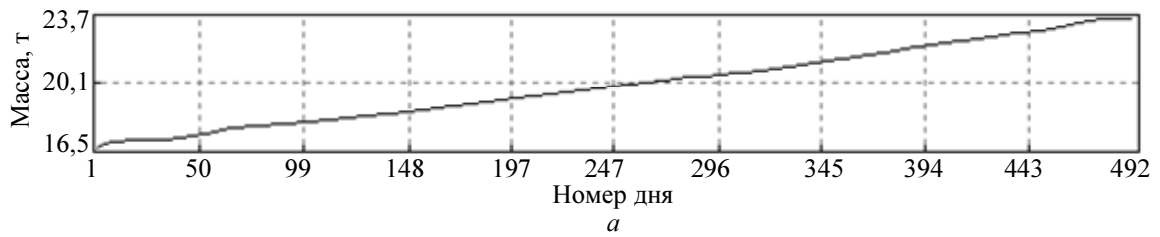
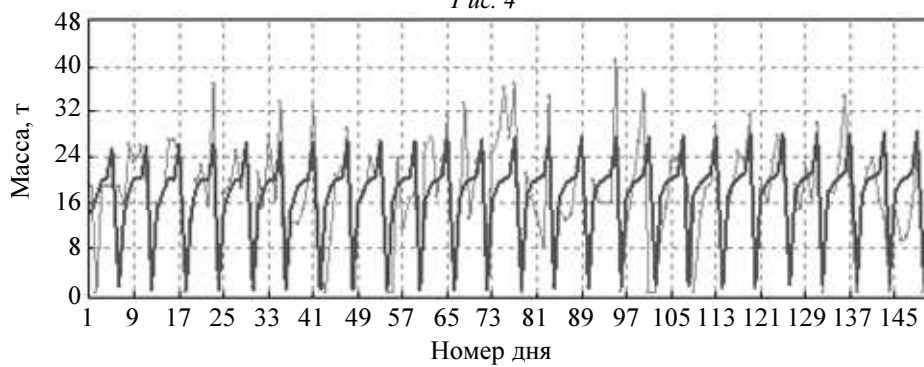


Рис. 4



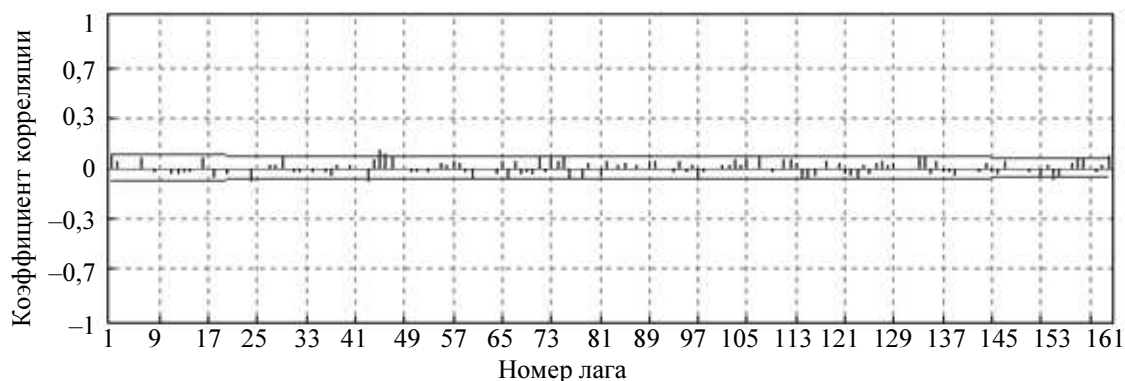


Рис. 6

Математическое ожидание для ряда остатков $M\varepsilon_t = -0,0173$, т. е. оно оказалось близким к нулю.

По графику распределения остатков на нормальной вероятностной бумаге (рис. 7) можно сделать вывод, что распределение остатков близко к нормальному распределению.

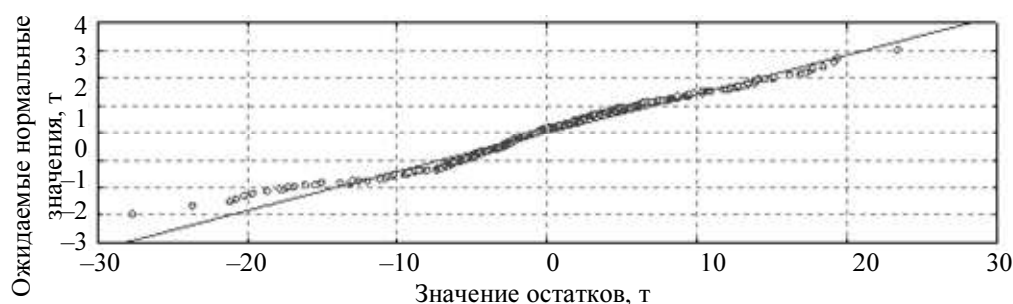


Рис. 7

Воспользовавшись для проверки ряда остатков на случайность критерием «восходящих» и «нисходящих» серий, получаем подтверждение гипотезы о случайности выборки остатков для уровня значимости 5 %.

Исходя из полученных результатов, для остаточного процесса можно принять модель белого шума.

Таблица 2

s_x	s_u	s_ε
11,0310	10,8645	6,9004

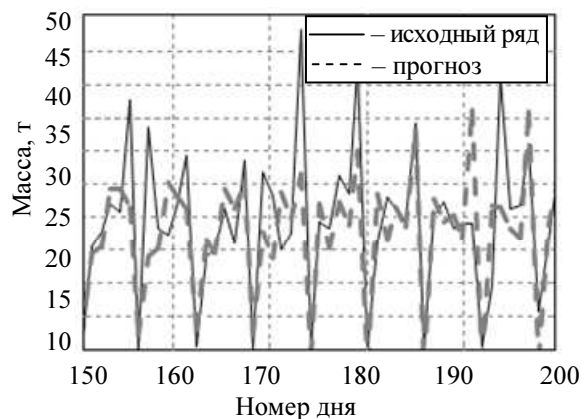


Рис. 8

Для оценки потенциальной точности прогнозирования оценим значения среднеквадратических разбросов: s_x – исходного процесса x_t , s_u – процесса $x_t - u_t$ (u_t – ряд, восстановленный по ГК(1)), s_ε – остаточного процесса ε_t .

Величина s_x характеризует ошибку прогноза процесса с помощью его среднего значения (постоянного процесса), s_u – с помощью трендового процесса, s_ε – с помощью комбинации трендового процесса и периодической составляющей.

Результаты представлены в табл. 2.

Построение прогноза. Алгоритм построения прогноза подробно описан в [2]. Постро-

им одношаговый прогноз, длину участка анализа выберем равной 126 дней, так как начиная с этого времени среднее значение среднеквадратического разброса остаточной составляющей становится близким к среднеквадратической ошибке прогноза. Участок графика результатов прогноза с помощью метода SSA представлен на рис. 8.

Вычислим среднеквадратическую ошибку прогноза для метода SSA по формуле

$$\delta_p = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_{t=1}^r (p_t - x_t)^2},$$

где x_t – исходные данные; $r = N - m$, N – длина исходного ряда; m – длина участка анализа; p_t – прогнозные значения.

Получилось, что $\delta_p = 8,2115$. Таким образом, данный метод позволяет уменьшить ошибку прогноза примерно на 25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
2. Данилов Д. Л., Жигляевский А. А. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». СПб.: Изд-во Санкт-Петербургск. гос. ун-та, 1997. 308 с.

L. A. Brovkina, V. A. Smirnova

SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS IN THE LOGISTICS PROBLEM

The analysis and forecast of time series of freight traffic volumes is constructed using the Singular Spectrum Analysis.

Time series, logistics, singular spectrum analysis

УДК 658.512:004.42 658.512:519.87

К. Г. Жуков

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ

Рассматривается подход к разработке цифровых генераторов гармонических сигналов на основе рекуррентных соотношений. Моделирование производится в среде NI LabVIEW с применением модуля Simulation Module. Оценивается погрешность реализации с различными типами числовых данных.

Генератор гармонических сигналов, рекуррентные соотношения, модельное проектирование, виртуальный прибор, плавающая точка, фиксированная точка, масштабирование

При аппаратной реализации дифференциальных анализаторов [см. лит.] возникает необходимость формирования правых частей уравнений, включающих различные функции времени, например изменяющихся во времени гармонических сигналов. Рассмотрим один из эффективных способов реализации гармонических сигналов, основанный на применении рекуррентных выражений.

Необходимо спроектировать цифровой генератор двух гармонических сигналов вида синуса и косинуса с заданными значениями A , ω , φ вида

$$\begin{aligned} u_1(t) &= A \sin(\omega t + \varphi), \\ u_2(t) &= A \cos(\omega t + \varphi). \end{aligned} \tag{1}$$

При $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ и периоде дискретизации $T_s = 1/f_s$ функции (1) становятся решетчатыми (дискретными) и принимают вид

$$\begin{aligned} u_1[n] &= A \sin\left[\left(2\pi T_s/T\right)n + \varphi\right] = A \sin[\theta n + \varphi], \\ u_2[n] &= A \cos\left[\left(2\pi T_s/T\right)n + \varphi\right] = A \cos[\theta n + \varphi]. \end{aligned}$$

Функции синуса и косинуса при $A = 1$ и $\varphi = 0$ можно представить в виде

$$\begin{aligned} \sin[\theta n] &= \sin[\theta(n-1) + \theta] = \sin[\theta(n-1)] \cos[\theta] + \cos[\theta(n-1)] \sin[\theta], \\ \cos[\theta n] &= \cos[\theta(n-1) + \theta] = \cos[\theta(n-1)] \cos[\theta] - \sin[\theta(n-1)] \sin[\theta]. \end{aligned} \quad (2)$$

При $u_1[\theta n] = \sin[\theta n]$, $u_2[\theta n] = \cos[\theta n]$, $\sin[\theta] = S$, $\cos[\theta] = C$ выражения (2) примут вид

$$\begin{aligned} u_1[n] &= C u_1[n-1] + S u_2[n-1], \\ u_2[n] &= C u_2[n-1] + S u_1[n-1], \\ u_1[0] &= 0 \text{ и } u_2[0] = 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Формулы (3) не имеют методической погрешности. Вычисленные дискретные значения функций $u_1[n]$ и $u_2[n]$ абсолютно совпадают со значениями непрерывных функций (1) для моментов времени $t = nT_s$, $n = 1, 2, \dots$

Синтез цифрового генератора гармонических сигналов. При модельном принципе проектирования необходимо пройти ряд этапов, обеспечивающих создание исполнительных спецификаций в виде компьютерных моделей.

На первом и втором этапах по формульным зависимостям (3) создадим в Simulation Module ВП, реализующий вычисления в форме с плавающей точкой в формате Double. Проверим правильность выражений путем сравнения полученных результатов со значениями аналитических решений стандартных математических функций $\sin[\theta n]$, $\cos[\theta n]$. Вычислим значения относительной погрешности в каждой θn -й точке и построим графики изменения погрешности во времени.

Первая исполняемая спецификация генератора сигналов представлена в виде блок-диаграммы на рис. 1. Частота гармонических сигналов $f = 1$ Гц, частота дискретизации $f_s = 40$ Гц.

Точные значения сигналов воспроизводятся с помощью стандартных функций LabVIEW. Временные диаграммы работы ВП показаны на рис. 2. Максимальные значения погрешности не превышают 10^{-15} , что соответствует точности вычислений в формате Double.

Увеличение числа периодов воспроизводимых сигналов практически не влияет на величину погрешности, что подтверждает факт отсутствия методической погрешности и накопления инструментальной.

Построение модели с ограничением диапазона машинных переменных. На следующем этапе проектирования перейдем к созданию модели с ограничением диапазона изменения «машинных» переменных. Это необходимо выполнять, так как окончательный вариант генератора будет реализован на целевом процессоре с фиксированной длиной машинного слова (16 двоичных разрядов). Разрядность машинного слова определяет диапазон представимых целых знаковых чисел и соответствует $[-32\ 768; 32\ 767]$. Модифицированная модель генератора показана на рис. 3

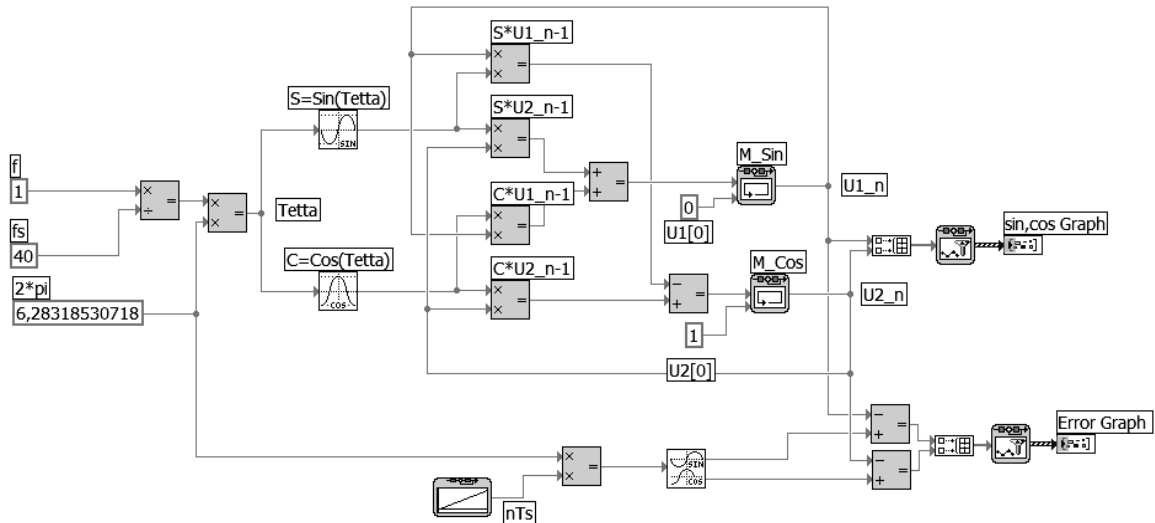


Рис. 1

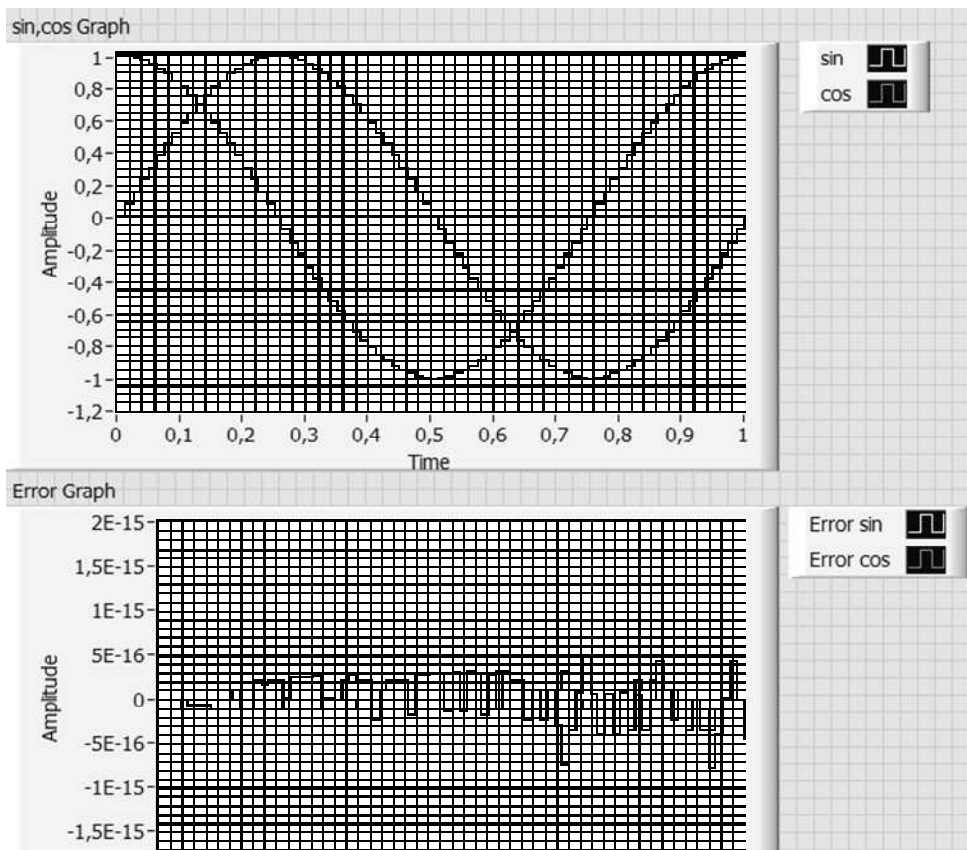
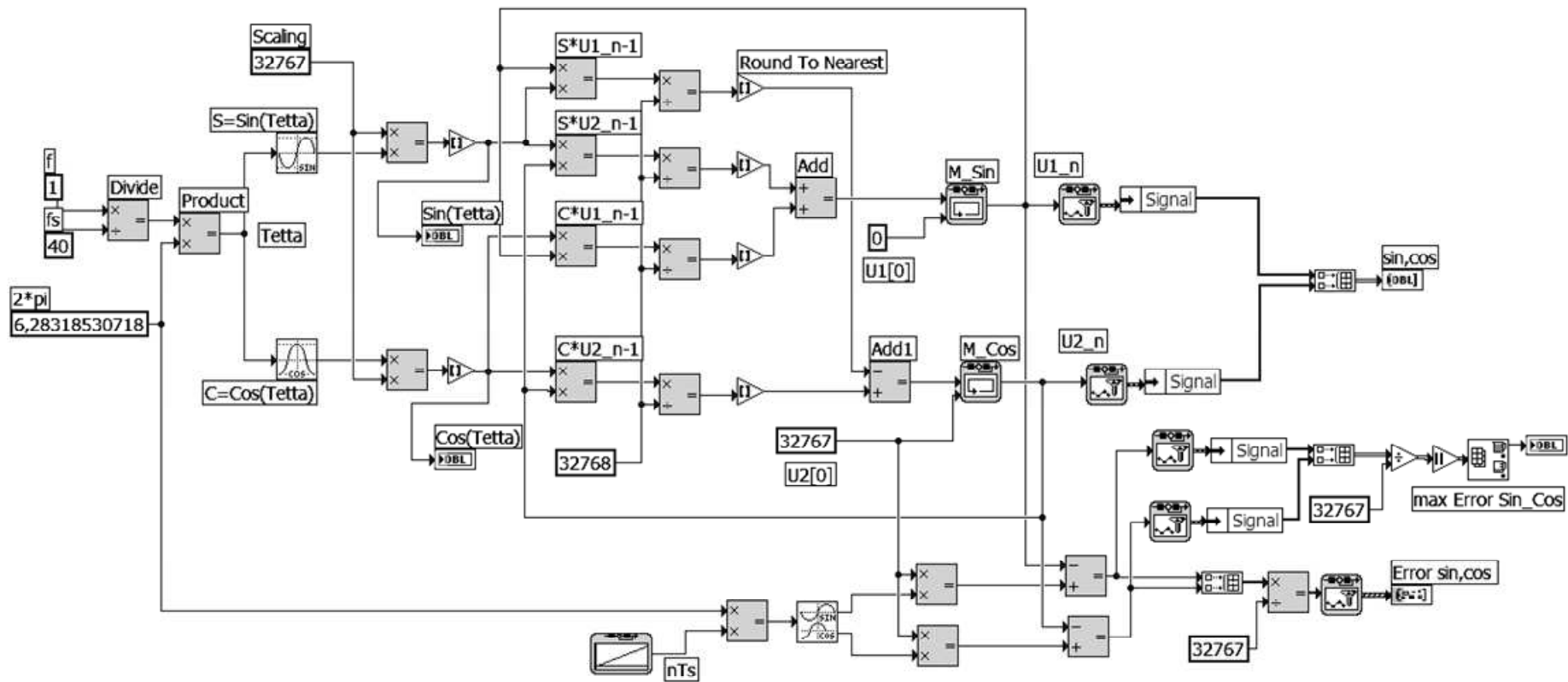


Рис. 2

Результаты моделирования представлены на рис. 4.

Анализ полученных результатов показывает значительный рост погрешности ($2,99081392865E-3$) за счет выполнения округления на каждом шаге вычислений. Для подтверждения сделанного вывода воспроизведено пять периодов сигналов.



Puc. 3

Следующая исполняемая модель генератора должна быть реализована непосредственно вычислительными блоками и структурами LabVIEW (рис. 5). Для достижения поставленной цели необходимо заменить цикл Simulation Loop циклом с заданным числом повторений For Loop.

Хранение переменных выполнено с помощью Shift Register, что эквивалентно использованию блока Memory в Simulation Module.

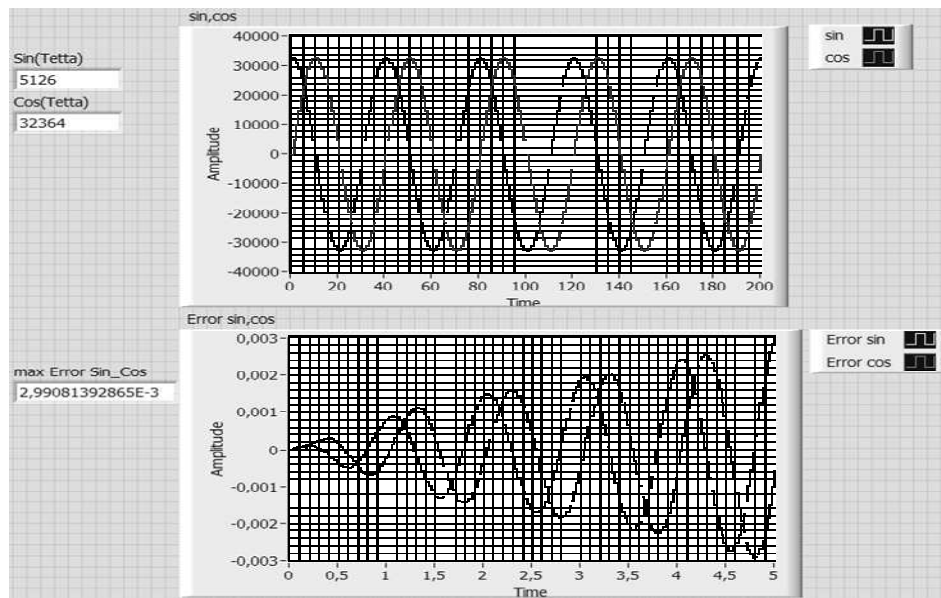


Рис. 4

Построение целочисленной модели генератора. Отличительной особенностью построения таких моделей является использование только операционных блоков, выполняющих все операции над машинными переменными, представленными в формате Integer (рис. 6). Для корректного выполнения операции умножения обязательно необходимо один из операндов представлять в формате I32. Это приводит к использованию формата I32 для представления коэффициентов S , C и формата I16 для переменных $U1_{n-1}$, $U2_{n-1}$, $U1_n$, $U2_n$. Для преобразования вычисленных значений $U1_n$, $U2_n$ в формат I16 выполняется сначала операция деления на константу 32 768 (I32) или эквивалентная ей операция с последующим представлением результата в требуемом формате.

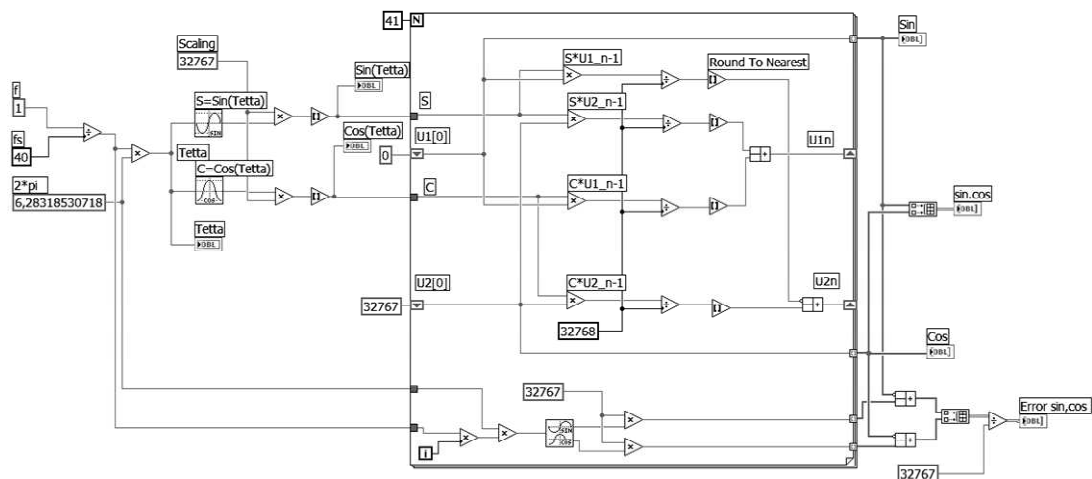


Рис. 5

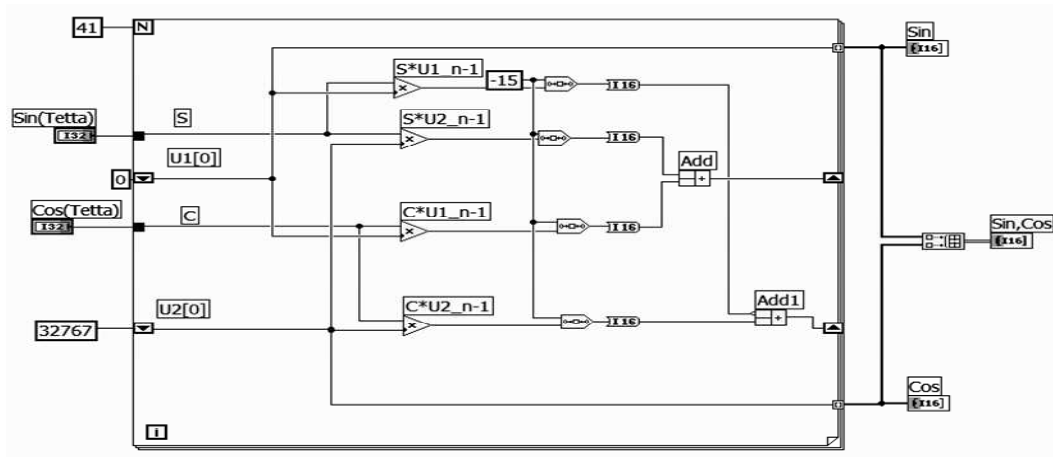


Рис. 6

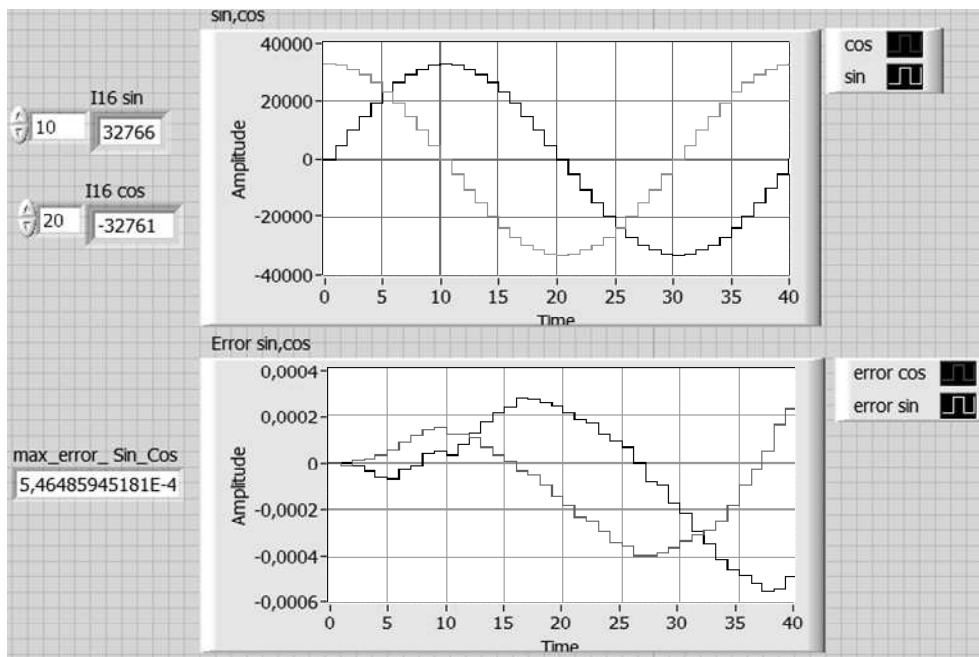


Рис. 7

С целью уменьшения погрешности выполнения операции умножения с округлением результата был разработан алгоритм и создан подвиртуальный прибор (ПВП) анализирующий отбрасываемую часть операнда. Такая модификация позволила снизить значение погрешности в 1,5 раза.

Максимальная величина погрешности сформированных гармонических функций составила $5,46485945181E-4$ (рис. 7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2011.

K. G. Zhukov

DEVELOPMENT OF DIGITAL GENERATOR BASED ON RECURRENT RATIOS

This article discusses an approach to the development of digital generators of harmonic signals based on the recurrence ratios. Simulation is performed in NI LabVIEW environment with Simulation Module. We estimate error in the implementation of the different types of numerical data.

Generator of harmonic signals, recurrence ratios, model based design, virtual instrument, floating point, fixed point, scaling

МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПЛИС

Рассматривается модельно-ориентированное проектирование устройств генерации сигналов на базе технологии NI FPGA. Сравниваются две реализации генератора гармонических колебаний на ПЛИС: на основе рекуррентных соотношений и на базе дифференциального анализатора. Проводится оценка погрешности вариантов реализации, а также анализ аппаратных затрат.

Генератор гармонических сигналов, дифференциальный анализатор, методическая погрешность, модельное проектирование, рекуррентные соотношения, программируемая логическая интегральная схема

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) являются одними из наиболее распространенных и эффективных аппаратных платформ при разработке электронных устройств методом модельного проектирования (Model-based Design) [1]. Модуль расширения LabVIEW FPGA Module позволяет эффективно осуществлять проектирование устройств на базе ПЛИС. Генерация кода для ПЛИС по блок-диаграмме виртуального прибора (ВП) происходит автоматически.

Рассмотрим процесс разработки прототипа генератора гармонических колебаний на целевой плате NI PXI-7833R.

Одним из способов генерации функции времени является воспроизведение решения определяющего дифференциального уравнения [2]. В случае гармонического сигнала необходимо выполнить численное интегрирование дифференциального уравнения второго порядка выбранным методом, например, методом Рунге–Кутты (RK2 или RK4). На рис. 1 представлена блок-диаграмма непрерывной модели дифференциального уравнения, в которую включены блоки для оценки погрешности.

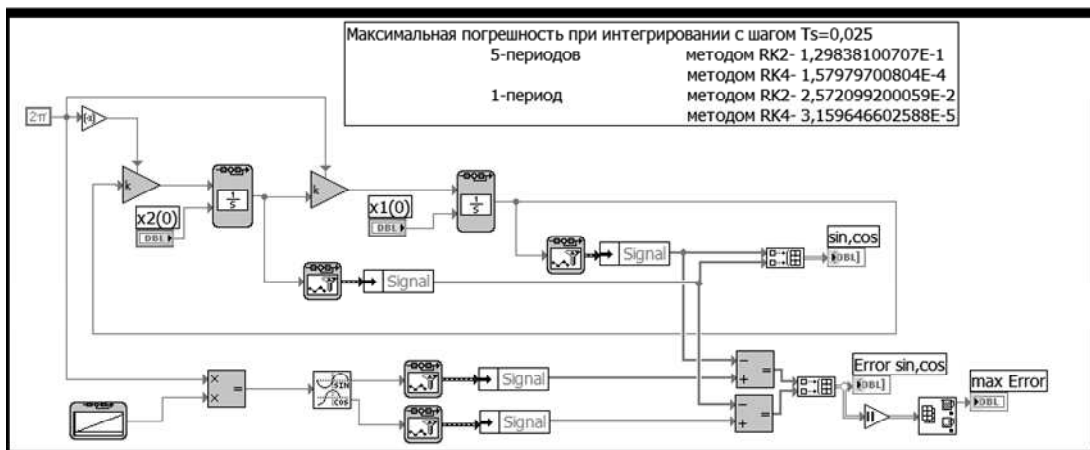


Рис. 1

Лицевая панель виртуального прибора с визуализацией результатов моделирования методом RK2 при шаге интегрирования $T_s = 0,025$ с представлена на рис. 2.

Более экономичным с точки зрения аппаратных и временных затрат является метод RK2, но его максимальная погрешность (рис. 2) в течение одного периода равна $2,5720990005901E-2$. При воспроизведении пяти периодов сигналов погрешность дости-

гает величины $1,29838100707E-1$. Метод RK4 обеспечивает необходимую точность $3,159646602588E-5(1,57979700804E-4)$, но требует значительных аппаратных и временных затрат. Таким образом, оба метода Рунге–Кутта неприменимы для реализации данного проекта.

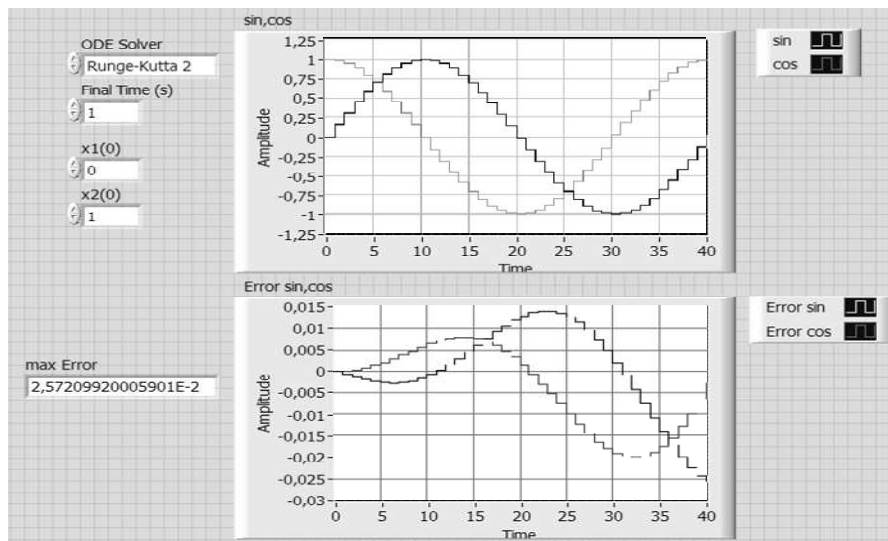


Рис. 2

Используем метод последовательного интегрирования (МПИ) [3] для решения определяющего уравнения. На рис. 3 представлен окончательный вариант реализации двух-процессорной импульсной модели генератора с коррекцией погрешности интегрирующих блоков [4], [5]. На рис. 4–6 изображены его подсистемы. В качестве ключевого элемента в подсистеме импульсного ПИ-интегратора (рис. 6) применен блок Select.

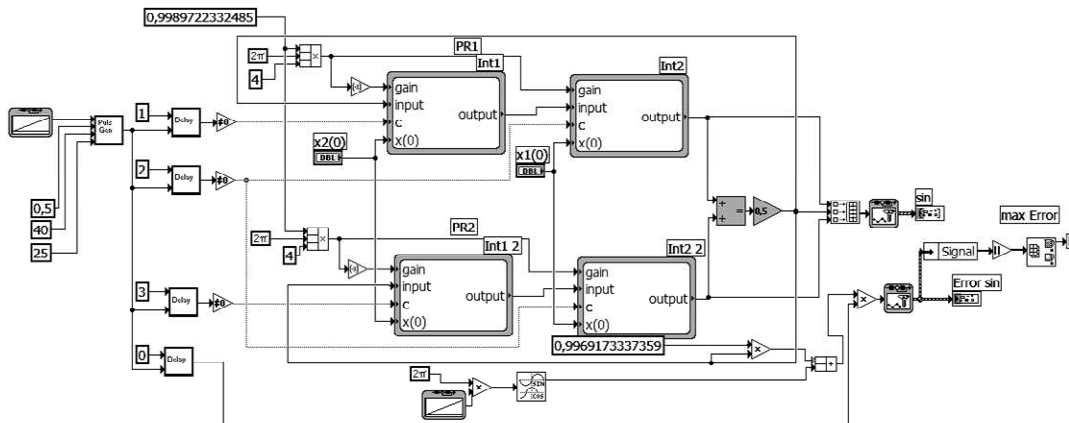


Рис. 3

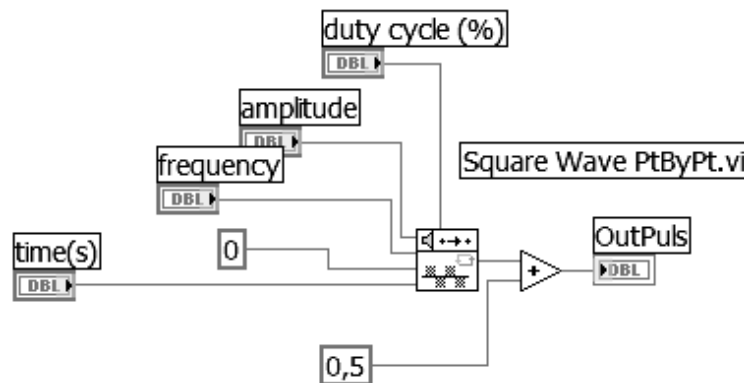


Рис. 4

Результаты моделирования импульсной системы представлены на рис. 7. Погрешность воспроизведения сигнала $x_2(t) = A\cos(\omega t)$ на пяти периодах имеет тот же самый порядок и не выводится на индикаторы.

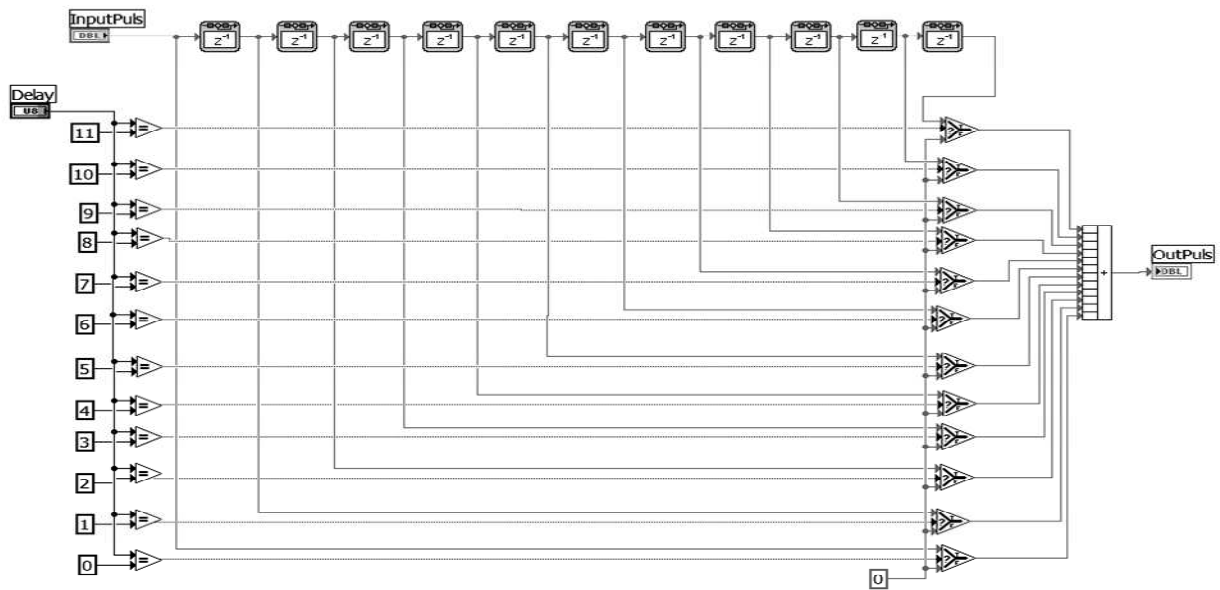


Рис. 5

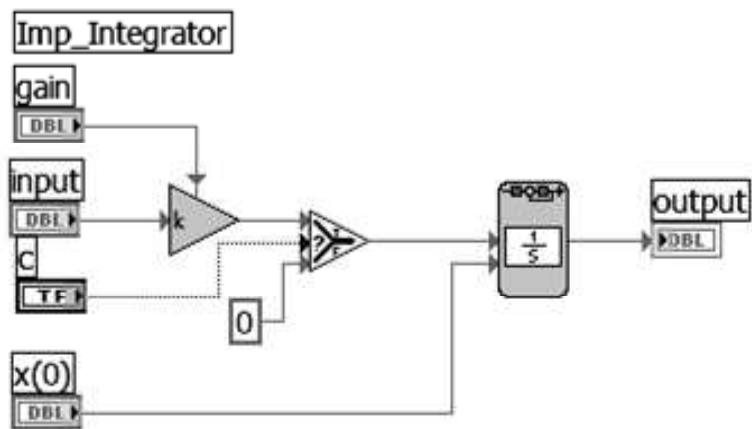


Рис. 6

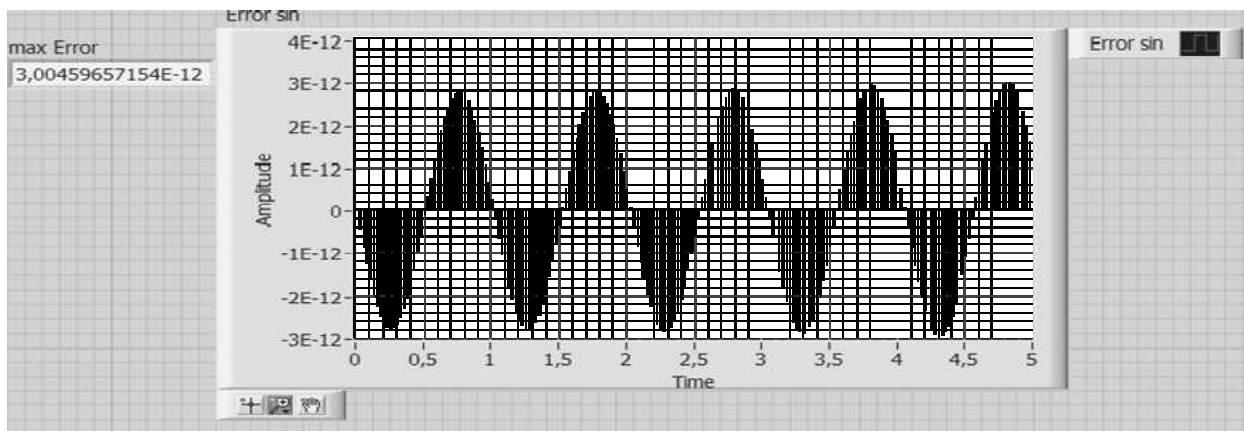


Рис. 7

Заменим в модели подсистемы (рис. 6) непрерывный ПИ-интегратор на эквивалентный цифровой (рис. 8).

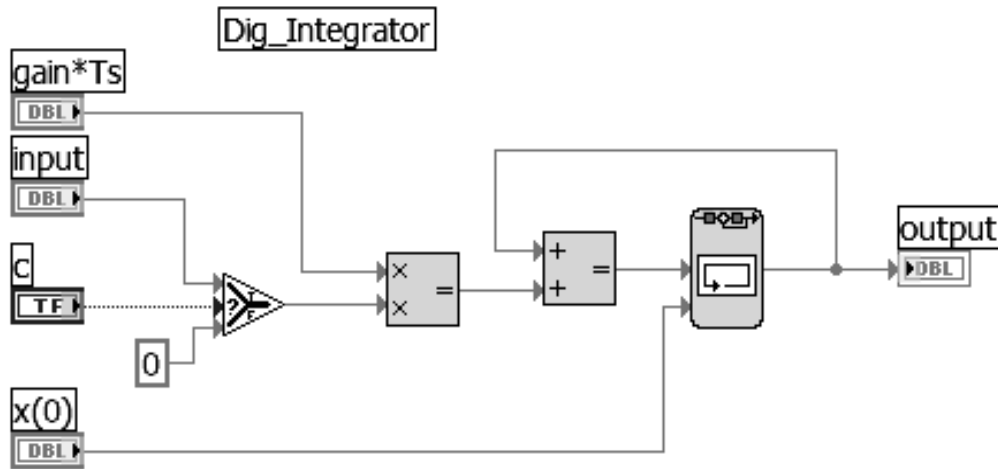


Рис. 8

Сравнив графики изменения погрешности рис. 7 и 9, можно констатировать практически полное совпадение результатов.

Далее создадим двухпроцессорный вариант реализации цифрового дифференциального анализатора полностью структурами и блоками LabVIEW. Необходимо отметить, что левая структура Case (рис. 10) осуществляет управление двумя процессорами PR1, PR2 в соответствии с МПИ, а правая фиксирует значения переменных состояния в памяти, построенной на базе четырех Shift Register. После завершения внутреннего цикла For Loop вычисляется среднее значение переменных состояния интегрирующих процессоров. Среднее значение переменной x_{n-1} инициализирует левые Shift Register внутреннего цикла. Коррекция дифференциального анализатора выполняется один раз перед входом во внешний цикл For Loop. Достоинством такого варианта построения решателя является то, что допустимо многократное использование цифровых ПИ-интеграторов в каждом из процессоров. Это привело к сокращению их числа до двух.

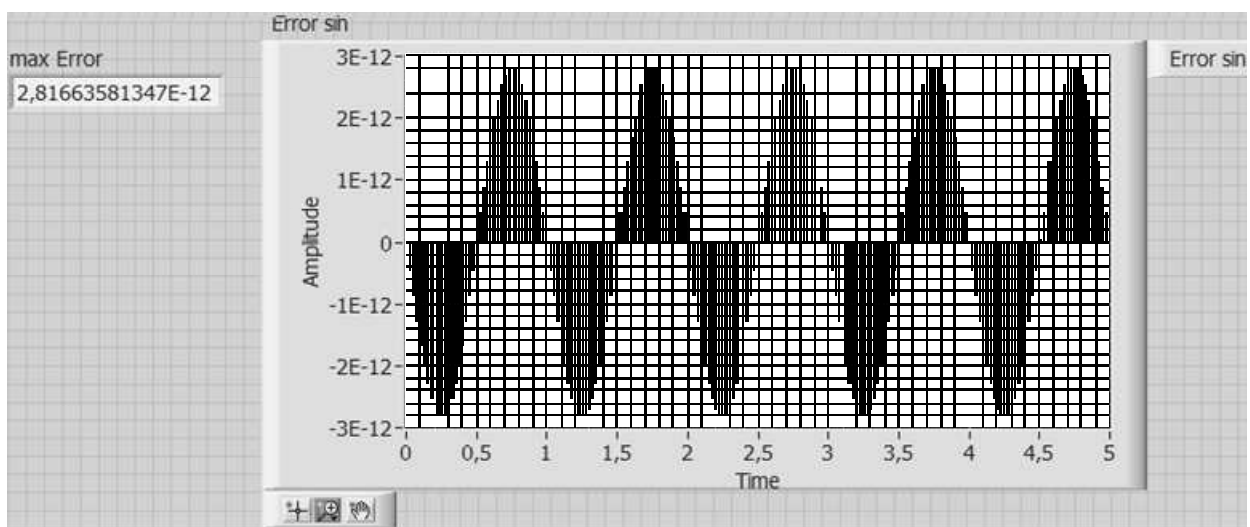


Рис. 9

Выполним масштабирование и расчет машинных переменных и коэффициентов для аппаратной реализации генератора с фиксированной точкой на базе дифференциального анализатора. При переходе к целочисленной реализации (формат П6) наблюдается значительный рост инструментальной погрешности, которая доминирует над методической погрешностью. В случае отсутствия коррекции решения погрешность увеличивается в 10 раз.

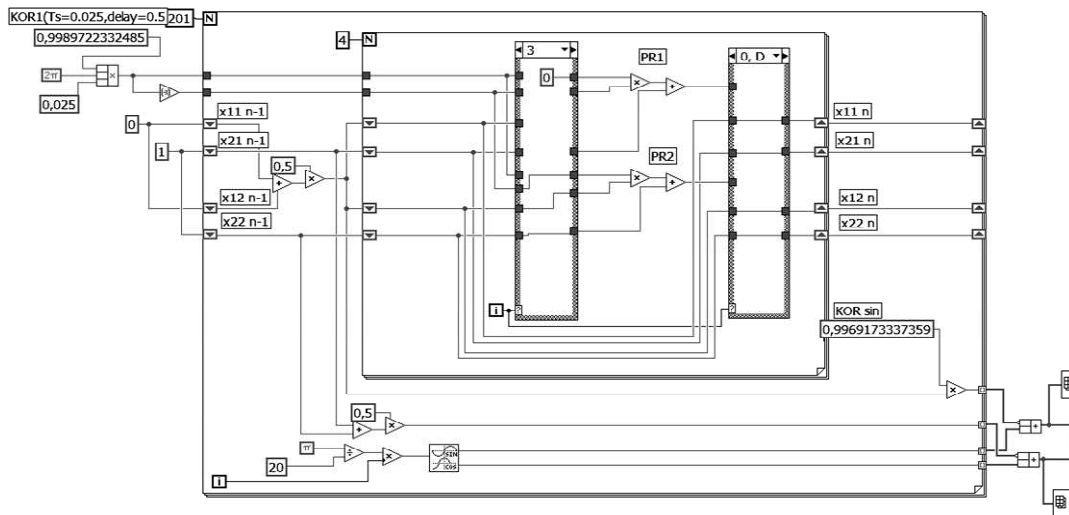


Рис. 10

Перейдем к выполнению последнего этапа модельного проектирования – созданию проекта аппаратной реализации прототипа генератора на целевой плате NI PXI-7833R. На рис. 11, 12 представлены блок-диаграмма генератора и результаты тестирования.

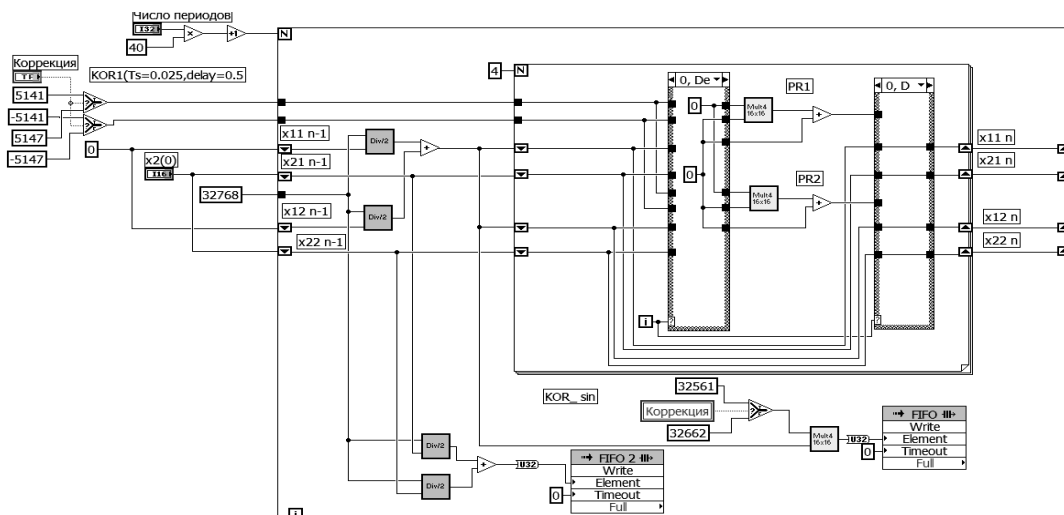


Рис. 11

По результатам создания двух вариантов прототипа генератора можно сделать важные выводы по точностным характеристикам и аппаратным затратам. Вариант генератора, построенного на основе рекуррентных соотношений [1], имеет в 2 раза меньшую погрешность (рис. 12, правый график). Ее максимальное значение составляет $2,38227041487E-3$. Характер изменения ошибки – нарастающий. С увеличением числа периодов погрешность линейно возрастает.

Поведение ошибки (рост) варианта реализации генератора на базе дифференциального анализатора (рис. 12, левый график) в меньшей степени зависит от числа периодов. Ее максимальное значение составляет $4,82278143148E-3$.

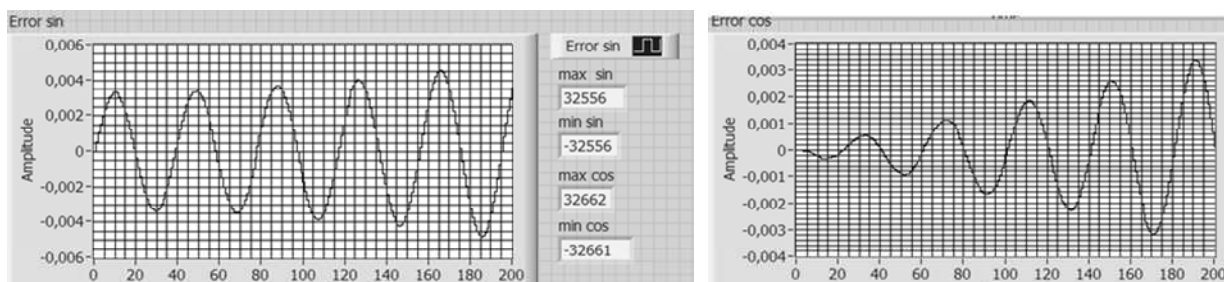


Рис. 12

Способ реализации генераторов функций времени на основе определяющих дифференциальных уравнений более перспективен за счет существования достаточно большого числа таких уравнений.

По аппаратным затратам оба варианта построения генератора практически эквивалентны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков К. Г. Возможности LabVIEW в модель-ориентированном проектировании встраиваемых систем управления // Материалы междунар. конф. «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments». М.: РУДН, 2005.
2. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2011.
3. Жуков К. Г. Методы и средства реализации последовательно-параллельных интегрирующих структур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1988.
4. Жуков К. Г., Бутусов Д. Н. Анализ и коррекция погрешности цифровых интеграторов встраиваемых систем управления // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2009. № 6 (91). С. 17–25.
5. Жуков К. Г., Бутусов Д. Н. Реализация цифровых фильтров методом последовательного интегрирования // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2009. № 6 (91). С. 26–35.

D. N. Butusov, V. S. Andreev

MODEL BASED DESIGN OF THE GENERATOR OF HARMONIC SIGNALS ON FPGA

This article discusses a model-based design of devices generate signals based on NI FPGA technology. We compare two implementation of the generator of harmonic oscillations in the FPGA: implementation based on the recurrence relations and implementation based on the differential analyzer. We evaluate the error of implementation options, and we analyze the hardware cost.

Generator of harmonic signals, differential analyzer, methodical error, model based design, recurrence ratios, field-programmable gate array

УДК 004.415.2.031.43

*А. Н. Афанасьев, А. В. Кабацкий, А. А. Кутузов,
А. С. Фридман, Е. Л. Шейнман*

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ

Выделены и описаны компоненты, составляющие каркас систем гидроакустического мониторинга акватории. Описаны концепции, позволяющие строить системы, обладающие интероперабельностью и гетерогенностью, модульностью и прозрачностью.

Гидролокация, архитектура программного обеспечения, система реального времени

Появление новых технологий и знаний, увеличение объема информации для анализа обработки и визуализации, возрастание нагрузки на операторов систем гидроакустического мониторинга акватории (СГМА) приводят к необходимости создания нового про-

граммного обеспечения (ПО), сопровождающего такие комплексы и позволяющего не только обрабатывать большие объемы информации в реальном времени (РВ), но и давать качественную, понятную оператору визуализацию этих данных [1]. Стандартизация архитектур СГМА позволяет преодолеть несогласованность технических и технологических политик различных разработчиков прикладного программного обеспечения; сложность организации взаимодействия между унаследованными и вновь внедряемыми информационными системами; обилие несовместимых интерфейсов, форматов и протоколов; неоправданные затраты, связанные с повторной разработкой практически однотипных компонентов, реализующих схожую логику работы [2].

Использование концепций, установленных в предложенной модели, позволяет строить системы, обладающие следующими качествами: открытостью, интероперабельностью и гетерогенностью, модульностью и прозрачностью.

Таким образом, основным при разработке архитектуры программного обеспечения (АПО) СГМА является функциональная стандартизация, т. е. определение базовых спецификаций в области информационных технологий и определение условий их использования с привязкой к конкретным функциям АПО.

Основными задачами СГМА являются получение, обработка, хранение и визуализация данных от гидроакустических средств. Анализ технических требований к ПО обработки и визуализации данных, полученных от гидроакустических средств, позволяет выделить четыре основных компонента, составляющих каркас всего приложения:

- коммуникационный;
- управляющий;
- журналирования;
- визуализации.

Каждый компонент реализует интерфейс с набором необходимых и достаточных для решения поставленных задач функций. На рис. 1 представлена высокоуровневая диаграмма компонентов СГМА.

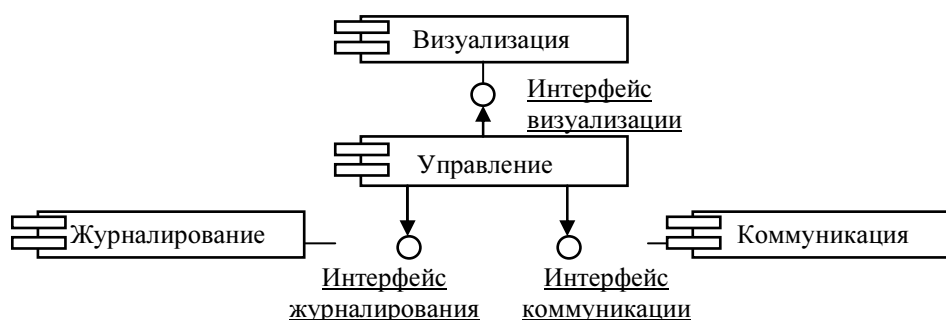


Рис. 1

Основная задача коммуникационного компонента – получение данных – решается через реализацию протокола верхнего уровня над стеком протоколов TCP/IP стандартной среды передачи данных Ethernet. Для работы системы в демонстрационном и обучающем режимах в компоненте предусмотрено наличие генератора данных.

Компонент журналирования выполняет регистрацию данных гидроакустических устройств и данных о работе ПО, отвечает за выдачу архивных данных как за временной интервал, так и на определенный момент времени в прошлом. Данные от гидроакустических средств представляют собой временные срезы, состоящие из массивов значений определен-

ных величин. Для хранения таких данных используют иерархическую модель. Каждый временной срез помещается в отдельный файл, имеющий уникальное имя – временную метку. Несколько файлов, представляющих срезы за промежутки времени, помещаются в директорию с уникальным именем – временным интервалом. Набор директорий, в свою очередь, помещается в другую директорию с названием большего по времени интервала и так далее в зависимости от необходимого времени хранения данных.

Визуализацией данных и графического интерфейса пользователя занимается подсистема отображения. Данные представляются в виде таблиц, диаграмм, 2D- и 3D-графиков. Визуализация в 3D при помощи центрального процессора может сильно снизить производительность системы в целом, поэтому целесообразно использовать для этого шейдерное программирование, так как шейдерный код полностью выполняется на графическом процессоре [3]. Кроме того, использование шейдеров позволяет качественнее, без артефактов представить объем и то, что находится внутри него.

Для каждого визуального представления данных на экране должен быть свой набор графических инструментов пользователя, чтобы оператор мог управлять форматом отображения, его масштабом, цветом и другими характеристиками. При этом сильно возрастает нагрузка на оператора, поскольку при смене представления ему приходится заново ориентироваться в новом наборе инструментов [4]. Для решения данной проблемы имеет смысл выделять общие для всех или для определенных групп представлений интерфейсы и выносить их графическое представление на отдельной панели инструментов в определенной области экрана. Тогда при смене представлений эта область будет оставаться неизменной большую часть времени. Следует также располагать близкие по смыслу инструменты в соседних областях экрана. Все это позволит снизить необходимое оператору время на поиск нужного инструмента, а следовательно, и время его реакции.

Взаимодействие между компонентами и синхронизация всех операций по времени входят в задачи компонента управления. Синхронизация осуществляется по событию таймера, в обработчике которого выполняется цепочка операций с данными: прием, регистрация, обработка и визуализация. Между событиями таймера происходит обработка сообщений от устройств ввода, сформированных операционной системой в ответ на взаимодействие с ними оператора. На диаграмме последовательности (рис. 2) показаны основные операции компонента управления.

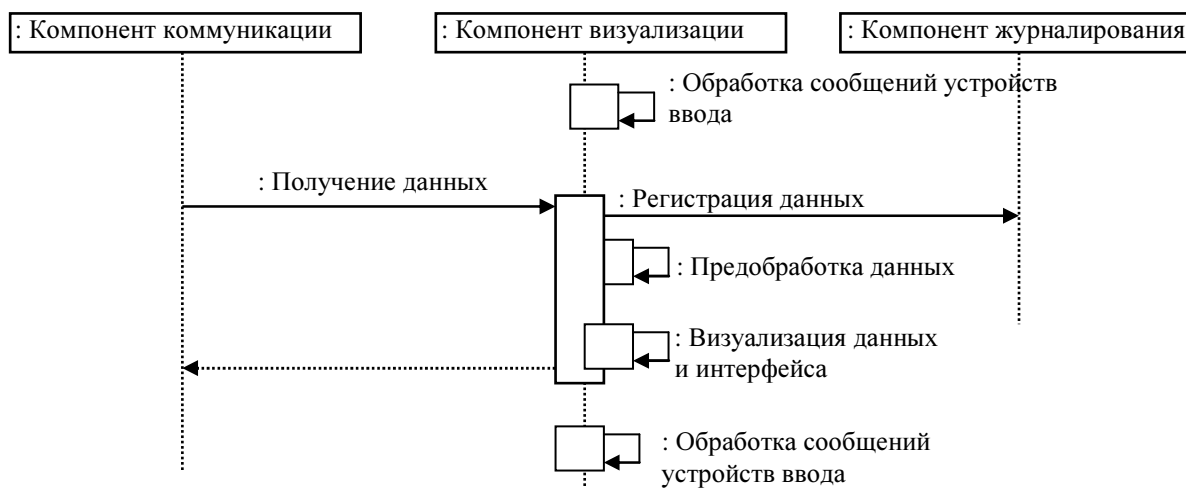


Рис. 2

С учетом описанных архитектурных решений на рис. 3 представлена расширенная диаграмма компонентов СГМА.

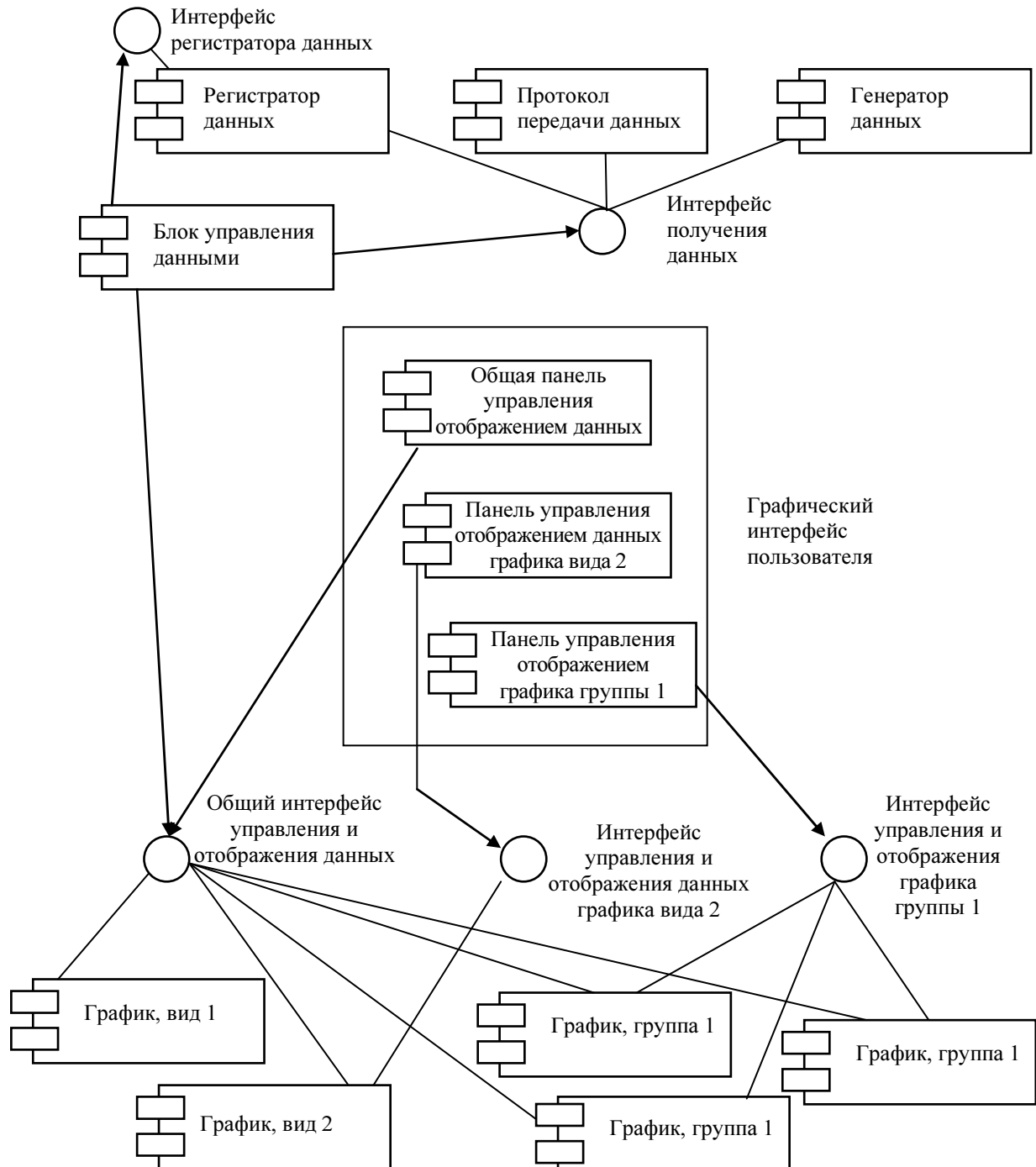


Рис. 3

Визуальные представления данных отражены на диаграмме графиками различных групп и видов. Сформированы общие для всех графиков (группы и вида) интерфейсы. Для каждого интерфейса создана панель графических инструментов пользователя. Блок управления данными реализует функционал компонента управления. Регистратор данных помимо интерфейса регистрации реализует интерфейс получения данных – для доступа к данным архива. Протокол передачи данных отвечает за получение данных от гидроакустических средств по сети Ethernet. Генератор данных позволяет системе работать без подключения к источникам данных, в демонстрационном и обучающем режимах.

Таким образом, предложенные архитектурные концепции позволяют решить следующие основные задачи:

- определить стандартизированные правила описания общей структуры программных средств СГМА;
- выделить функции необходимого применения унифицированных для всех программных систем решений;
- в соответствии с общими принципами провести отбор спецификаций и стандартов, описывающих обязательные и рекомендуемые решения для тех или иных функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корабельная гидроакустическая техника / Ю. А. Корякин и др. СПб.: Наука, 2004.
2. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. 3-е изд. М.: Вильямс, 2004.
3. Рост. Р. OpenGL. Трехмерная графика и язык программирования шейдеров. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2005.
4. Мунипов В. М., Зинченко В. П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды. М.: Логос, 2001.

A. N. Afanasyev, A. V. Kabatsky, A. A. Kutuzov, A. S. Friedman, E. L. Scheinman

THE SOFTWARE ARCHITECTURE FOR PROCESSING AND 3D INFORMATION VISUALIZATION OF HYDROACOUSTIC MONITORING SYSTEM OF WATER AREA

The article identifies and describes the components that make up the base of the hydroacoustic monitoring water area. Concepts for building systems with the interoperability and heterogeneity, modularity and transparency, is described.

Sonar, software architecture, real-time system

УДК 681.513.67+551.46.0

*А. Н. Афанасьев, А. Ю. Васильева, Н. В. Губарев,
Н. А. Чекашева, Е. Л. Шейнман*

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПОДСИСТЕМЫ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ¹

Рассматриваются существующие проблемы построения пользовательских интерфейсов для систем гидроакустического мониторинга. Приводится обзор применяемых методов создания эргономичных пользовательских интерфейсов. Рассмотрены проблемы, возникающие при проектировании программного обеспечения для сенсорных дисплеев.

Визуализация данных, гидролокация, система реального времени, Qt SDK

Разрабатываемая автоматизированная информационно-аналитическая программная система гидроакустического мониторинга акватории (СГМА), интеллектуального анализа и отображения информации с использованием технологий 3D предназначена для повышения эффективности процессов принятия решений за счет использования методов визуализации результатов обработки гидроакустической информации в трехмерном пространстве (Visual Mining). Для управления работой системы во всех режимах используются опера-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (контракт № 13.G25.31.0054).

тивные табло управления (ОТУ). Принцип управления – дисплейный, управляющие воздействия производятся с помощью стилуса или пальца. Выходными данными разрабатываемой системы визуализации являются:

- стандартные 2D/3D-образы – гистограммы, линейные графики и т. п.;
- геометрические преобразования – диаграмма разброса данных, параллельные координаты и т. п.;
- отображение иконок – линейчатые фигуры (needle icons) и звезды (star icons);
- образы, ориентированные на пиксели – рекурсивные шаблоны, циклические сегменты и т. п.;
- иерархические образы – древовидные схемы и наложение измерений.

При визуализации 3D-информации предусмотрены все возможности поворотов, масштабирования, изменения палитр и т. д. Интерфейс является интуитивно понятным оператору и позволяет сфокусироваться на решении собственных задач, а не на особенностях взаимодействия с системой.

Организация и проектирование интерфейсов системы визуализации осуществлялись по следующим основным направлениям: выбор реализаций эффективного выполнения управляющих воздействий, разработка визуального представления информации оператору СГМА, обеспечение техники взаимодействия оператора с системой.

Кадр информации разбит на поля, в каждое из которых выводится информация определенного вида. Перечень полей кадра и структура распределения информации по полям приведены на рис. 1.

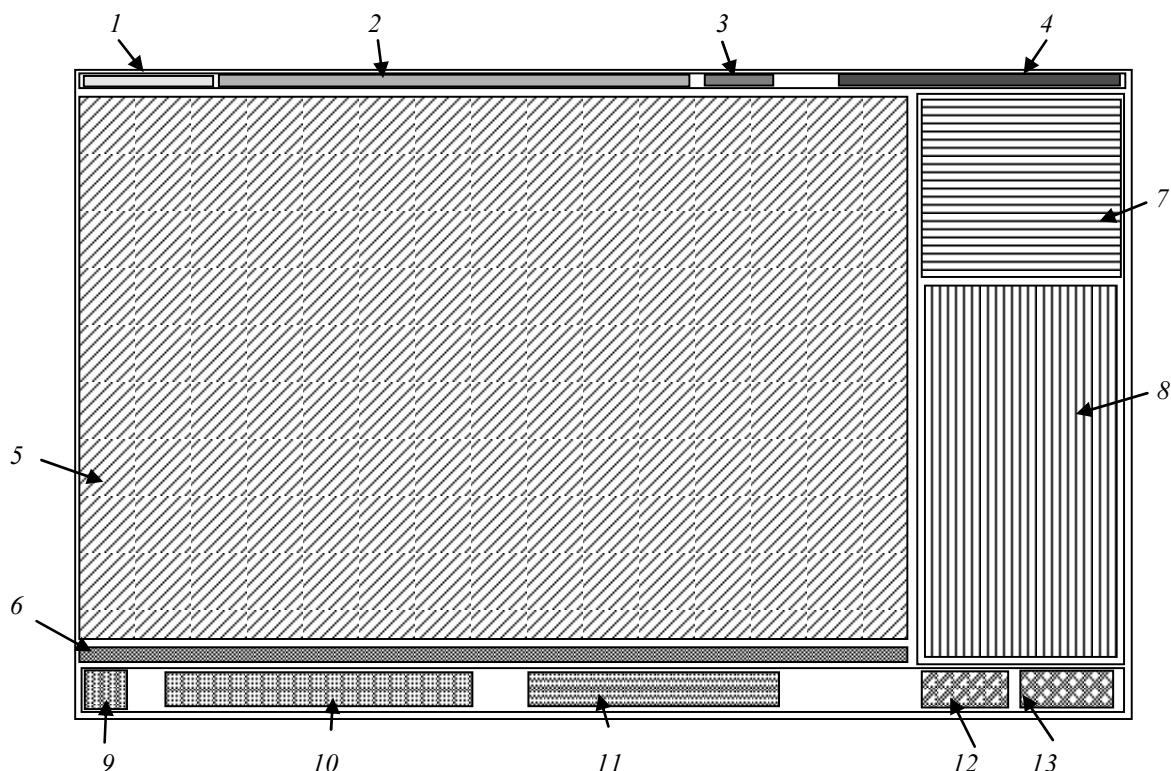


Рис. 1

Поля имеют следующие характеристики: поле 1 – строка состояния режимов; поле 2 – строка даты, времени, координат; поле 3 – строка состояния системы; поле 4 – поле визира; поле 5 – поле графики; поле 6 – строка сообщений; поле 7 – поле формуляров; поле 8 – поле

ОТУ; поле 9 – поле установки; поле 10 – строка выбора режимов; поле 11 – строка выбора отображения выбранного режима; поле 12 – кнопки для управления визиром в поле графики; поле 13 – строка состояния режима консервации.

Отображение результатов гидролокации занимает большую часть окна, поскольку несет основную информационную нагрузку при принятии оператором определенных решений. Область вывода графиков поделена на 5 частей: основной фрагмент и четыре дополнительных. Для управления выводом графиков доступны следующие функции: выбор активного фрагмента; выбор типа графика для каждого фрагмента; выбор отображаемых данных; управление отображением (вариант отрисовки, палитра, фон и др.); настройка коэффициентов (усиление, отстояние, порог).

Экранные формы спроектированы с учетом требований унификации:

- все формы пользовательского интерфейса выполнены в едином графическом дизайне с одинаковым расположением основных элементов управления и навигации;
- для обозначения сходных операций использованы сходные графические значки, кнопки и другие управляющие (навигационные) элементы. Термины, используемые для обозначения типовых операций (добавление информационной сущности, редактирование поля данных), а также последовательности действий пользователя при их выполнении являются однотипными¹;
- внешнее поведение сходных элементов интерфейса (реакция на наведение указателя «мыши», переключение фокуса, нажатие кнопки) реализовано одинаково для однотипных элементов. Учет использования сенсорной панели накладывает ряд дополнительных ограничений к эргономическим особенностям. Размеры кнопок и других элементов являются достаточно укрупненными. Приложение интерпретирует ввод курсора, производимый пользователем, как серию точек (соответствующую сериям нажатий на сенсорный экран) и не требует линейных схем движений. Предусмотрена замена функциональности правого нажатия, используя, например, двойные нажатия или нажимаемые контрольные элементы на экране. Для ввода числовых значений предусмотрено наличие всплывающего цифронаборного поля. В интерфейсе оператора исключены темные тона, что позволяет минимизировать зрительное восприятие наличия отпечатков пальцев².

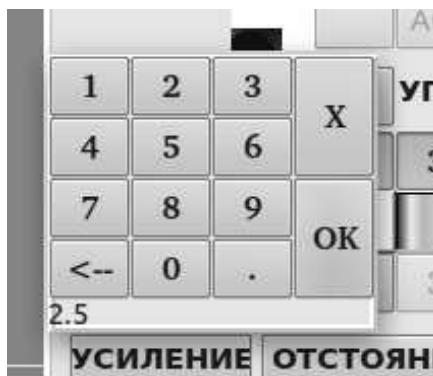


Рис. 2

Программная реализация описанных решений осуществлена в среде ОС Ubuntu 10.04 с использованием возможностей программных средств Qt. При реализации системы визуализации использовался шаблон проектирования MVC, полная изоляция объектов пользовательского интерфейса друг от друга, а для передачи данных между ними и обращения к «чужим» методам применена система сигналов и слотов³.

¹ Usability in Russia. URL: <http://www.usability.ru/>.

² Практические методы проектирования пользовательских интерфейсов для мобильных Интернет-устройств (MID). URL: <http://software.intel.com/ru-ru/articles/best-known-methods-of-ui-design-for-mid/>.

³ Qt Online Reference Documentation. URL: <http://doc.qt.nokia.com/>.

Расположение органов управления обеспечивает пользователю наименьшее время для перехода между функционально связанными объектами управления (ОУ). Для этого программный интерфейс (ПИ) разбит на группы элементов, расположение которых делится на «функциональные зоны». Элементы ОУ сгруппированы согласно своим функциям: сверху расположены кнопки настройки отображаемых данных, ниже находятся кнопки выбора отображаемых графиков и т. д. В качестве цветовой темы оформления выбрана нейтральная палитра (не утомляющая пользователя), которая позволяет легко различать элементы ПИ [см. лит.]. В нижней части ОУ присутствуют кнопки для управления визиром, камерой и изображением графиков. Для ввода числовых значений используется цифроборное поле (рис. 2), которое появляется при нажатии на кнопку с названием соответствующего параметра.

Внешний вид разработанного ПИ представлен на рис. 3.

Код пользовательского интерфейса делится на две части: описания виджетов на языке XML (файлы *.ui), которые на этапе компиляции преобразуются метакомпилятором в классы на языке C++, и описания классов объектов, представляющих эти виджеты (файлы *.cpp, *.h)¹. Классы, реализующие интерфейс оператора, соответствуют отображаемым фрагментам кадра (рис. 1). Виджет главного окна при первичной инициализации программы инкапсулирует вышеперечисленные объекты. Обращение к модели происходит только из главного виджета, а остальные виджеты связаны с ним системой сигналов и слотов.

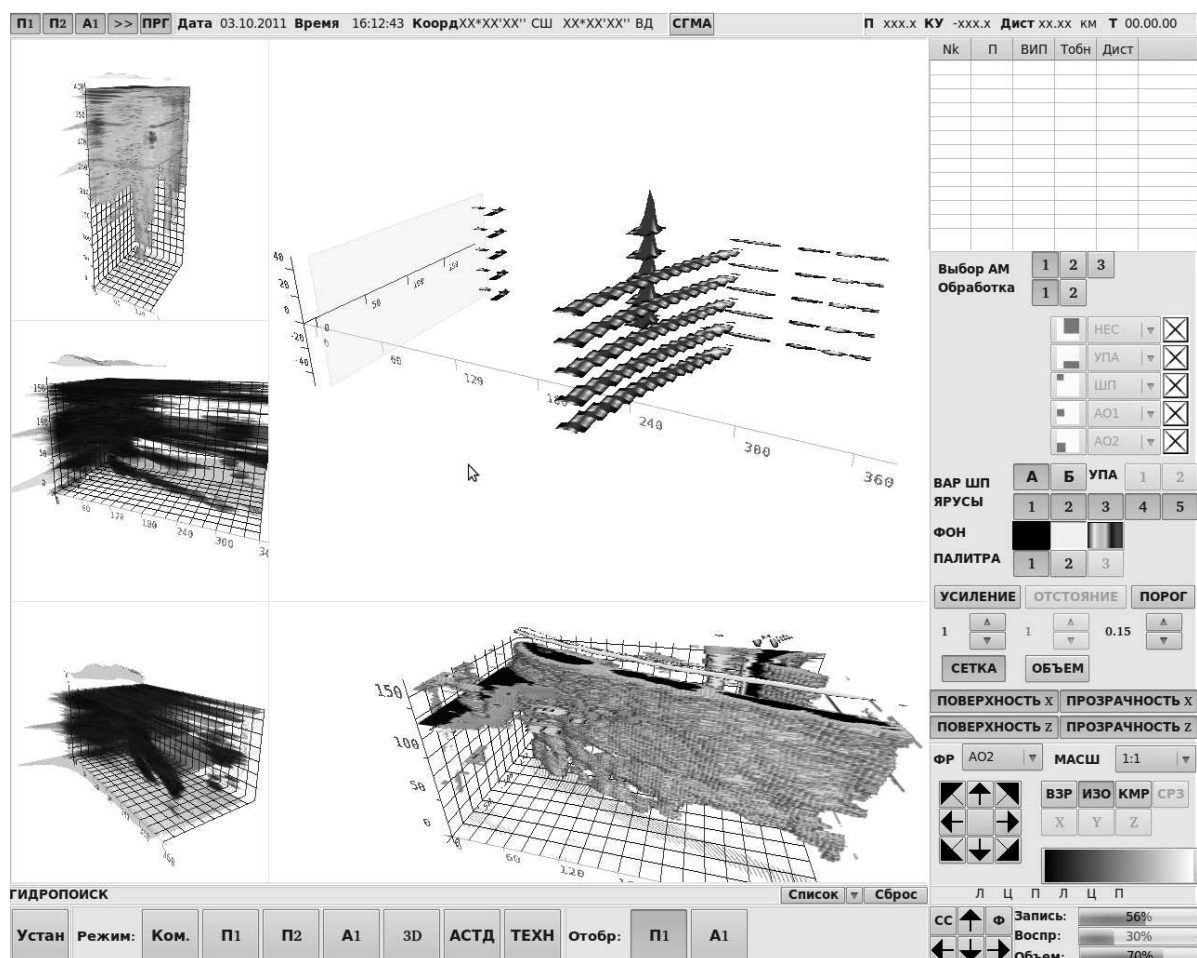


Рис. 3

¹ Qt Online Reference Documentation. URL: <http://doc.qt.nokia.com/>.

Упрощенная модель отношений имеющихся классов представлена на рис. 4.

Деление на классы осуществлено с учетом функциональности элементов ПИ. Класс *mainWindow* описывает основную форму ПИ, которая служит родителем для всех остальных элементов и содержит только разметку областей. Классы *panelOTU*, *topRow*, *bottomRow*, *messagePanel* и *targetTable* описывают панель ОТУ (поле 8), верхнюю строку состояния (поля 1–4), нижнюю строку кнопок (поля 9–13), строку сообщений (поле 6) и поле формуляров (поле 7) соответственно. Виджеты графиков (поле 5) описываются собственными классами, не рассмотренными в данной статье.

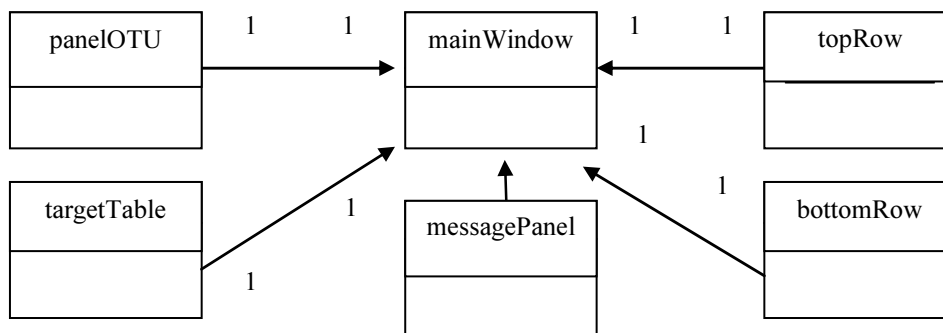


Рис. 4

Взаимодействие между ПИ и графиками происходит следующим образом (на примере изменения порога):

1. Пользователь определяет нужное значение порога.
2. Метод класса *panelOTU* посылает сигнал *signalThreshold(qreal)*.
3. Посланный сигнал обрабатывается слотом *slotSetTreshold(qreal)* в классе *mainWindow*. Этот слот вызывает метод *setTreshold(qreal)* с полученным через сигнал значением для класса соответствующего графика.

Аналогичным образом происходит настройка состояния ОТУ при переключении активного фрагмента:

1. Пользователь выбирает нужный фрагмент в качестве активного.
2. Метод класса *panelOTU* посылает сигнал *signalCurrentGraph(panelOTU:: GraphicTypes)*.
3. Посланный сигнал обрабатывается слотом *slotCurrentGraph(panelOTU:: GraphicTypes)* в классе *mainWindow*. Этот слот вызывает методы для получения состояния классов графиков, такие как *qreal getTreshold()*, *qreal getDistance()* и т. п., и отправляет полученные значения через сигналы классу *panelOTU*.
4. Слоты в *panelOTU* получают эти сигналы и меняют состояние виджетов соответствующим образом (меняют текст надписей, (де)активируют кнопки и т. д.).

Системы гидроакустического мониторинга функционируют в режиме реального времени, соответственно, время реакции пользователя на изменения в потоке данных, а также время, требуемое на изменение параметров системы, должны быть минимальными. Развитие функциональных и эргономических возможностей ПИ СГМА будет осуществлено по следующим направлениям:

1. Использование функциональности многопальцевого ввода для поддержки простых и интуитивно понятных жестов.

2. Управление голосом. Назначение голосовых команд на действия, требующие нескольких нажатий на сенсорный дисплей, значительно повысят эффективность работы пользователя. При этом значительно упростится и ускорится ввод числовых параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сергеев С. Ф., Падерно П. И., Назаренко Н. А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 108 с.

A. N. Afanaseyev, A. J. Vasilyeva, N. V. Gubarev, N. A. Chekasheva, E. L. Scheinman

ORGANIZATION OF USER INTERFACE SUBSYSTEM 3D IMAGING INFORMATION HYDROACOUSTIC MONITORING SYSTEM WATER AREA

The article deals with current problems of building user interfaces for the hydroacoustic monitoring systems. An overview of the methods of creating ergonomic user interface is presented. The problems arising at designing software for touch screens are discussed. Distributed system architecture analysis based on cloud computing is proposed.

Data visualization, sonar, real-time system, Qt SDK

УДК 378.1:167

**Ю. В. Воронов, Г. И. Дмитриев,
Е. А. Законников, В. А. Мейев**

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНТЕНТА САЙТА СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ

Рассматриваются особенности реализации структуры и функционального наполнения сайта для обмена данными между пользователями и участниками процесса подготовки, передачи и приема, хранения отчетных форм о научно-образовательной деятельности подведомственных вузов и научных организаций, применяемого в системе мониторинга научного и образовательного потенциала учреждений Минобрнауки России.

Система мониторинга, научный потенциал, образовательный потенциал, Интернет-технологии, on-line-режим

Рассмотренная в [см. лит.] информационная система мониторинга научного и образовательного потенциала учреждений Минобрнауки России обеспечивает автоматизированный обмен данными в режиме on-line между пользователями и участниками процесса подготовки, передачи и приема, хранения отчетных форм о научно-образовательной деятельности подведомственных вузов и научных организаций (учреждений) Минобрнауки России. Пользователями процесса подготовки и передачи отчетных форм о научно-образовательной деятельности являются подведомственные вузы и научные организации, в качестве участников процесса приема и хранения отчетных форм о научно-образовательной деятельности выступают специалисты Департамента Минобрнауки России (заказчика государственной работы) и организация (администратор сайта).

Для реализации процедур, обеспечивающих работоспособность и бесперебойное функционирование сайта системы мониторинга, разработаны WEB-приложения, реализованные по технологии ASP.NET.

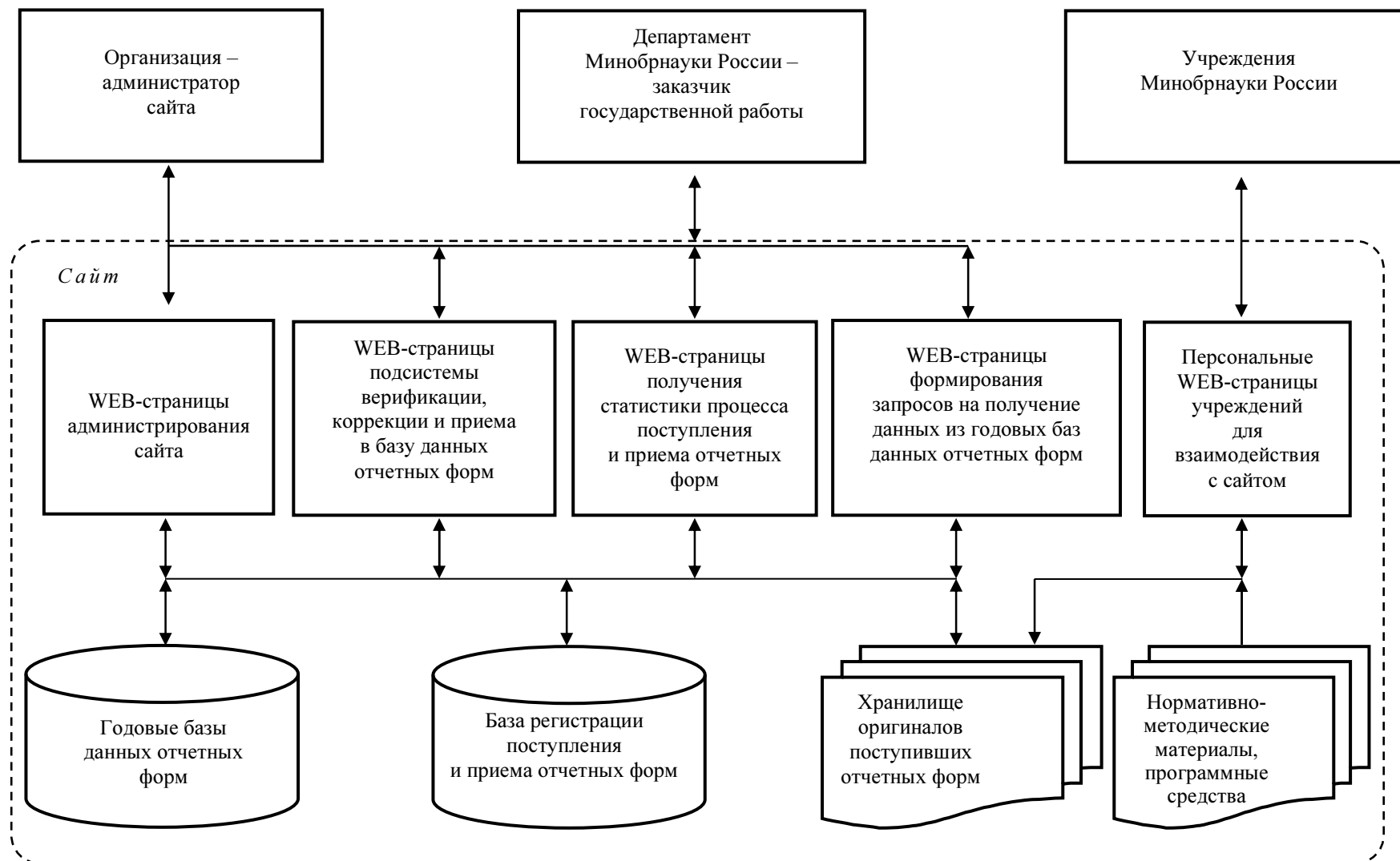


Рис. 1

Обобщенная структура сайта и схема взаимодействия его основных элементов представлены на рис. 1.

В составе сайта можно выделить следующие основные подсистемы:

- администрирования и управления работой сайта;
- верификации, коррекции и приема поступивших отчетных форм в базу данных;
- формирования статистики процесса поступления и приема отчетных форм;
- взаимодействия отчитывающихся учреждений с персональными страницами сайта;
- формирования запросов на получение информации из базы данных отчетных форм.

При подготовке к очередному ежегодному годовому этапу сбора отчетных форм о научной деятельности учреждений Минобрнауки России с помощью подсистемы администрирования на сайт загружается необходимое программное обеспечение для работы самого сайта, а также программные средства, нормативно-методическая и справочная документация, необходимые учреждениям для подготовки отчетных материалов.

Учреждения загружают с сайта необходимую нормативно-методическую документацию и программные средства, с помощью которых проводится заполнение отчетных материалов о научной деятельности, и отправляют подготовленные годовые отчеты на сайт.

Подготовленные учреждениями отчеты поступают в хранилище оригиналов отчетных форм в виде отдельных файлов специального формата. Время поступления на сайт каждого отчета фиксируется в базе данных регистрации поступления и приема отчетных форм.

Поступившие на сайт оригиналы отчетных форм средствами подсистемы администрирования загружаются в подсистему верификации, коррекции и приема отчетных форм, где с помощью программного модуля (Reception) для автоматизированной приемки отчетных форм подведомственных учреждений и формирования базы данных [см. лит.] осуществляется проверка полноты заполнения отчетных форм и корректности данных, содержащихся в них, а также сравнение основных показателей по годам и с контрольными данными. Данный программный модуль обеспечивает взаимодействие пользователя с WEB-страницей подсистемы верификации, коррекции и приема в базу данных поступивших отчетных форм, которая обеспечивает выполнение следующих функций:

- просмотр состояния процесса приема отчетных форм;
- получение общей статистики по приему отчетных форм;
- загрузку с сайта вновь поступивших оригиналов отчетных форм;
- отправку на сайт замечаний по результатам проверки отчета;
- подтверждение приема электронной формы отчета в базу данных.

По результатам проверки формируются замечания, которые выставляются на сайт – на персональную страницу соответствующего учреждения. После исправления замечаний отчетные формы повторно пересылаются учреждением на сайт. При отсутствии замечаний отчетные материалы автоматически загружаются в годовую базу данных отчетных форм.

Все этапы прохождения технологической цепочки поступления, проверки, выставления замечаний и приема в годовую базу данных фиксируются в базе регистрации поступления и приема отчетных форм и сразу же становятся доступными отчитывающимся учреждениям, а также работникам организации – администратору системы и специалистам Департамента Минобрнауки России.

Детальная информация обо всех этапах обработки поступивших отчетных форм всех отчитывающихся учреждений реализована в подсистеме формирования статистики процесса поступления и приема отчетных форм. При этом отчитывающиеся учреждения могут контролировать процесс приема своих отчетных форм через персональные WEB-страницы сайта.

Управление сайтом в процессе приема поступающих от учреждений отчетных форм осуществляется с помощью подсистемы администрирования и управления работой сайта, с помощью которой организация – администратор сайта может выполнить следующие действия:

- выполнить резервное сохранение годовой базы данных отчетных форм в целях обеспечения восстановления данных при аварийных ситуациях, а также для обеспечения локальной работы с данными базы отчетных форм на клиентской стороне организации-администратора;

- осуществлять загрузку годовой базы данных отчетных форм на сайт для восстановления данных при аварийных ситуациях или после внесения изменений в базу данных на клиентской стороне организации-администратора;

- контролировать ход процесса поступления, проверки, коррекции и приема отчетных форм путем просмотра записей базы данных регистрации поступления и приема отчетных форм;

- выполнять (при необходимости) ручную коррекцию временных параметров хода процесса приема отчета в базе данных регистрации поступления и приема отчетных форм;

- загружать с сайта оригиналы поступивших отчетных форм для дальнейшего анализа.

При просмотре данных о ходе процесса поступления и приема отчетных форм можно выполнить фильтрацию учреждений по различным критериям, определяющим стадию, на которой находится работа над отчетной формой. Таковыми критериями являются:

- «все» – учреждения, зарегистрированные в базе данных;

- «полученные» – учреждения, отчетные формы которых имеются на сайте;

- «новые» – учреждения, отчетные формы которых поступили на сайт, но еще не взяты на проверку;

- «проверяемые» – учреждения, отчетные формы которых находятся в стадии проверки;

- «принятые» – учреждения, отчетные формы которых приняты в базу данных.

Для предотвращения несанкционированного доступа к этой странице сайта используется парольная защита.

Состояние процесса приема отчетных форм по каждому учреждению отображается в графах таблицы на WEB-странице по датам наступления того или иного события в ходе обработки отчета.

Для осуществления контроля над ходом процесса приема отчетных форм в электронном и печатном виде, а также получения обобщенных сведений о динамике процесса приема данных разработана подсистема получения статистики процесса поступления и приема отчетных форм, с помощью которой формируется база регистрации поступления и приема. В ней фиксируются все этапы прохождения отчетной формы в системе: поступление электронной отчетной формы на сайт, проверка, выставление на сайт замечаний, прием электронной отчетной формы в базу данных и поступление отчетной формы в Минобрнауки России в печатном виде.

В результате на сайте создается несколько хранилищ, которые содержат следующие данные:

- база оригиналов отчетных форм вузов (организаций), поступивших на сайт, которые хранятся на сайте в виде отдельных файлов специального формата;
- база данных с замечаниями по результатам проверки поступивших отчетных форм в виде отдельных текстовых файлов (в форматах txt, doc, rtf);
- база данных со сведениями о ходе процесса поступления, проверки и приема отчетных форм;
- годовые базы данных принятых отчетных форм.

После приема электронных отчетных форм учреждений в базу данных сайта сведения, содержащиеся в них, становятся доступными для анализа с помощью подсистемы формирования запросов на получение данных из годовых баз отчетных форм, которая обеспечивает следующие функции:

- отбор годовых отчетных форм путем фильтрации по различным параметрам группирования учреждений;
- просмотр информации, содержащейся в каждой из отобранных отчетных форм;
- получение суммарных значений по отобранной группе отчетных форм;
- просмотр значений основных показателей научной деятельности по каждому из отобранных учреждений.

Для хранения данных, содержащихся в отчетных формах учреждений, для каждого отчетного года создается отдельная годовая база данных. Использование отдельных баз для каждого отчетного года обусловлено регулярными изменениями структуры и набора собираемых показателей. В соответствии с этим, несмотря на общее сходство структур всех годовых баз, они различаются конкретным набором таблиц и их атрибутов, предназначенных для хранения данных принятых в базу отчетных форм.

Разработанный сайт с базами данных за 2009–2010 гг. о научно-образовательной деятельности вузов и научных организаций Минобрнауки России, позволяющий в режиме on-line представлять первичную и обобщенную статистическую информацию о состоянии и развитии научного и образовательного потенциала подведомственных учреждений, используется руководителями Минобрнауки России и специалистами структурных подразделений министерства в области планирования научных исследований для анализа и выработки рекомендаций для принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Программное обеспечение информационной системы мониторинга научного и образовательного потенциала учреждений Минобрнауки России с использованием Интернет-технологий / Ю. В. Воронов, Г. И. Дмитриев, Е. А. Законников, В. А. Мейев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 10. С. 60–64.

Y. V. Voronov, G. I. Dmitriev, E. A. Zakonnikov, V. A. Meyev

DEVELOPMENT OF SITE CONTENT FOR SYSTEM OF GATHERING AND DATA PROCESSING ABOUT SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACTIVITY OF HIGH SCHOOLS

The implementations of the structure and content site for the implementation of data exchange between users and participants in the process of preparation, sending and receiving, storing, reporting forms on scientific activities of subordinate universities and research organizations, implemented a system for monitoring the scientific and educational potential of the Russian Ministry of Education Institutions.

System of monitoring, scientific potential, educational potential, Internet Technologies, on-line regime

ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ НИКЕЛЕВОГО ПОРОШКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Рассматриваются вопросы диагностики технологического процесса с использованием методологии нечетких выводов. В качестве примера рассмотрен технологический процесс формирования свойств никелевого порошка. Предлагается подход, обеспечивающий решение диагностической задачи оценки параметров технологического процесса формирования свойств никелевого порошка как объекта управления.

Техническая диагностика, нечеткие выводы, трехмерная обобщенная функция

В последнее время для решения задач диагностики технических объектов и систем различного назначения стали применяться методы теории нечетких множеств. Одной из предпосылок этого стало существенное усложнение математического описания технических систем с увеличением их сложности. Действительно, для получения адекватного описания таких систем управления необходимо существенно увеличивать число переменных и параметров, точное измерение которых, как правило, является трудной, а зачастую и неразрешимой задачей. В лингвистических моделях, являющихся основой теории нечетких множеств, для описания процессов и явлений, происходящих в диагностируемых объектах, используется словесное описание, которое, естественно, не обеспечивает такую же точность, какой обладают «традиционные» математические модели, но позволяет создавать достаточно хорошие, качественные модели.

Применение теории нечетких множеств при решении задачи диагностики технических объектов базируется на использовании методологии нечетких выводов [1]. Один из возможных подходов использования нечеткой модели для получения диагностических оценок рассмотрим на примере диагностики процесса формирования свойств никелевого порошка.

В результате анализа процесса термического разложения тетракарбонила никеля был выявлен ряд технологических факторов, изменяя которые можно получать порошки карбонильного никеля с различными физико-технологическими свойствами. В качестве основных составляющих критерия качества произведенного никелевого порошка используются такие его физико-технологические свойства, как насыпная плотность и средний размер частиц.

Влияние на значения этих показателей оказывают давление в нижней части рабочего пространства аппарата разложения и температуры реакционной смеси в шести тепловых зонах рабочего пространства аппарата разложения, причем степень влияния температур реакционной смеси в тепловых зонах на выходные переменные различна и убывает от первой зоны к шестой.

При построении топологии нечеткой модели формирования свойств никелевого порошка авторами были приняты во внимание следующие обстоятельства. Во-первых, отсутствие взаимосвязи выходных переменных, в качестве которых определены лингвистические переменные «насыпная плотность» (НП) и «размер частиц» (РЧ). Во-вторых, наличие непосредственного влияния на свойства порошка температуры реакционной смеси в первой и во второй тепловых зонах, описываемых лингвистическими переменными «температура первой тепловой зоны» (ТЗ-I) и «температура второй тепловой зоны» (ТЗ-II) соответственно. Влияние тем-

ператур в третьей и четвертой тепловых зонах на свойства никелевого порошка является интегральным, и эти зоны могут быть объединены лингвистической переменной «средняя часть рабочего пространства» (СЧ). Аналогично в топологии нечеткой модели пятая и шестая тепловые зоны представлены лингвистической переменной «нижняя часть рабочего пространства» (НЧ). Таким образом, влияние зон с третьей по шестую на свойства порошка учитывается промежуточными лингвистическими переменными. В-третьих, давление в нижней части рабочего пространства оказывает непосредственное влияние на свойства никелевого порошка. Оно может быть описано лингвистической переменной «давление в разложителе» (ДР).

Введение промежуточных переменных дает возможность представить систему нечеткого логического вывода в виде двухуровневой иерархической структуры для каждой характеристики порошка. Первый уровень нечеткого вывода формирует заключение о состоянии температуры в средней и нижней части рабочего пространства на основании температуры в третьей-четвертой и пятой-шестой тепловых зонах. Второй уровень нечеткого вывода формирует заключение о значении показателя порошка на основании температур первой и второй тепловых зон и давления в нижней части реторты с учетом заключений первого уровня.

На основании полученных выводов разработана топология нечеткой модели формирования свойств никелевого порошка [2]. Эта модель содержит две подсистемы, а именно: модель «Плотность», которая описывает взаимосвязь технологических переменных с насыпной плотностью, и модель «Фишер», описывающую взаимосвязь технологических переменных с размером частиц по методу Фишера.

Терм-множество каждой входной лингвистической переменной определено нечеткими переменными «низкий», «средний», «высокий». Выходные лингвистические переменные описываются семью термами каждая. Универсумы лингвистических переменных определялись минимально и максимально возможными значениями каждой из них.

Естественно, что по одному замеру практически невозможно определить точно уровень, на котором находится оцениваемая величина. Для того чтобы оценка была обоснованной, целесообразно воспользоваться показателем достоверности по каждому уровню. Возможным способом представления показателя достоверности на каждом уровне является использование обобщенной функции принадлежности в трехмерной системе координат. Эта функция состоит из трех элементов: фактические данные, заключение и показатель достоверности.

Формирование трехмерной обобщенной функции принадлежности проведем в три этапа.

Полагаем, что задачей диагностики является оценка текущего состояния процесса по величине некоторой переменной Y , значение которой, в свою очередь, оценивается по измеренным значениям соответствующего параметра X . Измерение параметра производится на определенных уровнях (x_1, x_2, \dots, x_n) , что предопределяет количество термов этой лингвистической переменной равно n . На практике функция $Y = f(X)$ в большинстве случаев является непрерывной, и при использовании ее нечеткого описания в диагностической модели значения переменной необходимо разделить на m уровней, исходя из требуемой полноты описания. При таком разделении переменная Y характеризуется m термами.

Далее на основании экспериментальных измерений строится зависимость между измеренными значениями x_j и соответствующими значениями y_j , $j = \overline{1, m}$ (представлена на рис. 1). Затем эта зависимость представляется в виде набора функций принадлежности, при этом выделяются определенные области X , а на оси Z откладываются значения, характеризующие частоту

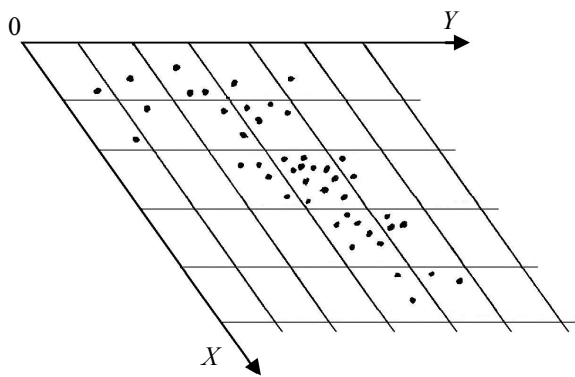


Рис. 1

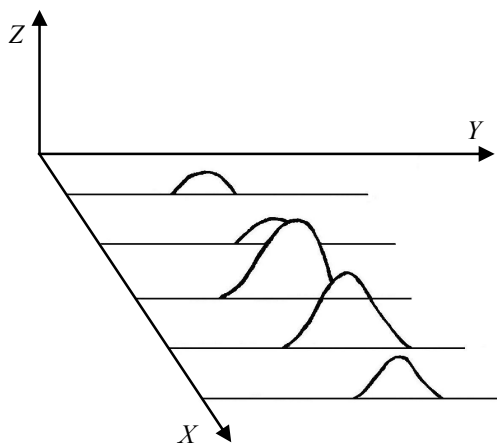


Рис. 2

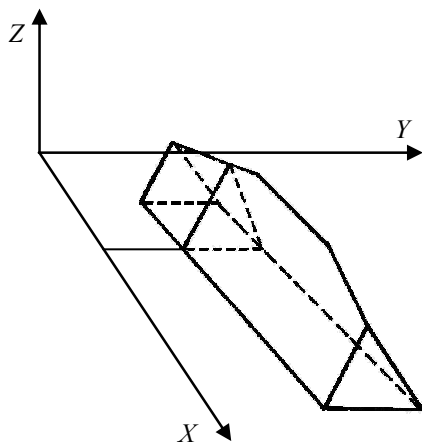


Рис. 3

появления максимальных значений Y (рис. 2). Окончательное формирование трехмерной обобщенной функции принадлежности завершается аппроксимацией полученных функций принадлежности (например, в виде треугольников) и соединением их вершин.

Применение трехмерной обобщенной функции нечеткой модели для определения состояния процесса производства никелевого порошка, т. е. оценивания значения температуры в определенной области рабочего пространства на основе фактических данных о значении насыпной плотности или размерах частиц, имеет свои особенности.

Исходя из количества входных лингвистических переменных, равно пяти, и трех термов для каждой из них для описания возможных состояний процесса производства никелевого порошка необходимо иметь 243 варианта обобщенной функции:

$$\text{card} [T(\text{TЗ-I}) \times T(\text{TЗ-II}) \times T(\text{СЧ}) \times T(\text{НЧ}) \times T(\text{ДР})] = 243,$$

где $T(*)$ – терм-множество лингвистической переменной.

На рис. 3 показан пример обобщенной функции принадлежности, где координата X характеризует насыпную плотность, координата Y определяется одним из 243 наборов лингвистических переменных, а координата Z представляет величину показателя достоверности.

Использование такой функции в процессе решения диагностической задачи позволяет

определить показатель достоверности при переходе от качественного значения температуры и давления в соответствующей области рабочего пространства к его количественной оценке. Если, например, измеренное значение насыпной плотности составляет x_i , то сечение « $Y - Z$ » при $x = x_i$ дает показатели достоверности z_k для каждого значения $k = \overline{1, 5}$.

При практической реализации системы диагностики, осуществляющей текущую оценку состояния процесса производства никелевого порошка, применяют две группы обобщенных функций принадлежности: одну, построенную с использованием в качестве фактических данных значений насыпной плотности, вторую – с использованием размера частиц.

Для повышения эффективности функционирования диагностической системы, во-первых, целесообразно в каждой группе выделить кластеры функций принадлежности, относящихся к наиболее вероятным состояниям технологического процесса. В этом случае поиск заключений нечеткого логического вывода целесообразно проводить, в первую очередь, на основе функций, входящих в указанные кластеры, что упростит задачу диагностики.

Во-вторых, алгоритм поиска наиболее достоверного результата диагностики должен предусматривать сравнение заключений, полученных с использованием функций принадлежности, входящих в первую и вторую группы, с целью поиска наиболее близких результатов.

Современные компьютерные средства, использующие эффективные программные средства, в частности, для обработки и визуализации данных в многомерных пространствах, позволяют реализовать рассмотренный подход для построения системы, решающей диагностическую задачу оценки параметров технологического процесса формирования свойств никелевого порошка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. А., Кораблев Ю. А., Шестопалов М. Ю. Методы управления и диагностики в технических системах с применением нечеткой логики. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. 188 с.
2. Шевцов И. В. Разработка тепловой модели рабочего пространства разложителя карбонила никеля как объекта управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 7. С. 66–70.

A. A. Alexeyev, I. V. Shevtsov, M. Yu. Shestopalov

DIAGNOSTICS OF PLANT OF NICKEL POWDER PROPERTIES FORMING BY USING A FUZZY MODEL

Issues of TP diagnostics, using fuzzy derivations methodology are observed. As an example nickel powder properties forming is considered. The approach providing solution of diagnostic problem of estimation of parameters of nickel powder properties forming as control object is offered.

Technical diagnostics, fuzzy derivations, three-dimensional generalized function of fuzzy model



УДК 62-83-523(62.50)

*М. Ю. Шестопалов, В. В. Путов, Е. С. Анушина,
В. П. Казаков, А. В. Путов, Т. Л. Русяева,
А. Д. Стоцкая, Д. М. Филатов*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются вопросы разработки автоматизированной установки для промышленного изготовления термоэлектрических материалов на основе теллурида висмута. Обсуждаются особенности технологии и реализующей ее установки, строится система автоматизированного управления установкой на базе промышленных и микроконтроллерных средств. Сообщаются сведения о разработке технического проекта технологического оборудования и специального программного обеспечения, а также об изготовлении и испытании полномасштабного макета автоматизированной установки.

Термоэлектрические материалы, теллурид висмута, направленная кристаллизация, формообразователь, синтез, литье, отжиг

В настоящее время во всем мире широко распространены технологии изготовления полупроводниковых термоэлектрических материалов (ТЭМ), из которых изготавливаются полупроводниковые термоэлектрические устройства (приборы, модули), применяемые для генерации электрической энергии, терморегуляции, производства холода в различных отраслях промышленности и в быту.

В статье рассматриваются некоторые результаты создания в СПбГЭТУ на кафедре систем автоматического управления (САУ) автоматизированной установки для изготовления кристаллов термоэлектрических материалов, удовлетворяющей технологическим требованиям, разработанным предприятием ОАО «Научно-производственное предприятие теплофизического приборостроения «ОСТЕРМ СПб»».

Особенности применяемой технологии, реализуемой в создаваемой установке. Известны различные методы получения термоэлектрических материалов, использующих те или иные виды сырья [1].

В фундамент реализуемой автоматизированной установкой технологии получения (литья, синтеза, кристаллизации и отжига) термоэлектрических материалов на основе *теллурида висмута* положен метод *направленной кристаллизации*, заключающийся в формировании управляемого градиента температур в области кристаллизации. Управлять полем темпера-

тур можно либо механически перемещая *формообразователь* с веществом относительно нагревателя [2]–[4] или сам нагреватель (см., например, [5]), либо управляя температурным режимом нагревателей (и охладителей) (как, например, в [6], [7]).

В создаваемой установке реализуется последний из описанных способов управления процессом кристаллизации как наиболее прогрессивный и позволяющий при создании нагревателей соответствующих конструкций гибко управлять распределением температур по всему объему формообразователя, получая кристаллы с заданными электрофизическими свойствами. В частности, при использовании формообразователей вытянутых форм говорят о горизонтальном или вертикальном, как в создаваемой установке, направлениях градиента температур (см., например, [2], [4], [5]).

В создаваемой установке обеспечивается профилирование выращиваемых кристаллов термоэлектрических материалов путем придания литьевым камерам формообразователя геометрических размеров, приближенных к требуемым размерам изготавливаемых на их основе термоэлектрических материалов с целью снижения временных и энергетических затрат при кристаллизации, а также трудоемкости потерь сырья при окончательной механической обработке кристаллов (см., например, [8], [9]). Кроме того, процесс кристаллизации осуществляется при избыточном давлении защитной газовой среды, как в [10], [11].

Описание функциональной структуры создаваемой установки. В создаваемой установке осуществляется единый технологический процесс получения профилированных кристаллов термоэлектрических материалов на основе теллурида висмута, объединяющий процессы синтеза, литья, кристаллизации и отжига, протекающие в вакуумированной камере с использованием специального разборного графитового контейнера – формообразователя многократного применения.

Основой установки является рабочая камера (трубчатая печь) с графитовыми нагревателями, устройством перемешивания и с газовакуумной системой, состоящей из формовакуумного насоса, манометра, управляемых клапанов и соединительных шлангов и обеспечивающей вакуумирование внутреннего объема рабочей камеры и поддержание избыточного давления инертного газа. В рабочей камере размещается формообразователь, имеющий в верхней части загрузочную емкость, а в нижней – литьевые формы (кристаллизационные ячейки), соединенные с загрузочной емкостью специальными отверстиями. Графитовые нагреватели расположены в верхней части рабочей камеры, а основание формообразователя лежит на пьедестале, снабженном водяным охлаждением.

В процессе *синтеза* исходные материалы (химические элементы Bi, Te, Sb, Se) сплавляются в определенных комбинациях и пропорциях в загрузочной зоне формообразователя, образуя исходное сырье для последующего выращивания кристаллов термоэлектрических материалов. Синтез сопровождается интенсивным перемешиванием расплава, позволяющим сократить время синтеза и, следовательно, потери легколетучих компонентов расплава. Для подавления улетучивания компонентов также применяется заполнение рабочей камеры аргоном с избыточным давлением.

Процесс *литья* осуществляется по мере окончания процесса синтеза, при этом температура в камере поднимается, происходит проплавление входных отверстий (затворов), разделяющих отсеки синтеза и формообразования, и расплав перетекает, заливая формообразующие кристаллизационные полости.

Процесс направленной *кристаллизации* обеспечивается созданием управляемого вертикально ориентированного градиента температур путем одновременного управления нагревом с помощью графитовых нагревателей верхней части формообразующих кристаллизационных ячеек (полостей) литьевой формы формообразователя и охлаждением с помощью водоохлаждаемого пьедестала нижней части литьевых форм формообразователя. Температурный режим процесса кристаллизации измеряется с помощью термопар, размещенных в верхней и нижней частях формообразователя.

На завершающей стадии изготовления профилированных кристаллов их, как правило, подвергают последующему *отжигу* при экспериментально определяемой температуре отжига, всегда меньшей нижнего значения температуры кристаллизации. К температуре отжига переходят одним из двух способов. По первому кристаллы быстро охлаждают до наружной температуры, а затем медленно нагревают до температуры отжига. По второму способу кристаллы медленно охлаждают от температуры кристаллизации до наружной температуры, а затем нагревают до температуры отжига. Отжиг обоими способами производится непосредственно в формообразователе без выгрузки термоэлектрических материалов после кристаллизации.

На кафедре САУ в соответствии с техническим заданием, составленным предприятием ОАО «НПП ТФП «Остерм СПб»», разработана эскизная конструкторская документация Э СПВГ.040441.01 и изготовлен действующий макет автоматизированной установки синтеза, литья, кристаллизации и отжига профилированных кристаллов термоэлектрических материалов с применением точной литьевой оснастки (акт об изготовлении № 444/54-2 от 21.06. 2011 г.).

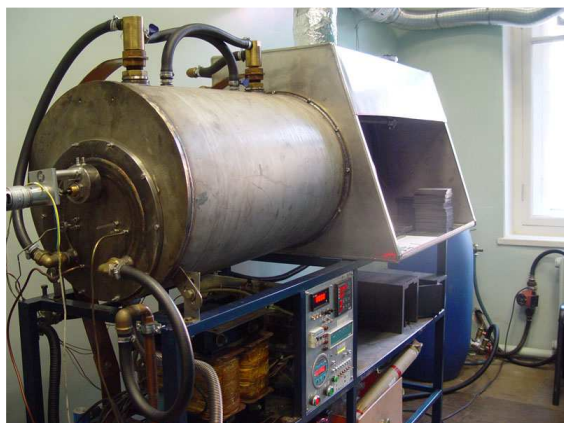


Рис. 1

На рис. 1 приведена фотография действующего макета автоматизированной установки, расположенного в созданной совместно с ОАО «НПП ТФП «Остерм СПб»» учебно-научной лаборатории при кафедре САУ, а на рис. 2 показан чертеж общего вида основного конструктивного элемента макета – рабочей камеры.

Все названия узлов рабочей камеры (на выносках чертежа, рис. 2), пояснены ранее в тексте.

Система автоматического управления технологическим процессом, реализуемым создаваемой установкой. Важной частью создаваемой автоматизированной установки является разработка системы автоматизированного управления технологическим процессом (САУ ТП).

САУ ТП обеспечивает следующие основные функции:

- автоматическое регулирование основных параметров технологического процесса: температур внутри камеры перемешивания; температур формообразователя, нагревателя, пьедестала; давления внутри камеры перемешивания, обеспечивающих стабилизацию заданных технологических режимов;

- автоматический запуск подготовительных операций перед началом основного цикла (газо-вакуумная подсистема);
- автоматическую генерацию сигналов запуска, остановки технологического оборудования (исполнительных механизмов): подсистема нагрева, охлаждения, вентиляции и перемешивания;
- автоматический контроль технологического процесса;
- сигнализацию об аварийных отклонениях основных параметров технологических процессов и о состоянии исполнительных механизмов;
- диспетчеризацию, регистрацию, обработку и архивацию данных: подсистема визуализации/SCADA.

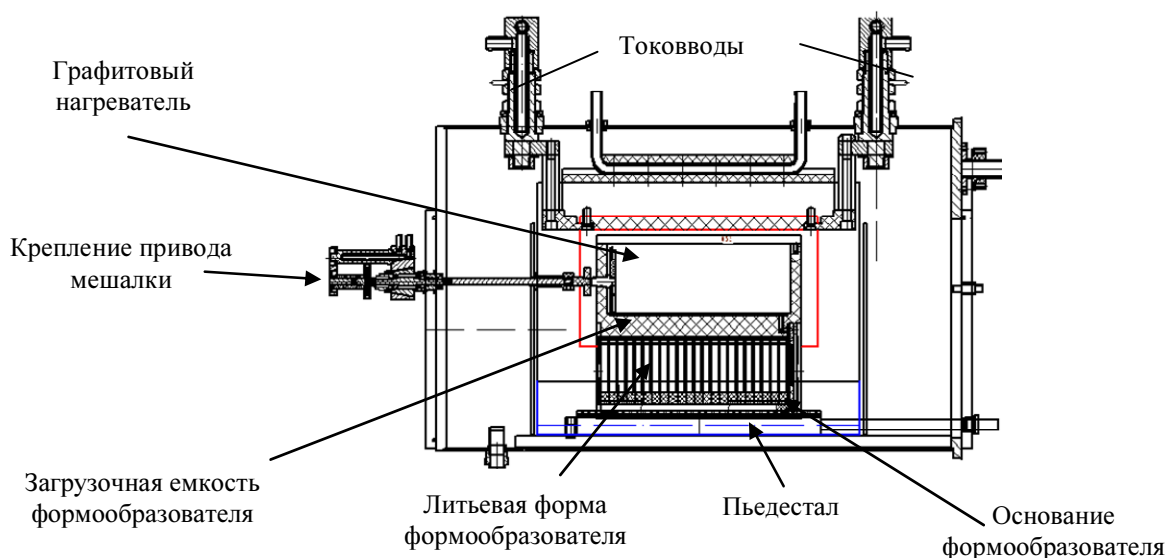


Рис. 2

Аппаратная часть САУ ТП реализована в виде:

- компьютерной панели оператора, выполненной на базе промышленного контроллера ТРС 12 606 с сенсорным экраном 12,1" (рис. 3);
- специально разработанной микроконтроллерной платы управления, выполненной на базе микроконтроллера atmega 128 А, с периферией и разъемом для программирования (рис. 4).



Рис. 3

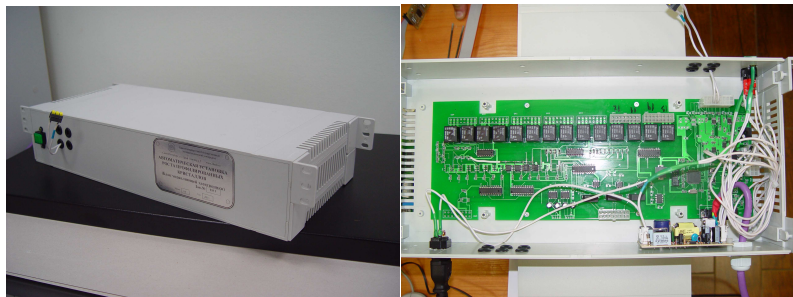


Рис. 4

Функции САУ ТП реализуются при помощи разрабатываемого специального программного обеспечения, которое позволяет осуществить автоматизированное управление технологическим процессом по заданным алгоритмам; обмен данными с устройствами связи с установкой;

отображение в реальном масштабе времени информации о ходе протекания технологического процесса в удобной и понятной для оператора форме; аварийную сигнализацию и управление тревожными сообщениями; хранение оперативных данных с технологической информацией.

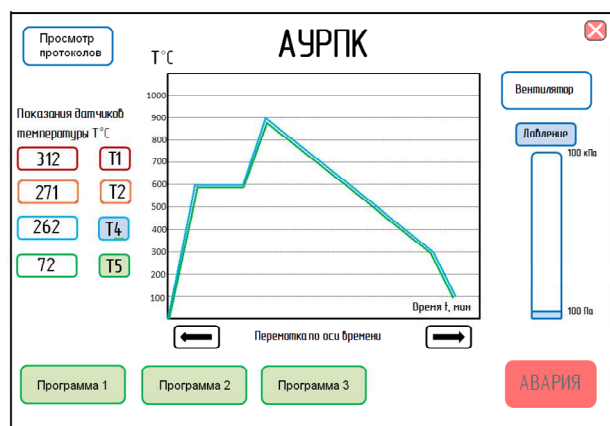


Рис. 5

В окне пользовательского интерфейса, отображаемом на экране промышленного компьютера (рис. 5) отображается информация с датчиков температур в цифровом и графическом виде, а также величина давления в рабочей камере. При помощи кнопок T1–T4 выбираются отображаемые графики температур по сигналам с конкретного датчика. Кнопки прокрутки под осью абсцисс графиков температур позволяют перемещаться по оси времени. При помощи данного интерфейса оператор в режиме реального

времени может контролировать ход технологического процесса: кнопкой включения-отключения запускать подпрограмму вентиляции; кнопка аварийной остановки позволяет безопасно остановить технологический процесс; кнопка «Просмотр протоколов» открывает окно просмотра архивных данных технологических параметров. Кнопки выбора программы технологического процесса («Программа 1», «Программа 2», «Программа 3») позволяют запустить тот или иной технологический процесс с заданными параметрами.

Количество программ технологического процесса соответствует комплекту форм точной литьевой оснастки формообразователя, которые содержит установка. Каждой форме соответствуют конкретные условия синтеза кристаллов – уставки по давлению, температуре, скорости нагрева и охлаждения.

Специальное программное обеспечение состоит из двух подпрограмм: подпрограммы интерфейса пользователя, реализованной в компьютерной панели оператора (см. рис. 3), и подпрограммы автоматизированного управления технологическим процессом, реализованной в микроконтроллерной плате управления (см. рис. 4).

Структурная схема АСУ ТП автоматизированной установки, объединяющая аппаратные средства автоматизации и технологическое оборудование установки в автоматизированную систему посредством построения связи типа «резервированное кольцо» с ведущим устройством – промышленным компьютером, показана на рис. 6.

На действующем макете разработанной автоматизированной установки изготовления термоэлектрических материалов теллурида висмута (см. рис. 3–5) проведены экспериментальные исследования (пробные плавки), подтверждающие надежность и безопасность функционирования автоматизированной установки во всех режимах ее работы, осуществляемых разработанным специальным программным обеспечением, и при всех временных воздействиях, допустимых условиями эксплуатации.



Рис. 6

Работа выполнена при финансовой поддержке, выполняемой на основании постановления Правительства Российской Федерации от 9 апр. 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

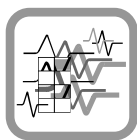
1. Таиров Ю. М., Цветков В. Ф. Технология полупроводниковых приборов и диэлектрических материалов. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2008. 424 с.
2. Пат. RU2402111. ООО «НПО «Кристалл»». Оpubл. 20.10.10.
3. Пат. RU2331722. Скубулин М. Д. Оpubл. 19.02.07.
4. Пат. RU210716. Горно-химический комбинат. Оpubл. 20.03.98.
5. Пат. SU 1800854. ВНИИ синтеза минерального сырья. Оpubл. 20.06.96.
6. Пат. RU2357023. ООО «Центр теплофизических исследований «Термо»». Оpubл. 07.11.07.
7. Пат. RU2163943. Институт минералогии и петрографии СО РАН. Оpubл. 10.03.01.
8. Пат. RU2178469. Институт физики твердого тела РАН. Оpubл. 20.01.02.
9. Пат. RU2042750. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН. Оpubл. 27.08.95.
10. Пат. RU2083732. АОЗТ «Бимком». Оpubл. 20.07.97.
11. Пат. CN 1488572. Changhai Silicate Inst. CN Acad. Оpubл. 14.04.04.

V. V. Putov, M. Yu. Shestopalov, E. S. Amushina, T. L. Rusaeva,
A. V. Putov, V. P. Kazakov, D. M. Filatov, A. D. Stotckaia

AUTOMATED INSTALLATION FOR PRODUCTION OF THE THERMOELECTRIC MATERIALS PROFILED CRYSTALS

The problems of the automated installation design for the industrial production of thermoelectric materials based on bismuth telluride are under consideration. The main features of technology and installation implementing it are discussed and construction of the automated control system based on industrial and microcontroller tools is presented. The paper gives short overview of the processing equipment and the special software technical design, as well as the full layout of automated installation manufacturing and testing technical design.

Thermoelectric materials, bismuth telluride, oriented crystallization, shaper, synthesis, casting, annealing



УДК 531.383

*А. М. Боронахин, Е. Д. Бохман, Д. Ю. Ларионов,
Л. Н. Подгорная, Р. В. Шалымов*

МОБИЛЬНАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

Рассматриваются результаты внедрения мобильной инерциальной системы мониторинга рельсового пути (МИСМ РП) на вагоне-дефектоскопе. Описан состав системы. Рассмотрены вопросы калибровки и установки подсистем МИСМ РП. Описана методика обработки показаний МИСМ РП как с целью определения геометрических параметров рельсового пути, так и с целью диагностики вертикальных неровностей поверхности рельса. Приведены результаты экспериментальных проездов системы в составе вагона-дефектоскопа.

Диагностика рельсового пути, БИНС, МИСМ РП, геометрические параметры рельсовой колеи, дефекты рельсов, акселерометр

В настоящее время в России и за рубежом существуют две основные группы средств диагностики рельсового пути – путеизмерительные вагоны (ПВ) и ручные средства измерения параметров рельсового пути, такие, как тележки и шаблоны.

Существенным недостатком ПВ является ограниченная частота контрольных проездов, для тележек и дрезин – низкая скорость движения и необходимость закрытия перегонов для проведения измерений. Исходя из перечисленных недостатков современных путеизмерителей, а также необходимости оперативного контроля состояния рельсовой колеи, актуальной представляется разработка мобильной инерциальной системы мониторинга рельсового пути для оборудования локомотивов подвижных составов.

Также можно отметить, что в результате эксплуатации дефектоскопов была выявлена зависимость развития дефектов в рельсах от геометрических неровностей, в основном от коротких просадок и перекосов. Определение данной зависимости позволит с большей достоверностью делать прогноз по состоянию пути. При этом диагностирование пути по геометрии и дефектам должно выполняться одновременно, так как одним из факторов, определяющих точность, является степень динамического воздействия вагона на путь. Решением этой задачи может стать внедрение в состав вагона-дефектоскопа подсистемы измерения неровностей рельсового пути, перекосов, кривизны и уровня.

Состав мобильной системы. В состав МИСМ РП (рис.1) входят [1], [2]:

- бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), закрепленная на хребтовой балке под кузовом вагона, для измерения угловых и линейных перемещений;
- датчики микромеханические (ДММ), устанавливаемые на четырех буксах колесных пар (КП) одной из ходовых тележек вагона, для измерения угловых и линейных перемещений;
- датчики перемещений (ДП), необходимые для контроля линейных перемещений четырех буксовых узлов с ДММ относительно кузова вагона;
- датчик пройденного пути (одометр), необходимый для определения пройденной дистанции;
- приемная аппаратура сигналов спутниковой навигационной системы (ПА СНС) – для определения географических координат местоположения вагона;
- блок электронный, использующий специализированную 16-канальную плату сбора измерительной информации от подсистем (рис. 2);
- бортовой компьютер – для реализации алгоритма МИСМ РП.

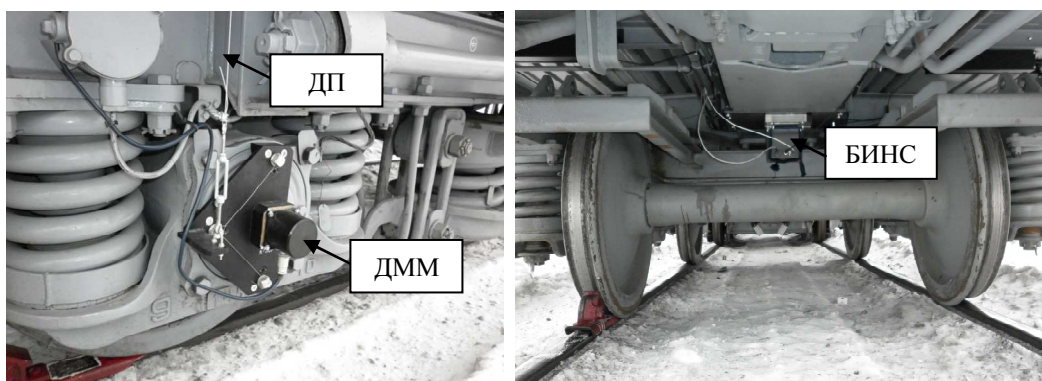


Рис. 1



Рис. 2

В состав ДММ входят: один трехосный (x , y , z) акселерометр ADXL325 с диапазоном измеряемых ускорений $\pm 5g$ и 3 акселерометра ADXL278 с диапазоном $\pm 35g$ (2 по оси z и один x).

Установка подсистем на вагон. Процедура установки и юстировки подсистем МИСМ подразумевает определение взаимной угловой ориентации БИНС, устанавливаемой на кузове вагона, и ДММ, монтируемых на буксовые узлы.

Монтаж начинается с установки БИНС на раму чистовую (РЧ) (рис. 3), затем к плате установочной (ПУ), которую предварительно закрепляют винтами на хребтовой балке. Для закрепления ДММ используются плиты присоединительные (ПП). Однозначность ус-

тановки обеспечивается штифтовым соединением (рис. 3). Благодаря этому при замене ДММ новый датчик будет устанавливаться идентично предыдущему единственно возможным образом (разъемом вниз) и для определения взаимного расположения ДММ достаточно определять ориентацию четырех ПП и ПУ.

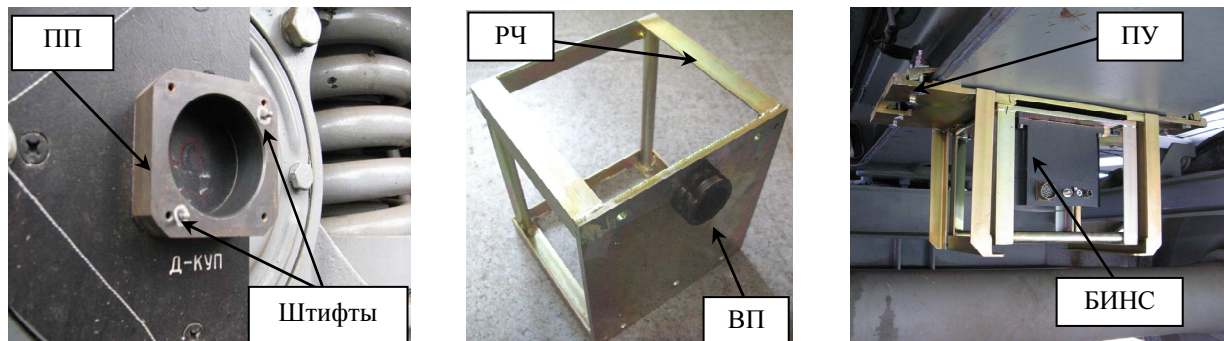


Рис. 3

Для этого было предложено использовать БИНС, моделирующую географическую систему координат $O\xi\eta\zeta$ (рис. 4).

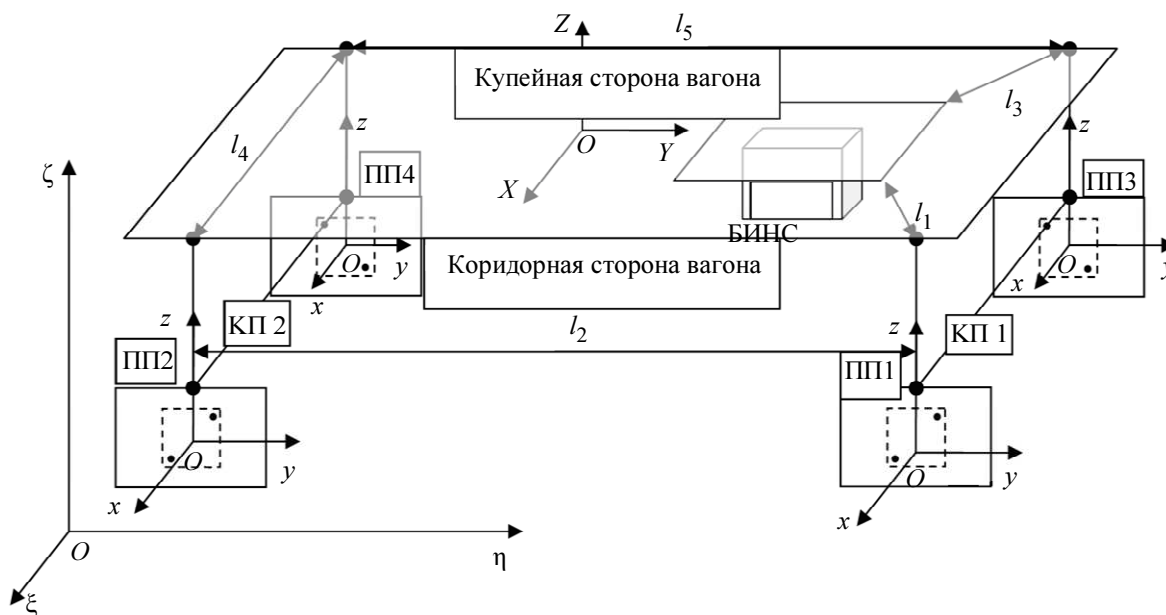


Рис. 4



Рис. 5

БИНС поочередно устанавливалась на ПП (рис. 5) при помощи втулки посадочной (ВП) (рис. 3). Таким образом, определялись угловые положения систем координат $Oxuz$ (для четырех ПП) относительно $OXYZ$ – системы координат, связанной с ПУ (вагоном).

Графики изменения углов ориентации БИНС (крен θ , тангаж ψ и курс K) в процессе определения взаимной ориентации (по двум экспериментам) приведены на рис. 6.

Можно отметить, что графики в двух сериях имеют высокую воспроизводимость – отличие находится в пределах единиц угловых минут, что удовлетворяет техническим требованиям.

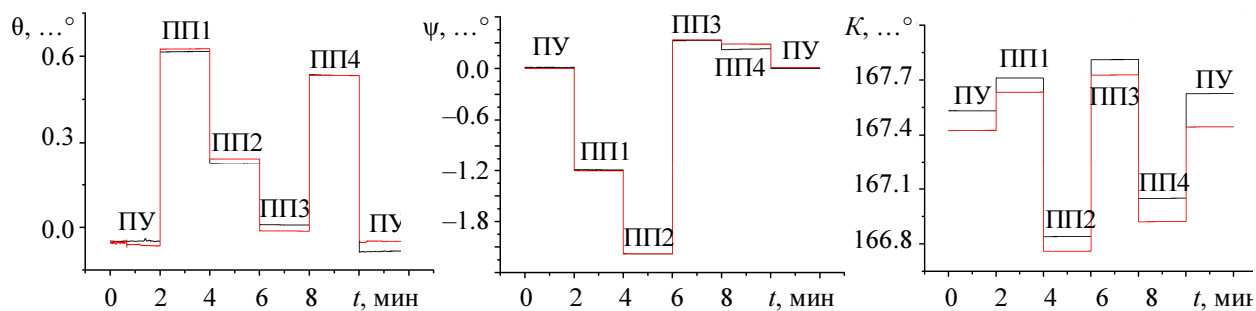


Рис. 6

Алгоритм работы МИСМ РП. МИСМ РП способна определять как геометрические параметры рельсовой колеи (кривизна пути в плане, уровень, уклон), так и дефекты поверхностей катания рельсов.

Для получения указанных геометрических параметров используются показания БИНС, датчиков перемещений и одометра [3]:

1. Кривизна – величина, обратная радиусу кривизны, определяется исходя из формулы вычисления длины дуги окружности:

$$k = \frac{\Delta K \cdot \pi}{\Delta L \cdot 180}, \quad (1)$$

где k – кривизна пути в плане, м^{-1} ; ΔL – пройденная дистанция (по показаниям одометра), м; ΔK – приращение курса на пройденном участке пути (по показаниям БИНС), \dots° .

2. Уровень H – величина, характеризующая возвышение одной рельсовой нити над другой, определяется по показаниям БИНС (определяет угол наклона кузова вагона к плоскости горизонта θ) и ДП (определяют наклон колесных пар H_1 и H_2 относительно кузова вагона, см. схему на рис. 4), мм:

$$H = H_{\text{БИНС}} + \frac{H_1 + H_2}{2},$$

где $H_{\text{БИНС}} = \theta \text{Ш}$ – возвышение одной стороны вагона над другой относительно плоскости горизонта на базе Ш (номинальном значении ширины рельсовой колеи, равной 1520 мм), мм; H_1 и H_2 – возвышение одной рельсовой нити над другой относительно кузова вагона на базе Ш в районе первой и второй колесных пар (по показаниям ДП – h_1, h_2, h_3 и h_4 , мм); θ – угол крена (по показаниям БИНС), рад;

$$H_1 = \frac{h_1 - h_3}{l_4} \text{Ш}, \quad H_2 = \frac{h_2 - h_4}{l_4} \text{Ш}.$$

При расчетах параметров устройства пути в плане и по уровню и их последующем анализе кривизна и уровень отфильтровываются от местных неровностей, рассматриваются не мгновенные, а усредненные значения кривизны и уровня на скользящем отрезке пути длиной 50 м для кривизны и 40 м для уровня. Длина интервала усреднения установлена так, что она на 10 м превышает длину штрафующих (согласно ЦП-515) неровностей пути (40 м для неровностей в плане и 30 м для неровностей по уровню) [3].

3. Продольный уклон, как и уровень, определяется по показаниям БИНС (определяет угол тангажа кузова вагона) и ДП (определяют наклон рельсовых нитей $\Psi_{\text{куп}}$ и $\Psi_{\text{кор}}$ относительно кузова вагона, см. рис. 4), ‰:

$$\Psi = \Psi_{\text{БИНС}} + \frac{\Psi_{\text{куп}} + \Psi_{\text{кор}}}{2},$$

где $\Psi_{\text{БИНС}}$ – угол наклона кузова вагона к плоскости горизонта, ‰:

$$\Psi_{\text{БИНС}} = \frac{\psi\pi}{180} 1000;$$

ψ – угол тангажа по показаниям БИНС, ...°; $\Psi_{\text{куп}}$ и $\Psi_{\text{кор}}$ – уклоны рельсов относительно кузова вагона на купейной и коридорной сторонах вагона соответственно, ‰ (по показаниям ДП – h_1, h_2, h_3 и h_4 , мм):

$$\Psi_{\text{куп}} = \frac{h_2 - h_1}{l_2} 1000, \quad \Psi_{\text{кор}} = \frac{h_4 - h_3}{l_2} 1000.$$

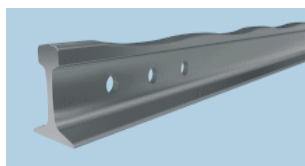


Рис. 7

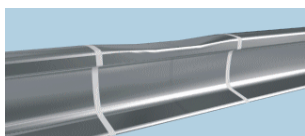


Рис. 8

К дефектам, выявляемым по показаниям МИСМ РП, относятся короткие просадки в вертикальной плоскости, короткие неровности поверхности катания рельсов в различных диапазонах длин волн, волнообразные дефекты (рис. 7) и смятие головки рельса (рис. 8).

Для измерения дефектов поверхности катания был предложен инерциальный метод [4], предполагающий использование избыточности измерительной информации (ДММ установлены как на первой, так и на следом идущей колесной паре ходовой тележки). В связи с этим была предложена следующая процедура обработки (рис. 9). На первом этапе, используя (1) и калибровочные коэффициенты, происходит масштабирование сигналов (K) вертикальных микромеханических акселерометров ММА, например 1-го и 2-го ДММ по коридорной стороне вагона (см. рис. 4). Затем, для выполнения процедуры приведения сигналов к единой путевой координате S , в сигнал 1-го ДММ вводится задержка τ , определяемая временем прохождения вторым колесом междусевого расстояния l_2 (см. рис. 4). Для этого используется текущее значение скорости движения вагона по показаниям одометра ($v_{\text{од}}$), которое также требуется для нормировки сигналов ММА по скорости (N). Далее, в блоке корреляционного анализа БКА, на участке пути 1 м (аналог метровой линейки, относительно которой измеряется глубина дефекта [3]) оценивается коэффициент взаимной корреляции. В случае превышения некоторого порогового значения, определяемого нормами безопасности, в блоке выработки параметров неровности БВПН оцениваются значения глубины A и длины L .

Результаты экспериментальных поездок. Далее представлены результаты измерения параметров рельсового пути, полученные весной 2011 г. в ходе экспериментальных поездок вагона-дефектоскопа фирмы ОАО «Радиоавионика», оснащенного МИСМ РП (от Санкт-Петербурга до Вырицы и обратно).

На рис. 10 приведены результаты измерения одного из криволинейных участков пути (кривизны) по показаниям МИСМ РП (а) и по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-4МД (б). В таблицу сведены результаты измерений нескольких кривых. Анализ показал достаточно высокую степень сходимости показаний разрабатываемой системы диагностики и ПВ.

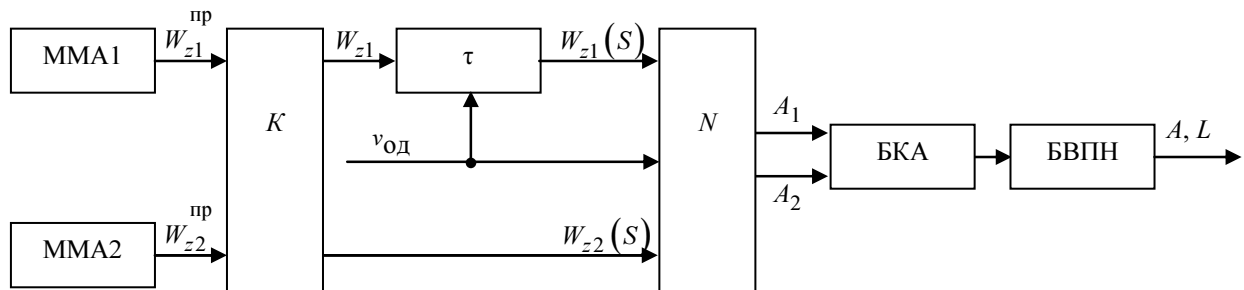
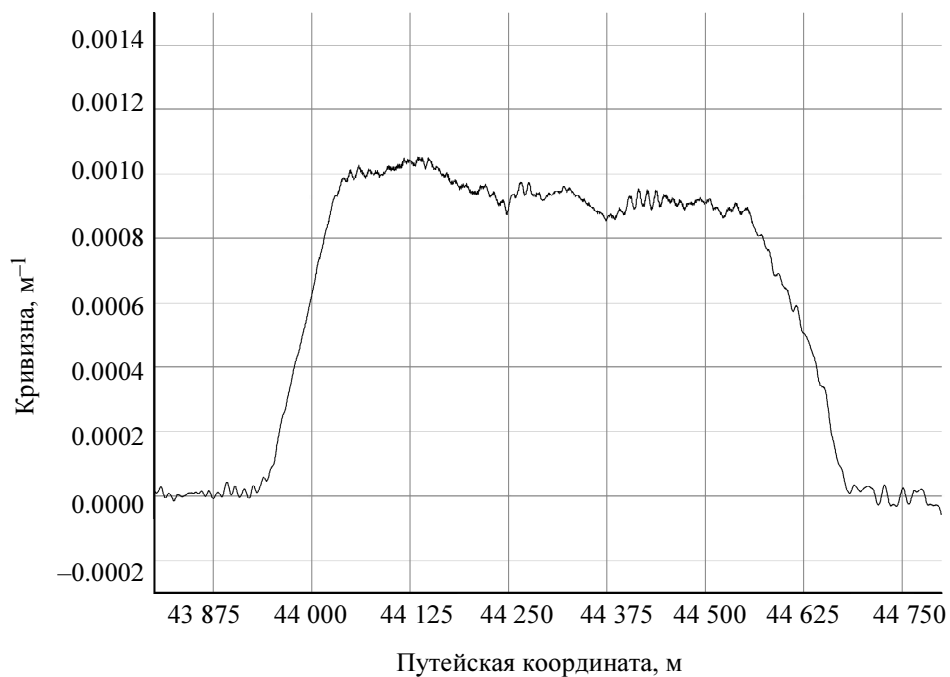
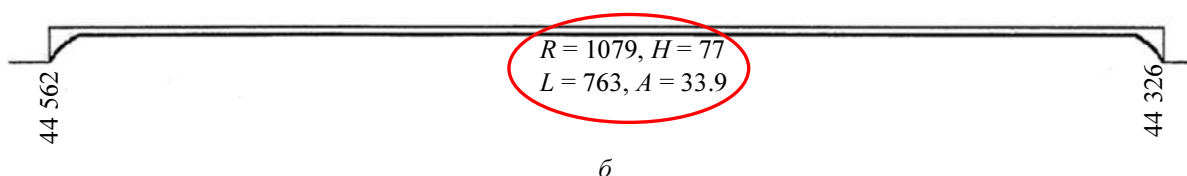


Рис. 9

Аналогичную картину можно наблюдать и при сравнении значений возвышения одной рельсовой нити над другой, полученных по показаниям МИСМ РП и вагона-путеизмерителя (рис. 11).



а



б

Рис. 10

Средство диагностики	Кривизна, м ⁻¹ / Радиус кривизны, м					
	МИСМ РП	0,00093/1070	0,0011/917	0,0002/5002	0,00016/6205	0,00021/4815
ЦНИИ-4МД	0,00093/1079	0,0011/938	0,0002/5012	0,00016/6170	0,00021/4822	0,0001/10009

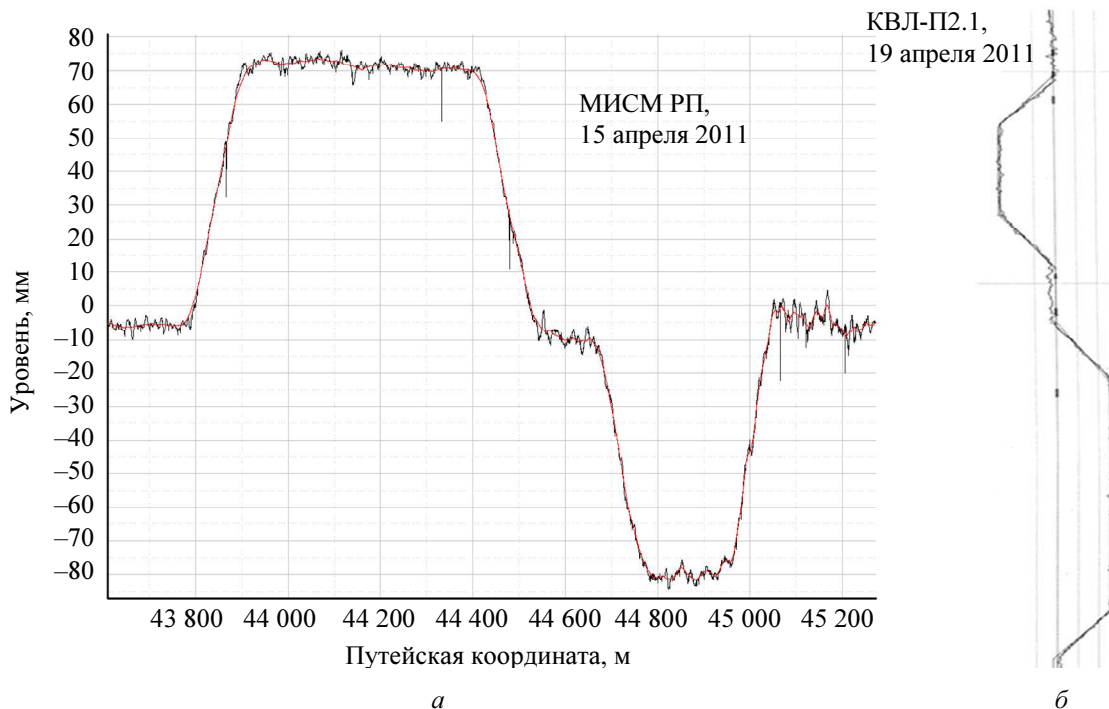


Рис. 11

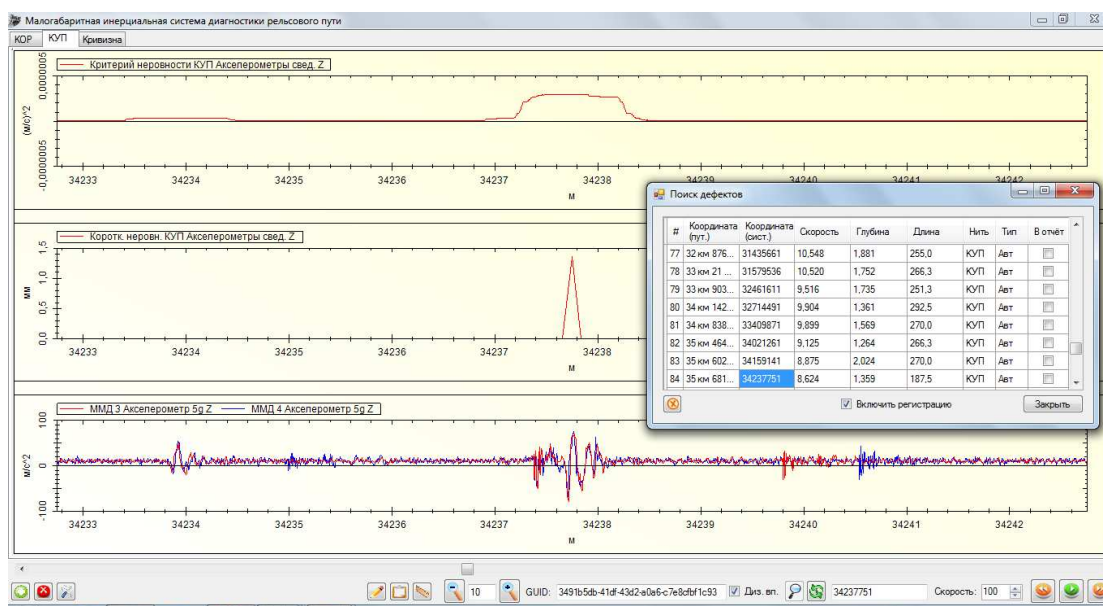


Рис. 12

С целью автоматизации процесса диагностики непосредственно в процессе проезда было разработано специализированное программное обеспечение (СПО), реализующее алгоритм МИСМ РП (см. рис. 9) и выводящее на монитор в виде графика и ведомости результаты измерения геометрических параметров и обнаружения дефектов. В ходе проезда (либо в режиме постобработки) система определяет ударные воздействия на буксы колесных пар тележки вагона, отображающиеся максимумами на верхнем графике рис. 12. При наличии дефекта на среднем графике рис. 12 отобразится условный знак в виде треугольника, высота которого равна глубине неровности A , а основание – ее длине L (см. также рис. 9).

Помимо визуального представления параметров выявленных дефектов на графиках при прохождении участка рельсового пути автоматически формируется ведомость найденных дефектов (см. таблицу на рис. 12).

Таким образом, в статье представлены результаты внедрения МИСМ РП на вагоне-дефектоскопе, дано описание, рассмотрены вопросы установки и юстировки датчиков и подсистем, а также приведены методика определения геометрических параметров рельсовой колеи и алгоритм определения неровностей на поверхности катания рельсов. Достоверность экспериментальных результатов подтверждена высокой степенью сходимости с показаниями штатно эксплуатируемых сегодня специализированных ПВ серии ЦНИИ-4МД и КВЛ-П2.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бороначин А. М., Олейник Л. Н., Филипеня Н. С. Малогабаритная интегрированная система диагностики рельсового пути // Гироскопия и навигация. 2009. № 1 (64). С. 63–74.
2. Разработка малогабаритной интегрированной системы диагностики рельсового пути / А. М. Бороначин, Л. Н. Олейник, А. Н. Ткаченко, Н. С. Филипеня // Навигация и управление движением: Материалы докл. X конф. молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб., 2009 / ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор». СПб., 2009. С. 403–409.
3. Технические указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами путеобследовательскими станциями системы ЦНИИ-4 (ЦПТ-55/22): Утв. МПС 31.08.2000 г. / МПС РФ. М., 2000.
4. Подгорная Л. Н. Разработка и исследование системы диагностики рельсового пути на микромеханических чувствительных элементах: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.

A. M. Boronachin, E. D. Bochman, D. Y. Larionov, L. N. Podgornaya, R. V. Shalymov

THE MOBILE INERTIAL SYSTEM OF MONITORING OF A RAIL WAY

Results of introduction of mobile inertial system of diagnostics of a rail way (MISM RW) on the car-defektoscope are surveyed. The system structure is described. Questions of calibration and the equipment of subsystems of MISM RW are considered. The processing method of indications of MISM RW for definition of geometrical parameters of a rail way and for diagnostics of vertical roughnesses of a surface of a rail is described. Results experimental travels systems as a part of the car-defectoscope are resulted.

Diagnostics of a rail way, BINS, MISM RW, geometrical parametres of a rail track, defects of rails, accelerometer

УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

ВХОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПЕДАНС ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В ЖИДКОСТЬ

Рассмотрена пьезопластина с демпфером и согласующим слоем, нагруженная на водную среду. На основе применения аппарата эквивалентных схем пьезопреобразователей получены выражения, определяющие модуль и фазу входного электрического импеданса излучателя указанного типа. Для одного из частных случаев (для пластины с демпфером) проведены расчеты частотных зависимостей модуля и фазы входного электрического импеданса преобразователя при различной степени демпфирования активного элемента. Прослежена их взаимосвязь с формой частотных характеристик акустической мощности, излучаемой преобразователем.

Представленные результаты могут быть полезны при решении задачи согласования излучателя с возбуждающим генератором.

Электрический импеданс, электрический генератор, пьезокерамическая пластина, демпфер, согласующий слой, частотная характеристика

При разработке акустической аппаратуры различного назначения часто встает вопрос о необходимости согласования излучающего преобразователя с возбуждающим его

электрическим генератором. Невыполнение этого условия влечет за собой отсутствие возможности эффективного излучения акустической энергии в исследуемую среду. Особенно остро данная задача встает при использовании широкополосных преобразователей, например в случаях, когда расширение полосы пропускания достигается за счет применения демпфирования активного элемента, а также использованием согласующих четверть-волновых слоев. Достичь условий, при которых преобразователь во всей полосе пропускания хорошо согласован с электрическим генератором, можно различными путями. В частности, можно стремиться приблизить электрические характеристики излучателя (модуль и фазу входного электрического импеданса) к аналогичным характеристикам выходного электрического сопротивления генератора. Однако регулировка электрических параметров преобразователей часто невозможна. В связи с этим более удобным представляется другой способ решения задачи, который состоит в изучении входных электрических характеристик преобразователя в широком частотном диапазоне и установлении их взаимосвязи с частотными характеристиками излучаемой акустической мощности. Полученную информацию в дальнейшем можно использовать при проектировании возбуждающего электрического генератора, способного обеспечить частотные зависимости модуля и фазы выходного электрического импеданса, близкие к входным электрическим характеристикам преобразователя, при которых он имел бы в режиме излучения требуемую форму частотной характеристики.

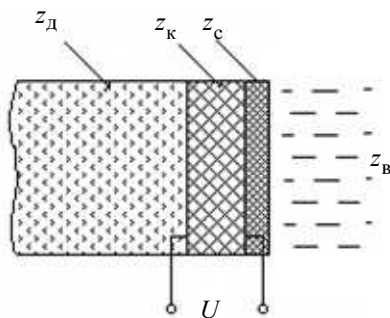


Рис. 1

Задача решается в следующей постановке. Рассматривается общий случай (рис. 1), когда одновременно присутствуют демпфер на тыльной стороне пьезопластины и согласующий слой, располагающийся между рабочей гранью пьезопластины и внешней средой. Здесь $z_в, z_с, z_к$ и $z_д$ — удельные акустические сопротивления воды, согласующего слоя, пьезокерамики и демпфера соответственно. К электродам пьезопластины приложено гармоническое электрическое напряжение $U = U_m e^{j\omega t}$. Задача сводится к определению частотных характеристик входного электрического сопротивления преобразователя.

Для решения поставленной задачи воспользуемся методом электрических схем-аналогов электроакустических преобразователей. Излучателю, представленному на рис. 1, соответствует электрическая схема-аналог, изображенная на рис. 2. Введем следующие обозначения:

$Z_в = z_в S$, $Z_д = z_д S$, $Z_к = z_к S$ (S — площадь поперечного сечения); $k_к = \frac{\omega}{c_к}$, $k_с = \frac{\omega}{c_с}$ ($c_к$ — скорость звука в пьезокерамике, $c_с$ — скорость звука в материале слоя); $l_к$ — толщина пьезокерамики; $l_с$ — толщина слоя; $k_U = \frac{e_{33} S}{l_к}$ — коэффициент электромеханической трансформации (e_{33} — пьезопостоянная); $C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{33}^u S}{l_к}$ — электрическая емкость механически заторможенной пластины, где ϵ_0 — электрическая постоянная ($\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); ϵ_{33}^u — диэлектрическая постоянная пьезокерамики при постоянной деформации. Запишем также выражения для

скоростей звука: $c_k = \sqrt{\frac{c_{33}^D}{\rho_k}}$, $c_c = \sqrt{\frac{c_{33}}{\rho_c}}$, где c_{33}^D – элемент матрицы жесткостей пьезоке-
рамики при постоянной электрической индукции D ; c_{33} – жесткость материала слоя.

Схему на рис. 2 можно упростить, если согласующий слой, нагруженный на сопро-
тивление Z_B , заменить его входным механическим сопротивлением Z_H со стороны линии
 $a-a$. Известна следующая формула:

$$Z_H = Z_c \frac{z_B \cos(k_c l_c) + j z_c \sin(k_c l_c)}{z_c \cos(k_c l_c) + j z_B \sin(k_c l_c)}.$$

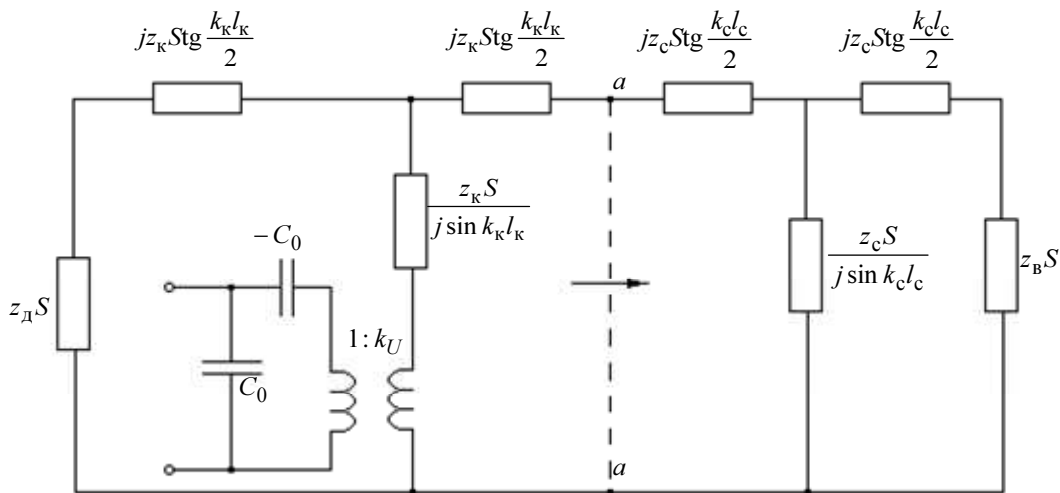


Рис. 2

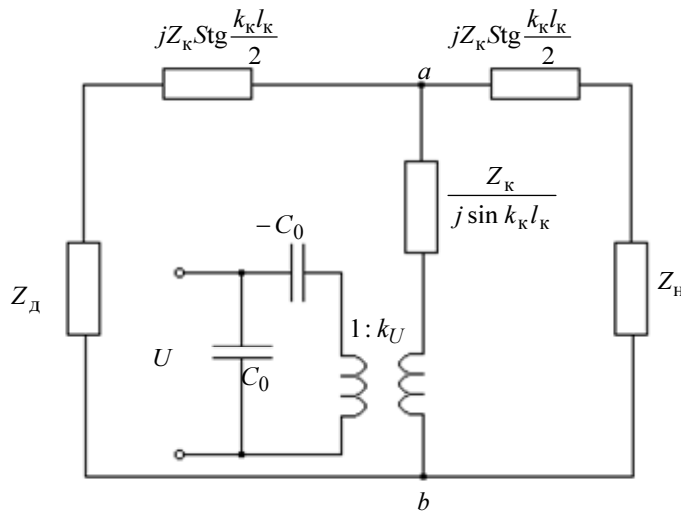


Рис. 3

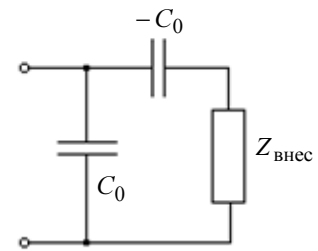


Рис. 4

Тогда схема, изображенная на рис. 2, примет вид, представленный на рис. 3. Найдем
общее сопротивление Z_{ab} левой и правой частей схемы, подключенных к точкам a и b .
Далее найдем импеданс, подключенный к концам вторичной обмотки трансформатора.
Это последовательное соединение сопротивлений Z_{ab} и $\frac{Z_k}{j \sin(k_k l_k)}$. Обозначим этот им-
педанс через Z_M . После преобразований получаем

$$Z_M = \frac{(Z_H Z_D + Z_K^2) \sin x - j Z_K (Z_D + Z_H) \cos x}{j 2 Z_K (1 - \cos x) + (Z_D + Z_H) \sin x},$$

где $x = k_K l_K$.

Механическое сопротивление Z_M пересчитаем в электрический контур: $Z_{\text{внес}} = Z_M / k_U^2$, где $Z_{\text{внес}}$ – внесенное сопротивление. Тогда схема для определения входного электрического сопротивления примет вид, представленный на рис. 4.

Входное электрическое сопротивление, нормированное к значению емкостного сопротивления $\frac{1}{\omega_0 C_0}$ на частоте антирезонанса ω_0 , примет следующий вид:

$$\frac{Z_{\text{вх}}}{\left(\frac{1}{\omega_0 C_0}\right)} = \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \cdot \frac{\beta^2}{\pi} \cdot \frac{Z_K}{Z_M}.$$

Здесь $\gamma = \omega / \omega_0$; $\beta^2 = \frac{e_{33}^2}{\epsilon_0 \epsilon_{33}^u c_{33}^D}$ – квадрат коэффициента электромеханической связи.

Из общей формулы для $Z_{\text{вх}}$ можно получить частные случаи. Если положить $Z_D = 0$, получим $Z_{\text{вх}}$ для пьезопластины с согласующим слоем, а если положить волновую толщину слоя $k_c l_c = 0$, получим $Z_{\text{вх}}$ для пьезопластины с демпфером. Объединяя оба этих условия, получим $Z_{\text{вх}}$ для пьезопластины без демпфера и согласующего слоя.

В качестве примера расчетных исследований рассмотрим один из возможных частных случаев, когда пластина (ЦТСНВ-1) имеет демпфер, а согласующий слой отсутствует. Общеизвестно, что в этом случае частотная характеристика пластинчатого преобразователя

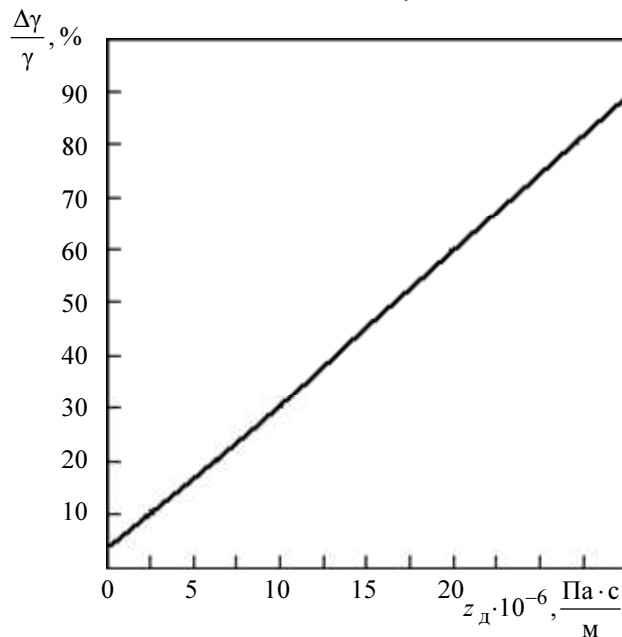


Рис. 5

представляет собой “одногорбую” кривую. Полоса пропускания такого излучателя расширяется по мере увеличения степени демпфирования пьезопластины. Так, на рис. 5 представлена зависимость относительной полосы пропускания $\Delta\gamma/\gamma$ (в процентах) от удельного акустического сопротивления демпфера z_d . Указанная расчетная зависимость была получена в одной из предшествующих работ авторов [см. лит.]. В иммерсионных преобразователях значения z_d обычно не превышают $(8-10)10^6$ Па·с/м. Это значение z_d обеспечивает достаточно хорошее демпфирование пластины, и, кроме того, для его достижения не требуется из-

лишне сложных технологий изготовления демпфера. На рис. 5 диапазон изменения z_d весьма широк – от случая отсутствия демпфера ($z_d = 0$) до $z_d = 30 \cdot 10^6$ Па·с/м, что объясняется желанием авторов показать тенденцию изменения полосы пропускания $\Delta\gamma/\gamma$ при увеличении z_d . Можно видеть, что относительная полоса изменяется от единиц процентов ($\Delta\gamma/\gamma \approx 5\%$) при $z_d = 0$ до $\Delta\gamma/\gamma \approx 87\%$ при $z_d = 30 \cdot 10^6$ Па·с/м.

На рис. 6 показана зависимость максимальных амплитуд излучаемых сигналов от значений z_d . Стоит отметить, что максимальные амплитуды измеряются в условных (безразмерных) единицах v_{\max} , пропорциональных колебательной скорости в сигнале на выходе излучателя. Данное обстоятельство объясняется решением задачи с точностью до постоянного множителя. На основе представленных результатов можно сделать вывод о том, что в рассматриваемом диапазоне изменения значений z_d амплитуда сигнала уменьшается от $v_{\max} = 5.68$ (при $z_d = 0$) до $v_{\max} = 0.28$ при $z_d = 30 \cdot 10^6$ Па·с/м, т. е. в 20.3 раза.

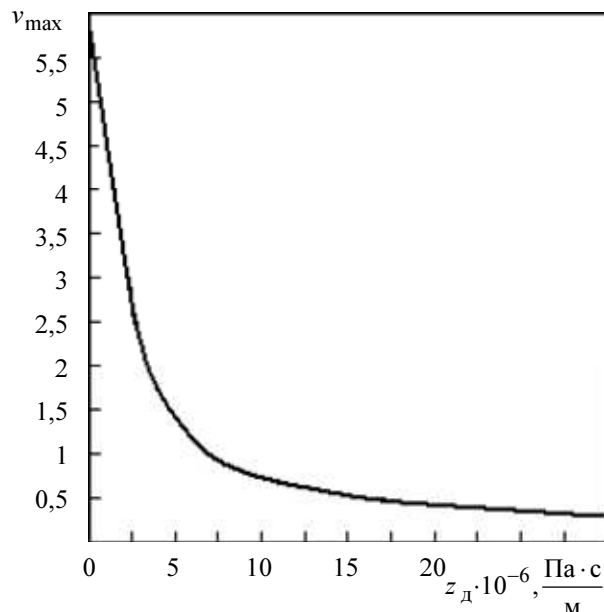


Рис. 6

Перейдем к рассмотрению результатов расчета электрических характеристик исследуемого преобразователя. В качестве таковых выберем нормированный к единице модуль Z и фазу входного электрического сопротивления φ . Интерес представляет рассмотрение указанных характеристик в широком диапазоне частот в зависимости от значений удельного акустического сопротивления демпфера. Такой подход позволит сопоставить полученные результаты с зависимостью относительной полосы пропускания от z_d .

На рис. 7 представлены зависимости нормированного модуля входного электрического сопротивления Z преобразователя от относительной частоты γ при различных значениях z_d . Так, рис. 7, а соответствует случаю, при котором $z_d = 0$, рис. 7, б – $z_d = 3 \cdot 10^6$ Па·с/м, рис. 7, в – $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м и рис. 7, г – $z_d = 25 \cdot 10^6$ Па·с/м. Все 4 кривые построены в широкой полосе относительных частот γ (от $\gamma = 0.5$ до $\gamma = 1.5$). Анализ результатов, представленных на рис. 7, а–г, позволяет утверждать, что изменение значения z_d существенно влияет на форму кривой, описывающей зависимость нормированного модуля электрического сопротивления Z преобразователя от γ . Действительно, при $z_d = 0$ (рис. 7, а) наблюдаются четко выраженные частоты резонанса и антирезонанса излучателя, а также существенный перепад между значениями $Z_{\text{арез}}$ и $Z_{\text{рез}}$, который в данном случае достигает примерно 50 $\left(\frac{Z_{\text{арез}}}{Z_{\text{рез}}} = 50 \right)$. Под значениями $Z_{\text{арез}}$ и $Z_{\text{рез}}$ понимаются значения Z ,

т. е. Z при $\gamma = 1$ и $\gamma = 0.5$ соответственно.

соответствующие частотам антирезонанса и резонанса преобразователя соответственно. Разность частот антирезонанса и резонанса при этом составляет $\Delta\gamma = 0.1$. При $z_d = 3 \cdot 10^6$ Па·с/м, как можно видеть из рис. 7, б, перепад между значениями $Z_{\text{арез}}$ и $Z_{\text{рез}}$ снижается примерно на порядок и составляет $\frac{Z_{\text{арез}}}{Z_{\text{рез}}} = 5$, а $\Delta\gamma = 0.13$. Дальнейший рост z_d до значения $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м влечет за собой уменьшение перепада до 1,7 раза и увеличение $\Delta\gamma$ до значения 0.2 (рис. 7, в). При $z_d = 25 \cdot 10^6$ Па·с/м (рис. 7, г) вообще трудно выделить частоты резонанса и антирезонанса, а также говорить о каком-либо перепаде значений $Z_{\text{арез}}$ и $Z_{\text{рез}}$.

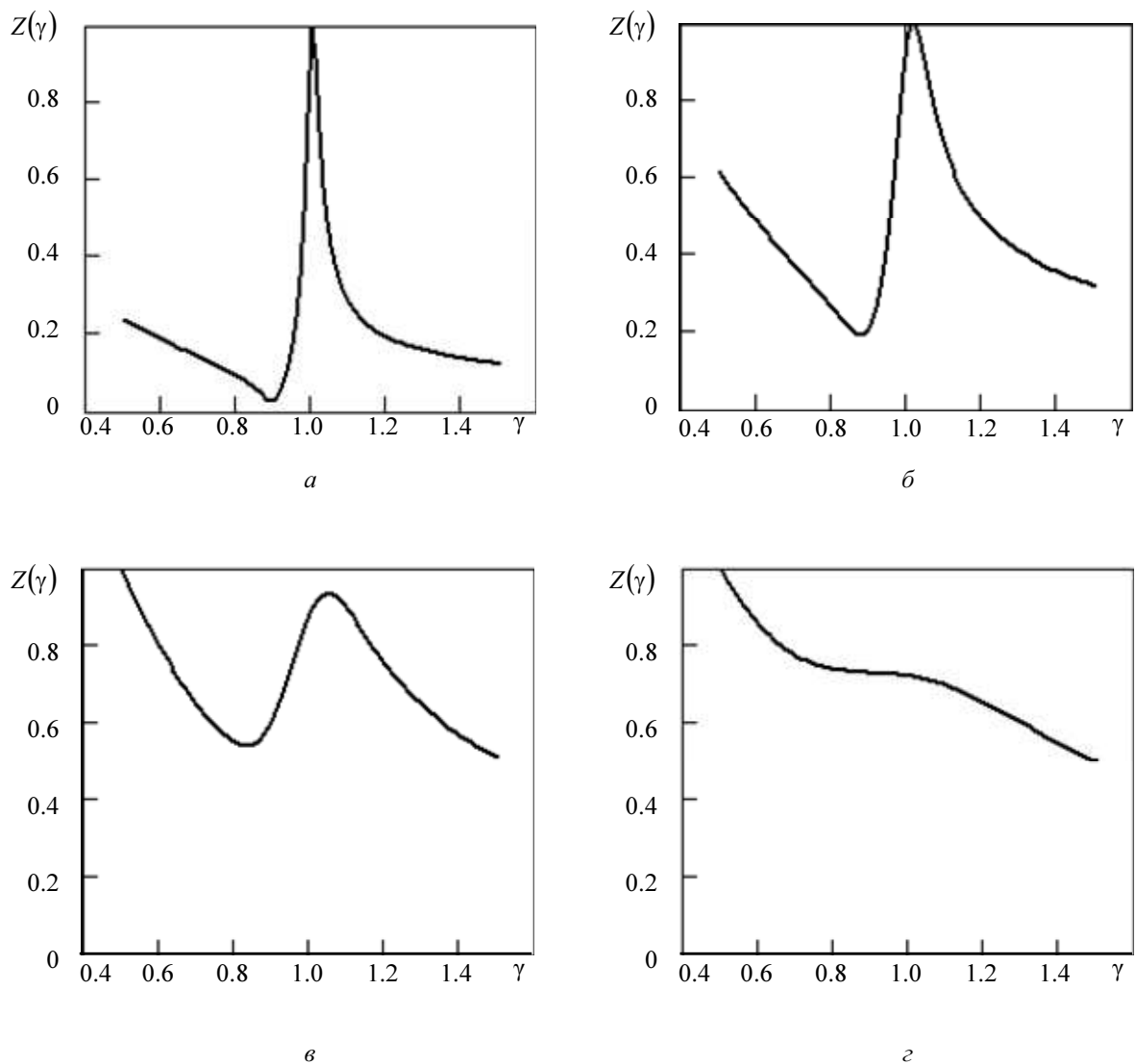


Рис. 7

Интересно сопоставить описанные изменения формы кривой, отражающей зависимость $Z(\gamma)$, со значениями относительной полосы пропускания, которые можно получить из рис. 5: при $z_d = 0$ относительная полоса пропускания $\Delta\gamma/\gamma \approx 5\%$, при $z_d = 3 \cdot 10^6$ Па·с/м она составляет 12%, при $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м значение $\Delta\gamma/\gamma$ уже близко к 30%, а при $z_d = 25 \cdot 10^6$ Па·с/м

полоса пропускания равняется 73 %. Указанный факт свидетельствует о правомерности утверждения о существовании взаимосвязи $Z(\gamma)$ и ширины относительной полосы пропускания преобразователя. Это означает, что необходимая форма частотной характеристики излучателя может быть получена обеспечением определенной формы зависимости $Z(\gamma)$ преобразователя (правда, при этом необходимо еще учитывать и фазу входного электрического сопротивления, что будет отмечено далее). С целью более подробного представления данных, касающихся вида зависимости $Z(\gamma)$, на рис. 8 приведена кривая, отражающая взаимосвязь значений z_d и максимальных значений модуля электрического сопротивления $Z_{\max}(\gamma)$ (с точностью до постоянного множителя, т. е. в условных единицах). Можно видеть, что в области $z_d = (0-10)10^6$ Па·с/м наблюдается резкое снижение максимальных значений модуля электрического сопротивления $Z_{\max}(\gamma)$ (от 5.9 условных единиц при $z_d = 0$ до 1.45 условных единиц при $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м). При $z_d > 10 \cdot 10^6$ Па·с/м представленная кривая остается примерно на одном уровне, близком к 1.45. Положение о взаимосвязи электрических характеристик преобразователя и формы его частотной характеристики может быть корректным лишь в том случае, когда учтены не только зависимости $Z(\gamma)$, но еще и фазовые характеристики φ входного электрического сопротивления. На рис. 9 изображено семейство кривых, отражающих зависимости $\varphi(z_d)$. На рисунке принята следующая нумерация кривых: 1 – $z_d = 0$; 2 – $z_d = 3 \cdot 10^6$ Па·с/м; 3 – $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м; 4 – $z_d = 20 \cdot 10^6$ Па·с/м; 5 – $z_d = 25 \cdot 10^6$ Па·с/м. Из представленных данных следует, что лишь при малых значениях удельного акустического сопротивления демпфера фазовые характеристики φ входного электрического сопротивления преобразователя могут частично находиться в области положительных значений

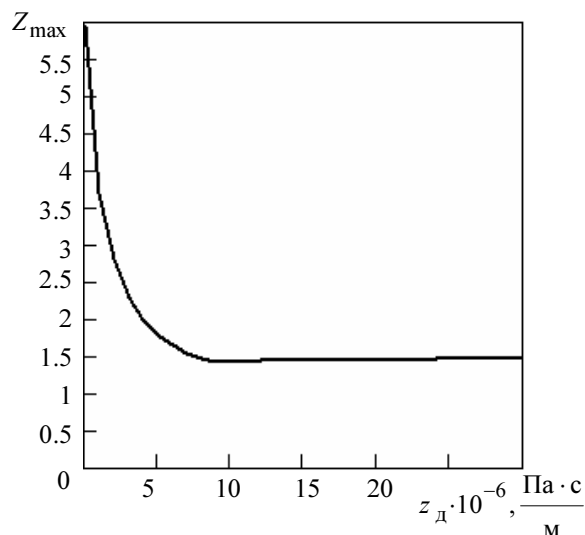


Рис. 8

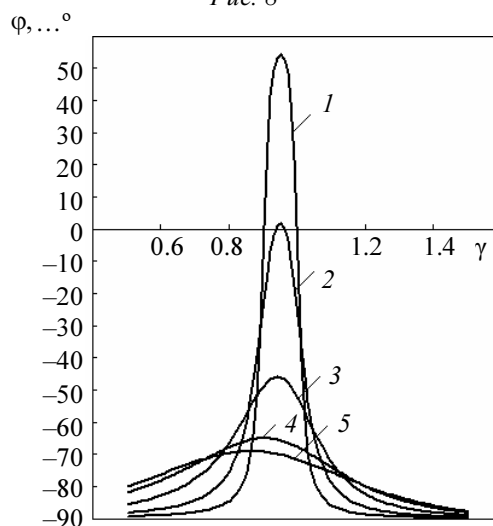


Рис. 9

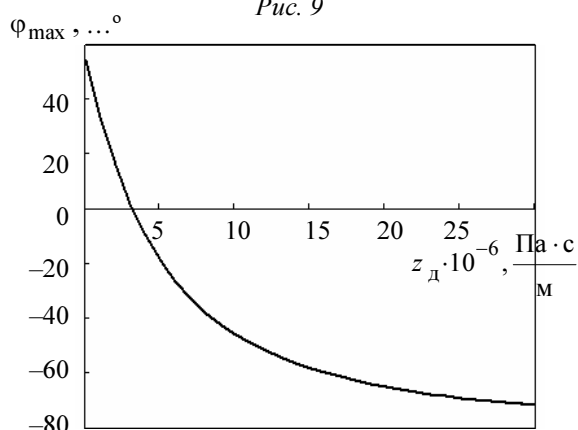


Рис. 10

фазовых характеристик φ входного электрического сопротивления преобразователя могут частично находиться в области положительных значений

углов. Действительно, при $z_d = 0$ (кривая 1) $\varphi_{\max} = 54^\circ$ и при $0.9 \leq \gamma \leq 1,0$ фазовая характеристика входного электрического сопротивления имеет положительные значения углов φ . Увеличение z_d до значения $z_d = 3 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая 2) приводит к тому, что φ_{\max} уменьшается до $\varphi_{\max} = 1.5^\circ$, причем практически вся характеристика $\varphi(\gamma)$ лежит в отрицательной области. Значениям $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая 3) соответствует $\varphi_{\max} = -46^\circ$, $z_d = 20 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая 4) – $\varphi_{\max} = -65^\circ$, а $z_d = 25 \cdot 10^6$ Па·с/м (кривая 5) – $\varphi_{\max} = -69^\circ$. Для удобства на рис. 10 приведена зависимость $\varphi_{\max}(\gamma)$, из которой следует, что $\varphi_{\max} = 0$ при $z_d \approx 3.2 \cdot 10^6$ Па·с/м. Если $z_d > 3.2 \cdot 10^6$ Па·с/м, то вся фазовая характеристика электрического сопротивления преобразователя находится в отрицательной области углов φ .

Таким образом, в настоящей статье на основе использования аппарата эквивалентных схем пьезоэлектрических преобразователей получены аналитические выражения для определения электрических характеристик излучателя в виде нагруженной на воду пьезопластины, имеющей демпфер и согласующий четвертьволновый слой. Для одного из частных случаев (для пластины с демпфером) путем численно-теоретических исследований в широкой полосе относительных частот γ изучена взаимосвязь электрических характеристик и формы частотных характеристик преобразователя. Представленные результаты могут оказаться полезными при проектировании возбуждающего электрического генератора, технически выполненного таким образом, чтобы его выходные электрические параметры соответствовали входным электрическим параметрам преобразователя, необходимым для получения требуемой частотной характеристики. Выполнение данного условия обеспечит хорошее согласование генератора с преобразователем, т. е. эффективную работу системы излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О потенциальных возможностях пьезокерамических преобразователей для излучения и приема коротких импульсов // Дефектоскопия. 1998. № 12. С. 3–7.

S. I. Konovalov, A. G. Kuz'menko

INPUT ELECTRICAL IMPEDANCE OF A BROADBAND TRANSDUCER RADIATING INTO A LIQUID

A piezoplate with a damper and the matching layer, radiating into a liquid, is considered. On the basis of application of the theory of equivalent circuits of piezoelectric transducers the formulas determining the module and the phase of the input electrical impedance of the transducer are obtained. For a particular case of a piezoplate with a damper computations of frequency characteristics of the module and the phase of the input electrical impedance of the transducer in dependence on a degree of damping of a piezoplate are carried out. The correlation between aforesaid characteristics and the frequency response of radiated power is specified.

The results of this work may be used at a solution of a problem of matching a transducer with an electrical generator.

Electrical impedance, electrical generator, piezoceramic plate, the damper, matching layer, frequency characteristic



УДК 574 (07)

И. С. Захаров, А. Г. Казанцева

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ГАЛЬВАНТАКСИСА ИНФУЗОРИЙ ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ВОДНЫХ СРЕД

Описаны математические модели многократно повторяемого гальванотаксиса инфузорий на базе рекуррентного подхода и результаты их экспериментальной проверки.

Гальванотаксис, модель, биотестирование, инфузория, оптика, эксперимент

С середины 1990-х гг. в мире получило развитие направление микробиотестирования, основанного на использовании для контроля в области экотоксикологии организмов малых размеров и малых объемов проб, что позволяет снизить расходы на проведение экологического мониторинга токсичности водных сред. Аппаратурная реализация метода требует разработки математических моделей тест-реакции для обоснования информативности измеряемых величин.

Математические модели для биотестирования предполагают рассмотрение тест-реакции живого как макрокоманды и направлены на выявление аппаратурно измеряемых информативных параметров тест-реакции, отражающих воздействие вредных факторов.

Гальванотаксис инфузорий *P. Caudatum* – скопление популяции у катода под действием разности потенциалов на электродах, опущенных во взвесь с тестируемой пробой, начал применяться для микробиотестирования только с середины 2000-х гг. Первые математические модели тест-реакции описывали образование мутного слоя у катода, перемещения при однократном изменении полярности напряжения и изменения оптических характеристик в безвредной и токсичной среде [1].

Многократное изменение полярности напряжения на электродах дает редкую возможность получения функциональной характеристики воздействия токсических факторов на популяцию инфузорий. Эта тест-реакция, предложенная впервые авторами [2], получила название динамики гальванотаксиса. При этом усложнилось моделирование сигнала, так как требовалось описать изменение числа организмов в зонах кюветы при многократной смене движения популяции от одного электрода к другому.

Методология новых моделей отражена в работе [3] и основана на представлении популяции клеточными автоматами с временным дискретным изменением состояния клеток по заданным правилам, и на рекуррентном характере тест-реакции во времени и пространстве. Однако они не обеспечивали гибкости учета новых факторов и возможности описания оптических сигналов, обусловленных динамикой гальванотаксиса.

Для исследования параметров модели рекуррентные последовательности были реализованы в виде m программных матриц форматом $M [l \times k]$ в приложении Excel, где m – число однополярных этапов реакции; m_{\max} – максимальное число таких этапов; l – количество ячеек, на которые разбивается кювета; k – максимальное количество временных отсчетов внутри однополярной фазы.

Программный метод позволил учесть следующие факторы: n_0 – начальное количество клеток в ячейках; γ – коэффициент преобразования числа частиц в ячейке в оптическую плотность взвеси; α, β – доли перемещающихся клеток при разной полярности напряжения, соответствующих фазам I и II тест-реакции; δ – долю клеток в популяции, способных двигаться против гальванотаксического потока клеток (наблюдение, сделанное В. А. Догелем).

На рис. 1 представлен алгоритм программной модели.

Блок 1 – ввод значений $\gamma, l, k, m, m_{\max}, \alpha, \beta, \delta, n_0$.

Блоки 2, 3 – формирование начальной матрицы значений оптической плотности, где первая строка отражает равномерное распределение клеток в кювете, а вычисления производятся в направлении от первой ячейки к последней по параметру α (за исключением двух последних ячеек, для которых учитывается доля клеток δ) и в направлении от последней ячейки к первой по параметру β по формулам для значений оптической плотности D_{ji} (j – номер ячейки, i – отсчет):

Для анодных ячеек ($j = 1, l$):

фаза I –

$$D_{1i} = \gamma [n_{1(i-1)}(1 - \alpha)]; \quad (1)$$

фаза II –

$$D_{li} = \gamma [n_{l(i-1)}(1 - \beta)]. \quad (2)$$

Для промежуточных ячеек ($j = 2 \dots (l - 2)$):

фаза I –

$$D_{ji} = \gamma [n_{j(i-1)}(1 - \alpha) + n_{(j-1)(i-1)} \alpha]; \quad (3)$$

фаза II –

$$D_{ji} = \gamma [n_{j(i-1)}(1 - \beta) + n_{(j+1)(i-1)} \beta]. \quad (4),$$

Для катодных ячеек ($j = l, 1$):

фаза I –

$$D_{li} = \gamma [n_{l(i-1)}(1 - \delta) + n_{(l-1)i} \alpha]; \quad (5)$$

фаза II –

$$D_{1i} = \gamma [n_{1(i-1)}(1 - \delta) + n_{2i} \beta]. \quad (6)$$

Для ячеек перед катодом ($j = l - 1, 2$):

фаза I –

$$D_{(l-1)i} = \gamma[n_{(l-1)(i-1)}(1-\alpha) + n_{(l-2)(i-1)}\alpha + \delta n_{l(i-1)}]; \quad (7)$$

фаза II –

$$D_{2i} = \gamma[n_{2(i-1)}(1-\beta) + n_{2(i-1)}\beta + \delta n_{1(i-1)}]. \quad (8)$$

Блок 4 – формирование матрицы, аналогичной предыдущей, где вычисление проводится в направлении от первой ячейки к последней по параметру α .

Блок 5 – проверка достижения $m = m_{\max}$?

Блок 6 – формирование гальванотаксического сигнала как единого столбца объединенной матрицы $M[l \times m_{\max} k]$.

Была проведена проверка адекватности модели при описании импульсов в разных частях кюветы при однократном изменении полярности напряжения на электродах.



Рис. 1

Схема организации эксперимента описана в работе [2]. Полярность напряжения на электродах при разных фазах тест-реакции приведена на рис. 2.

Длина внутреннего объема кюветы составляла 45 мм, ширина апертуры оптического канала – 4 мм. Считая толщину электродов равной 0,5 мм и ширину апертуры фотометра – 4 мм, кювета разбивалась на 11 зон оптического контроля в соответствии с числом ячеек в модели (рис. 2).

Адекватность синтезированных модельных сигналов экспериментальным исследовалась на основе корреляционного (r) и дисперсионных (F) критериев (табл. 1). Параметры модели следующие: $n_0 = 272$ кл. (что соответствует при объеме взвеси 2 мл концентрации 1500 кл/мл); $\gamma = 1,1 \times 10^{-5}$; $m = 60$; $\alpha = \beta = 0,2$; $\delta = 0,015$; $m_{\max} = 1$.

В табл. 1 приведены формулы для модельных сигналов оптических зон и соответствие им реальных сигналов, измеренных с использованием спектрофотометра.

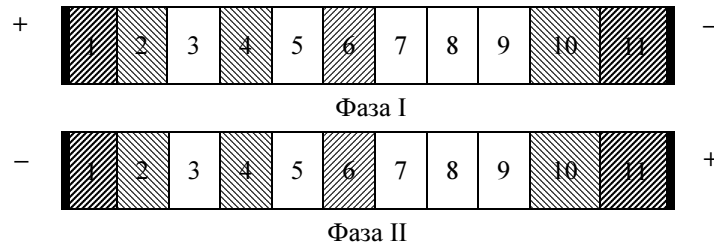


Рис. 2

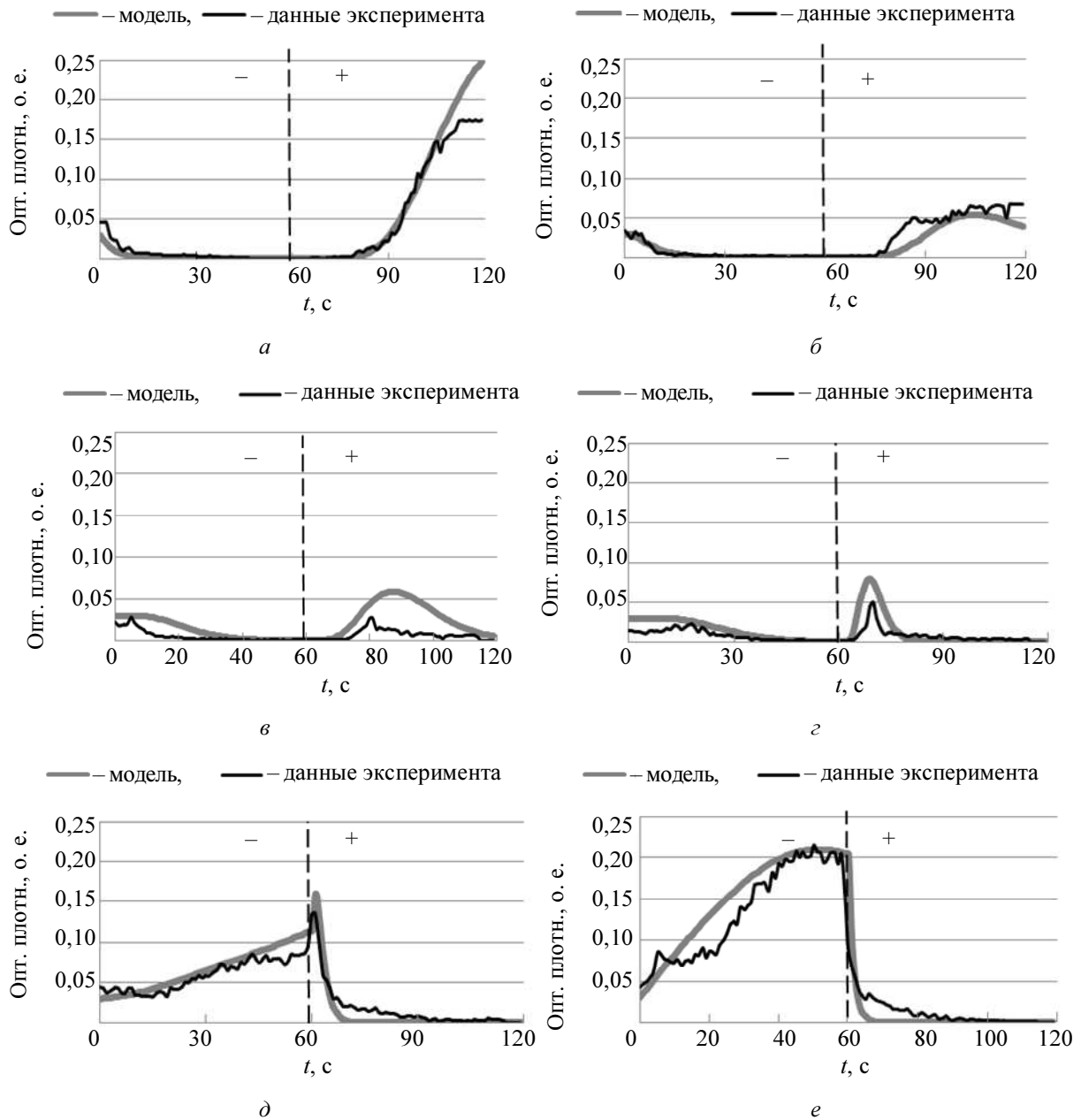


Рис. 3

Эксперименты показали, что при помощи модели можно описать сигналы в зонах вблизи электродов и в приэлектродных зонах. Сигналы зон центральных ячеек в эксперименте отличаются от модели наличием более острых пиков, что можно трактовать как особенности самоорганизации слоя инфузорий.

Было проведено моделирование сигналов в той же протяженной кювете, разбитой на 11 зон контроля, но при многократном переключении полярности электродов, и экспери-

ментальные исследования сигналов в зонах, одна из которых расположена по центру кюветы на одинаковом расстоянии от электродов, вторая – разноудалена от них (зоны 6, 8).

На рис. 4–6 представлены графики измеренных сигналов и их модели (1 отсч. = 0,6 с). При моделировании за счет массивов значений α и β подбирали форму импульсов и за счет подстройки координат оси отсчетов синхронизировали импульсы на модели и в опыте. Был сделан вывод, что при этом первые значения α и β должны быть меньше остальных, чтобы описать эффект стресса [2]. На модели было показано, что этот эффект обуславливает возрастание амплитуды последующих сигналов.

Таблица 1

Зона	Расположение		Формула для функции сигнала		Рисунок	Модель-сигнал, r	Модель-сигнал, F	$F_{кр}$
	Фаза I	Фаза II	Фаза I	Фаза II				
1	Анодная	Катодная	(1)	(5)	3, а	0,98	0,08	3,88
2	Перед анодом	Перед катодом	(3)	(8)	3, б	0,95	4,27	3,88
4	Перед центром	После центра	(3)	(4)	3, в	0,72	59,41	3,88
6	Центральная	Центральная	(3)	(4)	3, г	0,86	7,75	3,88
10	Перед катодом	Перед анодом	(7)	(4)	3, д	0,97	0,02	3,88
11	Катодная	Анодная	(5)	(6)	3, е	0,97	0,30	3,88

В результате моделирования процесса гальванотаксиса в протяженной кювете был сделан вывод о том, что в безвредной среде с каждым новым переключением полярности напряжения все большая доля клеток вовлекается в процесс гальванотаксиса (значения α и β в модели, описывающей сигналы, задавались с возрастающим трендом от 0,15 до 0,4).

Было показано, что при измерении сигналов в центральной зоне кюветы наблюдается последовательность импульсов одинаковой формы с возрастающей амплитудой и удвоенной частотой (рис. 4, где ряд 1 – опыт, ряд 2 – модель). При измерении сигналов в зонах кюветы, смещенных относительно электродов, образовывались две смещенных во времени последовательности импульсов с разной крутизной спада и увеличивающимися амплитудами (рис. 5). Аналогичный результат был получен на модели (рис. 6), однако синхронизация сигналов в модели и в опыте была затруднена из-за необходимости учета величины смещения зоны контроля относительно центра. Модель позволила дать только качественный прогноз формы сигналов.

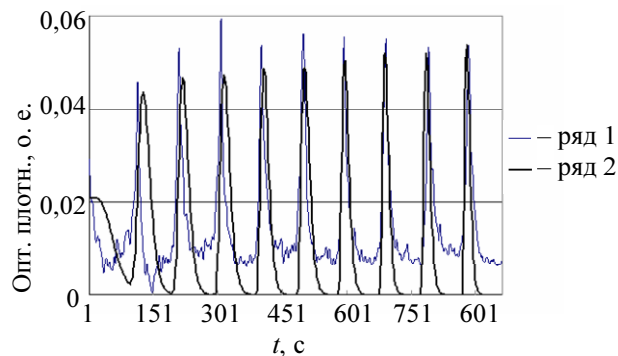


Рис. 4

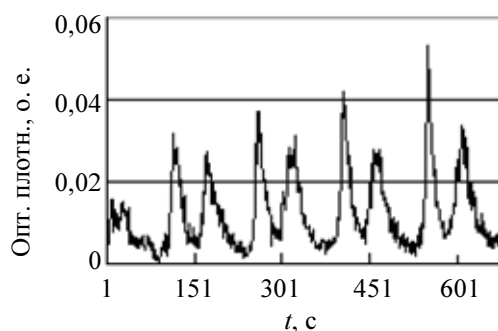


Рис. 5

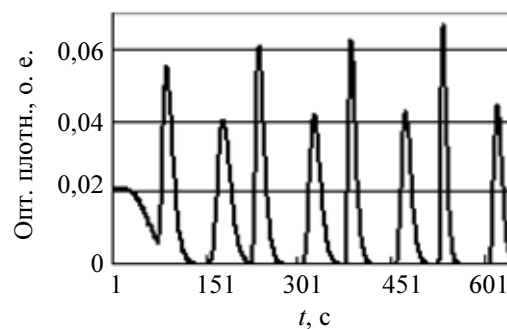


Рис. 6

На модели и в опытах была подтверждена гипотеза об изменении формы и амплитуды сигнала при смещении зоны контроля относительно центра кюветы, и был сделан вывод о предпочтительности контроля сигнала вблизи электродов.

Для исследования факторов, влияющих на оптические сигналы динамики гальванотаксиса инфузорий в электродной зоне в стандартной вертикальной фотометрической кювете, модель была адаптирована под изменившиеся условия эксперимента и состояла из 5 зон контроля. Количество отсчетов было также уменьшено.

При моделировании (рис. 7) удалось добиться высокой синхронности и согласования формы и величины амплитуд модельных и опытных сигналов ($r = 0,92$, $F = 1,74$, $F_{кр} = 3,88$). Сходными были тренды огибающих импульсов: полиномы третьего порядка ($R^2 = 0,99$) и логарифмические тренды ($R^2 = 0,93$ – модель; $R^2 = 0,97$ – опыт).

В результате разработки моделей, основанных на концепции клеточных автоматов, впервые стало возможным моделировать оптические сигналы, возникающие при перемещении взвеси инфузорий под действием многократно меняющегося по полярности электрического поля в разных кюветах и при разных условиях съема данных.

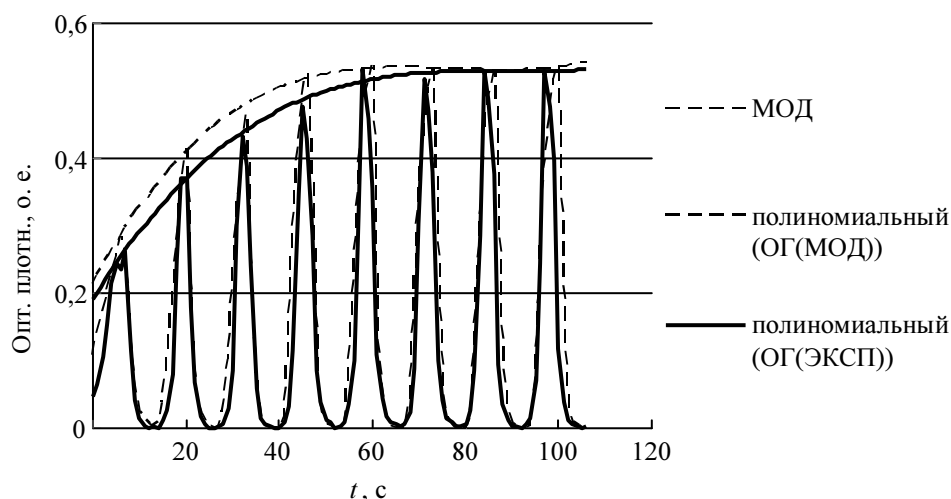


Рис. 7

Применение моделирования позволило определить набор величин и правил, позволяющих описать перемещение взвеси инфузорий по кювете, произвести идентификацию контролируемых оптических сигналов в разных зонах кюветы, выявить наиболее удобно идентифицируемые, объяснить причины их изменения. Были промоделированы эффекты стресса, уплотнения слоя инфузорий при многократном переключении полярности, получены зависимости, описывающие эти процессы.

Все это создало базу для научного исследования новой биотестовой реакции и ее практического применения для контроля токсичности водных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратурно регистрируемые характеристики и математическая модель гальванотаксического сигнала / И. С. Захаров, А. С. Ковалевская, А. Г. Казанцева и др. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2006. Вып. 1. С. 52–57.
2. Захаров И. С., Казанцева А. Г. Теоретические основы метода контроля токсичности водных сред с использованием тест-реакции гальванотаксиса инфузорий // Изв. ЮФУ, Технические науки, Тематич. вып. «Медицинские информационные системы». 2010. Вып. 9 (110). С. 122–126.

3. Захаров И. С., Казанцева А. Г. Рекуррентная модель гальванотаксиса для приборов контроля токсичности водных сред // Изв. ЮФУ, Технические науки, Тематич. вып. «Перспективы медицинского приборостроения» 2009. Вып. 10 (99). С. 214–217.

I. S. Zakharov, A. G. Kazantzeva

DEVELOPING AND VERIFICATION OF MATHEMATIC MODELS OF INFUSORIA'S DYNAMIC GALVANO-TAXIS FOR WATER BIOASSAY

Mathematic models of multi-galvanotaxis of infusoria and their experimental verifications are analyzed. This approach may be used in bioassay devices.

Galvanotaxis, model, bioassay, infusoria, optics, experiment

УДК 615.471:617.7

И. Н. Ландау, Е. П. Попечителев, Е. И. Стома

МЕМБРАННЫЙ КИСЛОРОДНЫЙ ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ АППАРАТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Анализируется работа полярографического датчика кислорода. Предлагаются способы, уменьшающие постоянную времени датчика.

Полярографический датчик кислорода, электролит, мембрана, постоянная времени

Аппаратура искусственной вентиляции легких (ИВЛ) во всем многообразии способов ее технической реализации, включая наркозную функцию – существенная составляющая часть технического оснащения современной медицины.

Содержание кислорода во вдыхаемой газовой смеси является параметром, без которого невозможно проводить даже кратковременную искусственную вентиляцию легких. В то же время без данных о его содержании в выдыхаемой газовой смеси невозможен мониторинг состояния (метаболизма) организма больного. Таким образом, в состав любого современного аппарата ИВЛ должны входить измерители (датчики) кислорода, в функции которых входит не только выдача информации о содержании кислорода, но и формирование сигналов управления системами получения необходимых дыхательных смесей, а также получение вместе с другими параметрами расчетных показателей метаболизма. Существует возможность использования совокупности сигналов устанавливаемых в различных точках дыхательного контура кислородных датчиков для оценки содержания в дыхательной смеси вводимой в нее по медицинским показаниям компоненты. Особый интерес представляет использование такого подхода для измерения в дыхательной смеси концентраций газообразных анестетиков, так как формирование информативного сигнала не будет зависеть от типа используемого анестетика.

Для качественного решения этих задач должны использоваться датчики с достаточно высокими метрологическими характеристиками и в первую очередь с малой постоянной времени (инерционностью измерения). Датчики должны быть просты в эксплуатации и достаточно дешевы, если учитывать грядущую тенденцию перехода к стерильным однократным дыхательным контурам аппаратов. Поэтому обладающие высокой метрологией и малой инерционностью, но дорогие и достаточно сложные масспектрометрические и парамагнитные датчики малоприспособны для указанных целей.

В настоящее время для контроля содержания кислорода в аппаратуре ИВЛ используются электрохимические датчики гальванического типа. Технические и метрологические характеристики этих датчиков очень высоки, однако они имеют невысокий срок службы (до полутора лет) и большую постоянную времени (T_{95}) – от 10 с и более [1]. Появившиеся в последние годы малоинерционные датчики типа UFO-130-2 «Analytical Instruments» [2] и их аналоги имеют постоянную времени порядка 130 мс и срок службы до полутора лет. Низкое значение постоянной времени этих датчиков не всегда достаточно для решения перечисленных задач. Поэтому разработка кислородного датчика с еще меньшей постоянной времени и большим сроком службы актуальна по сегодняшний день.

Рассматриваемые далее технические решения реализуются в датчике с так называемым полярографическим принципом работы (с внешним напряжением поляризации), при использовании которого срок службы датчика практически не ограничен.

Структура полярографического датчика кислорода. Впервые мембранный полярографический кислородный датчик был предложен Кларком [3] еще в середине прошлого столетия. До настоящего времени основные принципы его работы используются в многочисленных модификациях таких кислородных датчиков, по традиции именуемых «датчиками Кларка». В общем случае датчик представляет собой систему из двух погруженных в электролит металлических электродов, отделенных от среды, в которой должен определяться кислород, мембраной, проницаемой для газов и непроницаемой для электролита. К электродам прикладывается внешнее поляризующее напряжение. Кислород диффундирует из среды через мембрану и слой электролита к поверхности поляризующегося электрода (катод) и вступает на ней в электрохимическую реакцию восстановления кислорода [4], [5]. При этом между электродами возникает информативный сигнал, связанный с содержанием кислорода в анализируемой среде.

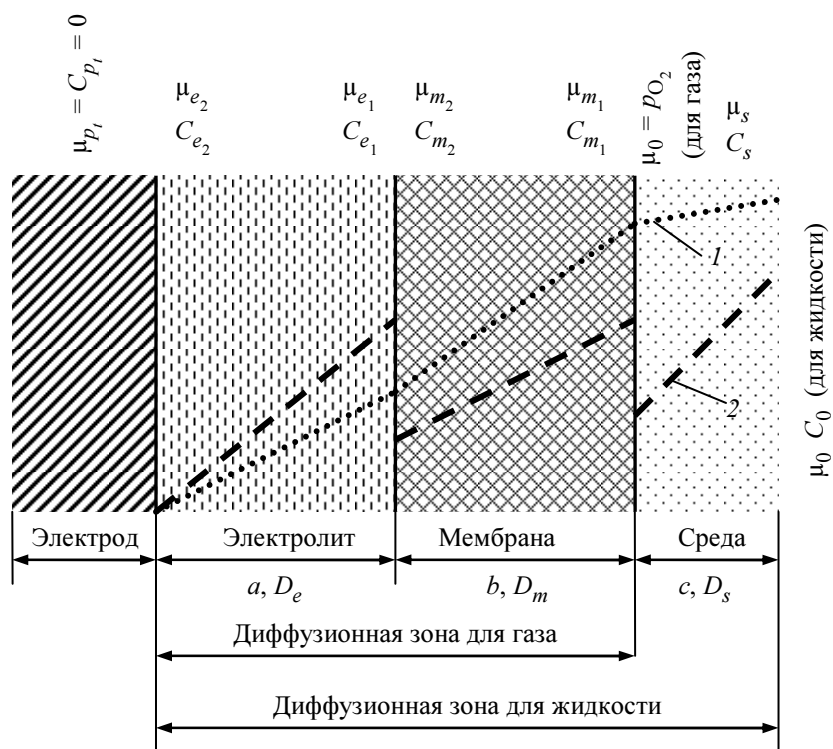


Рис. 1

Схематическое изображение приэлектродной области мембранного кислородного датчика со всеми составляющими диффузионной зоны для случая плоской симметрии диффузионного фронта приведено на рис. 1, где C_0 , C_s , C_m , C_e – концентрация кислорода в среде вне диффузионной зоны, в диффузионном слое среды, в мембране и электролите соответственно; D_s , D_m , D_e – коэффициенты диффузии кислорода в среде, мембране и электролите; c , b , a – толщина диффузионного слоя в среде, толщина мембраны и электролита; l – характер изменения химического потенциала (μ) кислорода в составляющих диффузионной зоны; 2 – характер изменения концентрации (C) кислорода в составляющих диффузионной зоны.

Структура диффузионной области является гетерогенной системой, перенос кислорода в которой должен осуществляться по градиенту его химического потенциала или эквивалентной ему величины парциального давления кислорода (p_{O_2}), если исходить из предположки равенства химических потенциалов в газе и конденсированной среде находящихся в равновесном состоянии, принятой для описания явлений переноса в биологических системах. Поэтому описание процессов переноса в составляющих диффузионной области датчика проводится с помощью первого закона Фика для одномерного случая, квазистационарного режима и записи с использованием градиентов химического потенциала. Учитывая, что датчик предназначается для работы в газовой среде, для которой коэффициент диффузии намного больше, чем его значения в мембране и электролите, из рассмотрения исключается часть диффузионной области, расположенная за пределами мембраны.

Решение системы уравнений переноса с переходом от количества молекул кислорода, вступающих в электрохимическую реакцию на единичной поверхности электрода в единицу времени (векторная величина), к информативному электрическому току датчика (скалярная величина), с учетом 4-электронного характера электрохимической реакции восстановления кислорода и известной рабочей поверхности электрода (S), позволяет получить выражение предельного информативного сигнала датчика в установившемся режиме:

$$I = n/t \cdot 4FS = \frac{4F S p_{O_2}}{a/D_e + b/D_m}, \quad (1)$$

где F – число Фарадея; n/t – поток молекул кислорода к единичной площадке электрода в мольных долях; a , b и D_e , D_m – толщина и коэффициент диффузии кислорода в слое электролита и мембране соответственно.

Датчик кислорода с минимальной постоянной времени. Анализ выражения (1) применительно к формированию сигнала датчика в переходных процессах (при изменении p_{O_2}) показывает, что скорость перехода от одного стационарного состояния к другому (инерционность датчика) уменьшается с уменьшением толщины составляющих диффузионной области и увеличением коэффициента диффузии кислорода в них.

Уменьшение толщины a слоя электролита лимитируется условиями протекания электрохимической реакции. Она минимизируется исключением использования стабилизирующих прокладок и выбором состава электролита, обеспечивающим постоянство этого слоя и надежную электрическую связь между электродами. Коэффициент диффузии кислорода в электролите от его состава зависит весьма незначительно.

С момента появления мембранных кислородных датчиков в качестве электролита использовались растворы различных хлоридов. В состав электролита вводятся также добавки в виде щелочи или соответствующей буферной композиции для увеличения плато на полярограмме и повышения стабильности характеристик датчика, различные добавки со свойствами поверхностно активных веществ для снижения энергетических барьеров на границе фаз, различные загустители (агар-агар, желатин) для повышения вязкости электролита.

Главной причиной изменений характеристик датчика с минимальной толщиной слоя электролита во времени является испарение через мембрану водной составляющей электролита, изменяющее концентрацию его остальных компонентов и в пределе способное привести к снижению электропроводности до минимума приводящего к полному отказу датчика.

Для получения электролита, работающего в тонких слоях, была разработана технология его приготовления, в основе которой лежит принцип минимизации количества водной составляющей при сохранении свойств, обеспечивающих нормальное протекания электрохимических реакций датчика. Используется электролит на основе пропиленгликоля ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$) с минимальным количеством воды, находящейся в электролите в энергетически связанном состоянии, который препятствует ее испарению и содержит необходимые для нормальной работы датчика ионы [1]. Основным элементом технологии изготовления является процесс нагрева смеси исходной композиции (дистиллированная вода – 300 мл, хлористый калий – 15 г, гидроксид калия – 0,5 г, тимол – 0,03 г и хлористое серебро до насыщения) и пропиленгликоля в соотношении 1:1 до температуры 150...160 °С.

В качестве мембран используются пленки из различных полимерных материалов [6], [7]. Для разрабатываемого датчика была выбрана мембрана из фторопласта марки Ф-4МБ производства Санкт-Петербургского объединения «Пластопolyмер» (модификация 2А; ТУ-301-05-73-90), обладающая повышенной газопроницаемостью толщиной 10 мкм. Пленка выполнена из сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом (группа FEP пленок за рубежом) и широко применяется в электротехнике, авиационных и космических технологиях, медицине.

Максимально возможная минимизация толщины слоя электролита и мембраны, а также выбор материала мембраны с высоким коэффициентом диффузии кислорода через нее позволили уменьшить постоянную времени датчика до 3...4 с.

Показания кислородных датчиков обладают температурной зависимостью. Можно предположить, что основным механизмом ее формирования является температурная зависимость коэффициентов диффузии составляющих приэлектродной области.

Проведем приближенный расчет этой зависимости для электролита и мембраны, считая, что мембрана по механизму процессов диффузии близка к конденсированной фазе (жидкости); исходить при этом будем из предпосылки, что коэффициенты диффузии кислорода в мембране и электролите примерно равны, и, следовательно, диффузионная область гомогенна.

Температурную зависимость коэффициента диффузии молекул газа в жидкости можно выразить зависимостью [8]

$$D = B e^{-\omega/kT},$$

где $B = 6^{-1} \delta^2 \nu$, δ – длина свободного пробега молекулы, ν – частота колебательных движений молекулы; ω – энергия активации диффузии; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Используя эти зависимости, определим относительное (в процентах) изменение коэффициента диффузии кислорода в воде (слабый электролит) при изменении температуры на один градус – от 20 ($T_1 = 293 \text{ K}$) до 21 °С ($T_2 = 294 \text{ K}$). Относительный характер определения позволяет исключить из рассмотрения коэффициент B , %:

$$\Delta D = \frac{D_{T_1} - D_{T_2}}{D_{T_1}} 100 = \left[1 - e^{\omega k^{-1}(T_1 \cdot T_2)^{-1}} \right] 100. \quad (2)$$

Энергия активации диффузии молекул кислорода в слабых водных электролитах оценивается величиной порядка 8 кДж/моль [9]. Подставляя в (2) значения k и ω в соответствующих единицах измерения, получим для температурной зависимости коэффициента диффузии значение 6,9 %/°С. Это значение с учетом особенностей механизма массопереноса в мембране согласуется с экспериментальными данными (температурная зависимость показаний реального датчика порядка 4 %/°С).

Таким образом, наблюдаемое увеличение информативного сигнала датчика при его нагреве должно сопровождаться уменьшением его постоянной времени. При нагреве датчика на 25 °С (от комнатной до температуры 45 °С) сигнал увеличивается в два раза, в такой же пропорции должна уменьшиться инерционность измерения. Поэтому одним из путей существенного снижения постоянной времени датчика служит нагрев его приэлектродной зоны. При этом, если нагрев осуществляется в режиме термостатирования и нагреву подвергается весь корпус датчика, пропадает необходимость в принятии специальных мер по компенсации его температурной зависимости и исчезает дополнительная погрешность, связанная с реализацией схемного решения такой компенсации.

Введение в датчик системы нагрева с термостабилизацией его приэлектродной области при 45 °С дополнительно снизили постоянную времени до 1,5...2 с. На этом возможности снижения инерционности путем изменения геометрических параметров и свойств составляющих приэлектродной области оказались исчерпанными. Дальнейшее снижение постоянной времени датчика возможно путем применения специальных схемотехнических решений при обработке его информативного сигнала.

Рассмотрим принципы решения такой задачи. Изменение во времени выходного сигнала измерителя с линейной градуировочной характеристикой на ступенчатое изменение измеряемого параметра (допустим от 0 до $U_{t_{\max}}$) определяется выражением [10]

$$U_t = U_{t_{\max}} (1 - e^{-kt}), \quad (3)$$

где k – постоянная характеризующая инерционность измерителя.

Дифференциал от этого выражения характеризует скорость изменения выходного сигнала во времени

$$dU_t/dt = -U_{t_{\max}} k e^{-kt}. \quad (4)$$

Если этот сигнал проинвертировать, то на выходе инвертора получим

$$dU_t/dt = U_{t_{\max}} K_i k e^{-kt} = U_{dt}, \quad (5)$$

где K_i – коэффициент преобразования инвертора.

Сложив (3) и (5), получим

$$U_{\Sigma} = U_t + U_{dt} = U_{t_{\max}} (1 - e^{-kt}) + U_{t_{\max}} K_i k e^{-kt}$$

или

$$U_{\Sigma} = U_{t_{\max}} + U_{t_{\max}} (K_i k - 1) e^{-kt}. \quad (6)$$

Если выбрать коэффициент преобразования инвертора $K_i = 1/k$, то получим $U_{\Sigma} = U_{t_{\max}}$.

Следовательно, измеритель, осуществляющий такую обработку сигнала датчика, теоретически будет обладать нулевой постоянной времени (при условии строго экспоненциального характера переходных процессов). Реальный датчик не имеет такой зависимости, что требует для качественного преобразования сигнала соответствующей корректировки алгоритма его обработки.

Возможны различные пути реализации рассмотренного алгоритма: с помощью аналоговой техники, включая аналоговые дифференциаторы, и с использованием возможностей микропроцессоров.

Согласно теории работы дифференциатора ток заряда конденсатора (I_C) описывается выражением $I_C = -C \frac{dU_C}{dt}$, но $|I_C| = |I_R|$ и, соответственно, $U_{\text{ВЫХ}} = -I_R R$, т. е.

$$U_{\text{ВЫХ}} = -RC \frac{dU_C}{dt}, \quad (7)$$

где RC – постоянная времени дифференциатора.

Блок-схема решения, последовательно осуществляющего все стадии алгоритма компенсации инерционности датчика с дифференцированием его сигнала непосредственно, изображена на рис. 2, где 1 – датчик O_2 ; 2 – первичный усилитель; 3 – дифференциатор-инвертор; 4 – масштабирующий усилитель инвертор; 5 – сумматор – выходной усилитель.

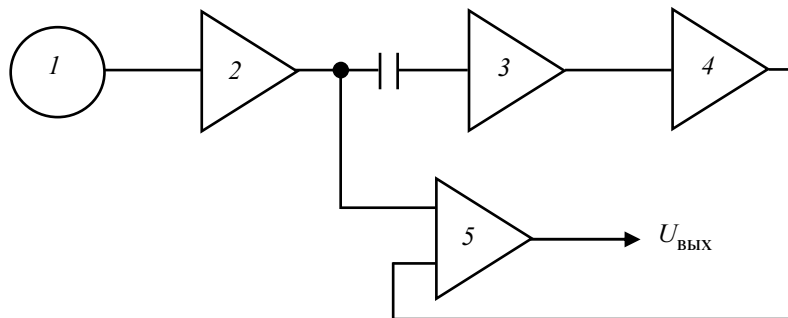


Рис. 2

Приведенное решение позволяет надежно сократить постоянную времени в несколько раз. Однако дальнейшее уменьшение приводит к росту флуктуационных явлений в схеме, снижает ее помехозащищенность и требует для своей реализации неоправданного усложнения схемных решений с дискретизацией выходного сигнала и использованием узлов выборки-хранения информации.

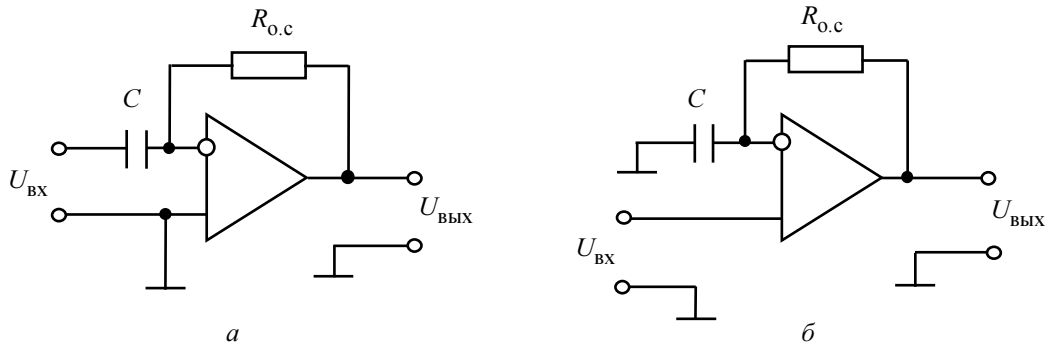


Рис. 3

Для еще большего снижения постоянной времени датчика предлагается способ преобразования электрической схемы дифференциатора-инвертора (рис. 3, а) в компенсатор инерционности (рис. 3, б). Для этого входной сигнал подается не на инвертирующий вход операционного усилителя (ОУ), а на неинвертирующий относительно общего контакта, что приводит к изменению знака производной и добавляет к сигналу дополнительную составляющую (отражаемую в виде коэффициента $A = 1 + R_{о.с}/R_{вх}$, где $R_{о.с}$ – сопротивление в цепи обратной связи). При этом изменение выходного сигнала компенсатора для переходного процесса при увеличении входного сигнала

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_{о.с}C \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} + AU_{\text{ВХ}}. \quad (8)$$

Если значение $R_{о.с}$ в цепи обратной связи компенсатора не превышает 1 МОм, то при входном сопротивлении ОУ $R_{вх} \geq 10^{10}$ Ом, $A = 1$ с точностью до четырех знаков.

Продифференцировав выражение (3) и заменяя U_t на $U_{\text{ВЫХ}}$, а $U_{t_{\text{max}}}$ на $U_{\text{ВХ}}$, получим, с учетом условий инвертирования сигнала и принимая $A = 1$, выражение для выходного сигнала компенсатора инерционности:

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_{о.с}CU_{\text{ВХ}}ke^{-kt} + U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВХ}}e^{-kt}.$$

Выбирая $R_{о.с}C = 1/k$, теоретически можно уменьшить постоянную времени датчика до нуля. Выбор режима компенсации осуществляется переменным резистором $R_{о.с}$ при заранее выбранном постоянном C . В реальном исполнении компенсатора уменьшение постоянной времени ограничено условиями помехоустойчивости схемы. Это ограничение может быть снято при использовании возможностей микропроцессорной обработки сигнала.

Таким образом, исходными предпосылками снижения инерционности полярографического кислородного датчика являются достаточно низкая базовая постоянная времени (не более 3 с), работа датчика в режиме нагрева и термостатирования при 45 °С и использование специальной схемотехнической обработки его информативного сигнала, что позволяет уменьшить постоянную времени (T_{95}) до значения 30 мс. Все эти меры позволяют технически реализовать датчик кислорода с хорошими метрологическими характеристиками, не уступающий зарубежным аналогам, а также пригодный для использования в системе контроля газовой смеси наркозно – дыхательного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник. М.: Техносфера, 2005.

2. Чилая С. М., Ландау И. Н. Po₂-мониторинг. Инженерные решения и кардиохирургические опыты / Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1987.
3. Clark L. C. Monitor and control of blood and tissue oxygen tensions // Am. Soc. Artifice Intern. Organs. 1956. Vol. 2. P. 41–45.
4. Багоцкий В. С., Некрасов Л. Н., Шумилова Н. А. Электрохимическое восстановление кислорода // Успехи химии. 1965. Т. 34, № 9. С. 1697–1720.
5. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А. Основы теоретической электрохимии. М.: Высш. шк., 1978. С. 113–184.
6. Crank J., Park G. Diffusion in Polymer // Acad. Pres. London. 1968.
7. Brandrup J., Immergux E. Polymer Handbook // Interscience publishens. New York, 1966.
8. Фторопласты 4МБ и 4МБ2 – свойства и применение // Полимерные материалы. 2004. № 8 В. 63.
9. Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991.
10. Новицкий П. В. Электрические измерения неэлектрических величин. М.: Энергия. 1975.

I. N. Landau, E. P. Popechitelev, E. I. Stoma

MEMBRANE POLAROGRAPHIC OXYGEN SENSOR APPARATUS FOR ARTIFICIAL RESPIRATION

The work of the polarographic gage of oxygen is analyzed. The methods reducing a constant of time of the sensor are offered.

Polarographic oxygen sensor, electrolyte, membrane, time constant



УДК 681.20; 547.47

*В. В. Алексеев, П. Г. Королев, В. С. Коновалова,
К. О. Комшилова, И. В. Калякин*

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЛОКАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ» НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Рассмотрен цикл лабораторных работ для магистерской подготовки. Лабораторные работы направлены на изучение построения современных программируемых измерительных систем, которые широко применяются в научно-исследовательской и практической деятельности специалистов. Лабораторные работы организованы как учебно-научный практикум.

Лабораторные работы, приборостроение, WAGO, микроконтроллер

В высших учебных заведениях России всегда уделялось самое пристальное внимание повышению уровня подготовки выпускников. Особую актуальность эта задача приобретает в настоящее время, характеризующееся переходом высшей школы на двухуровневую систему подготовки. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) определяет совокупность требований при реализации основных образовательных программ магистратуры по направлению подготовки 200100 «Приборостроение». В соответствии с этим документом область профессиональной деятельности магистров включает в себя: исследования, разработки и технологии, направленные на развитие теории, производство и применение приборов и систем, предназначенных для получения, регистрации и обработки информации об окружающей среде, технических и биологических объектах. Выпускник магистратуры по данному направлению подготовки должен быть готов к различным видам профессиональной деятельности: проектной, производственно-технологической, научно-исследовательской и организационно-управленческой [1]. Очевидно, что успешное решение перечисленных задач невозможно без соответствующей методической поддержки, одной из важнейших составляющих которой является разработка лабораторного практикума по ряду дисциплин, входящих в учебные планы подготовки магистров направления 200100 «Приборостроение».

Часть магистрантов, проходящих обучение на кафедре информационно-измерительных систем и технологий (ИИСТ) Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), получают образование по магистерской программе 200146.68 «Локальные измерительно-вычислительные системы» (учебный план № 786). Одноименная дисциплина является одной из основных при подготовке будущих магистров. Она подразумевает прохождение студентами лабораторного практикума. Силами кафедры ИИСТ была осуществлена разработка и постановка лабораторных работ по данной дисциплине, включая подготовку методических указаний по их выполнению [2], [3]. Некоторые результаты проведенной учебно-методической работы предлагаются читателю в настоящей статье.

Успешное изучение вышеназванной дисциплины подразумевает освоение программы WAGO-I/O-PRO 32. Проработка теории осуществляется студентами в часы, предусмотренные для самостоятельных занятий. Закрепление теоретических знаний и получение практических навыков работы с программой достигается магистрантами при выполнении ряда лабораторных заданий, которые сформулированы с учетом некоторых особенностей программы WAGO-I/O-PRO 32. Данные лабораторные работы направлены на изучение принципов построения программируемых измерительных и управляющих систем, построенных на базе модулей ввода и вывода дискретных сигналов, модулей аналогового ввода (АЦП разного вида), модулей аналогового вывода (ЦАП) средств автоматизации WAGO. В них рассматриваются принципы построения программируемых каналов для измерения физических величин, выработки управляющих сигналов, организации калибровки используемых средств измерений, основы программирования основных режимов работы измерительных каналов. При подготовке к каждой из лабораторных работ студенты должны четко представлять, что компактные и локальные измерительно-вычислительные устройства строятся на базе контроллеров.

Контроллер – это микропроцессорное устройство, на основе которого строится программно-управляемый дискретный автомат. Контроллер обменивается информацией с модулями ввода-вывода по интерфейсу в соответствии с принятым стандартом, определяет результаты измерений физических величин или состояния дискретных входов и вырабатывает последовательности действий, заданных алгоритмом управления измерительным экспериментом или управления объектом исследования. Это устройство предназначено для работы в режиме реального времени в условиях проведения измерительного эксперимента и должно быть доступно для программирования. Современные контроллеры, помимо простых логических операций способны выполнять цифровую обработку сигналов, управление приводами, регулирование, функции операторского управления и т. д.

Данная статья посвящена рассмотрению лабораторных работ по изучению принципов построения и программированию работы модульных измерительных систем, сконструированных на базе средств промышленной автоматизации WAGO (WAGO-I/O-SYSTEM 750-814). Система WAGO I/O (ввода-вывода) предназначена для организации удаленного сбора данных и управления средствами промышленной автоматизации на основе различных промышленных сетей.

Исследовательский лабораторный практикум подразумевает подготовку и выполнение 4 лабораторных работ:

1. Изучение основ программирования логических контроллеров [2].
2. Построение измерительных каналов ввода и вывода дискретных сигналов [3].
3. Канал для измерения температуры с помощью терморезистора [3].
4. Локальная измерительно-вычислительная система для управления транспортером.

Продолжительность каждой из перечисленных работ составляет четыре академических часа. Выполнение работ подразумевает некоторую иерархию, которая состоит в том, что каждая последующая работа может быть проделана лишь при успешном выполнении предыдущей и с использованием ее результатов. Рассмотрим каждую из работ в отдельности.

Лабораторная работа № 1

Цель работы: изучение основных принципов программирования логических контроллеров.

Задание включает в себя знакомство с основными принципами программирования логических контроллеров (ПЛК); создание программы для ПЛК в соответствии с методическими указаниями и заданием, полученным от преподавателя; выполнение программы в режиме симулятора; сбор лабораторного макета и проверка его работоспособности.

В качестве примера программирования ПЛК с помощью среды WAGO-IO-PRO 32 приведена задача об управлении поведением двух светофоров на перекрестке при их взаимодействии. Данная задача является базовой, исходный код и порядок выполнения которой приведены в [2], где подробное изложение материала способствует правильному осмыслению студентами основ ПЛК и применению на практике языков стандарта МЭК.

Вторая часть данной работы подразумевает индивидуализацию каждого задания путем включения дополнительных входных параметров (введение дополнительных секций – пешеходный переход или «стрелка», мигание определенных цветов светофора, создание операторской панели и т. д.).

Для проведения данной лабораторной работы были разработаны и созданы макеты, демонстрирующие работу светофоров на основе элементной базы промышленной электроники. Схема установки включает в себя: контроллер WAGO 750-814, модуль дискретных выходов WAGO 750-530, оконечный модуль WAGO 750-600, макет светофора, соединительные провода и кабели (внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 1).

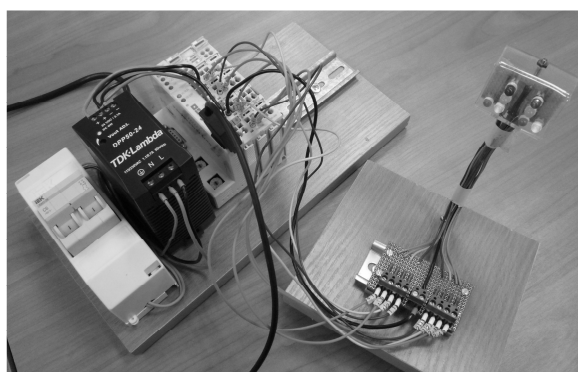


Рис. 1

В результате выполнения работы студенты должны представлять основные особенности и принципы программирования на языках МЭК (SFC, IL, ST, CFC) на примере скелетной программы, а также проявить способность к проведению анализа ошибок и проблем, обнаруженных при трансляции, и нахождению возможных путей их устранения.

Лабораторная работа № 2 является логическим продолжением и дальнейшим развитием лабораторной работы № 1.

Цель работы: ознакомление с принципами построения каналов ввода-вывода дискретных сигналов, освоение основ программирования режимов работы каналов, анализ результатов.

Задание состоит в ознакомлении с принципами работы и характеристиками контроллера и измерительных модулей: 8-канального модуля ввода дискретных сигналов постоянного тока (24 В) – WAGO 750-430; 8-канального модуля вывода дискретных сигналов постоянного тока (24 В) – WAGO 750-530. Построение схемы измерительной системы

и разработка программы по ее управлению осуществляются согласно индивидуальному заданию. В процессе работы выполняется сборка схемы, отладка работы программы, загрузка программы в контроллер и выполнение эксперимента.

Для проведения данной лабораторной работы были разработаны и созданы макеты, в состав которых входят световые индикаторы (для демонстрации работы дискретных выходных сигналов) и колодка ключей (для задания значений дискретных входных сигналов). Внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 2.

Задача работы состоит в детальном освоении адресного пространства микроконтроллера и использовании данных различного типа. В результате проведения работы студенты должны освоить принципы построения электрических схем, разработки структурной схемы алгоритма и функций, реализуемых каждым языком программирования.

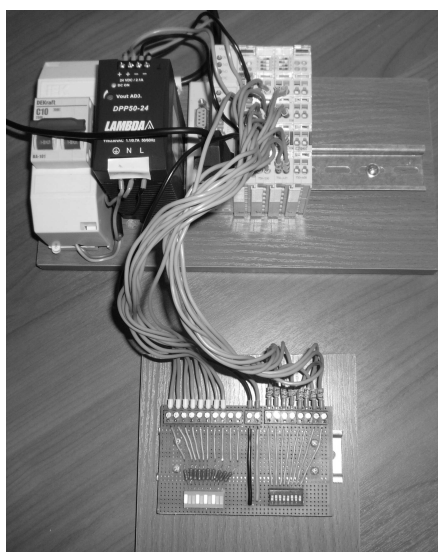


Рис. 2

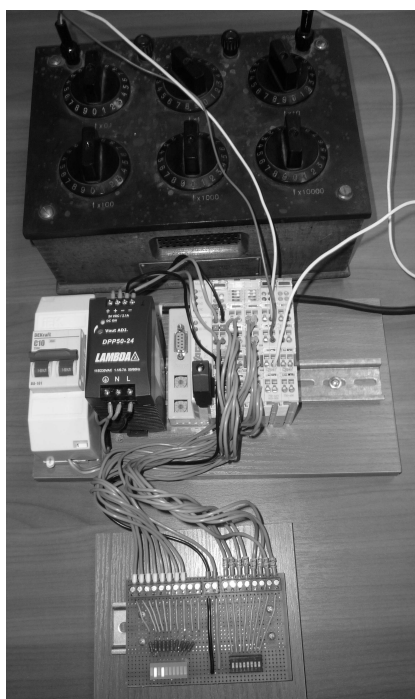


Рис. 3

Лабораторная работа № 3

Цель работы: ознакомление с принципами построения каналов измерения температуры на базе модуля, предназначенного для подключения термометра сопротивления, освоение основ программирования режимов работы каналов, анализ результатов.

Задание состоит в ознакомлении с характеристиками контроллера и измерительных модулей (2-канального входного модуля термометров сопротивления (RTD) WAGO 750-461/000-003; 8-канального модуля вывода дискретных сигналов постоянного тока (24 В) – WAGO 750-530); разработке алгоритма управления измерительными каналами и составлении структурной схемы программы согласно индивидуальному заданию; сборке схемы лабораторного макета; отладке программы; загрузке программы в контроллер и проведении эксперимента.

В процессе проведения работы студенты подключают магазин сопротивлений к входам микроконтроллера, имитируя работу терморезистора. Путем разработки программы осуществляется преобразование токового сигнала в значение температуры, оценивается корректность полученных результатов при помощи таблицы соответствия, приведенной в [3]. В зависимости от диапазона температур на выходе схемы срабатывают соответствующие световые индикаторы. Внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 3.

Лабораторная работа № 4

Данная лабораторная работа выполняется на основе знаний, умений и навыков, полученных при выполнении трех предыдущих работ.

Цель работы: разработка программы, предназначенной для управления работой макета промышленного транспортера.

Задание состоит в ознакомлении с характеристиками макета транспортера; подборе необходимых модулей WAGO для управления работой транспортера; разработке программы управления макетом и функциональной операторской панелью; сборке измерительно-управляющей системы.

Каждое индивидуальное задание подразумевает выполнение своего алгоритма управления макетом промышленного транспортера. Одним из возможных заданий является определение геометрических размеров объекта, размещенного на ленте транспортера (внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 4).

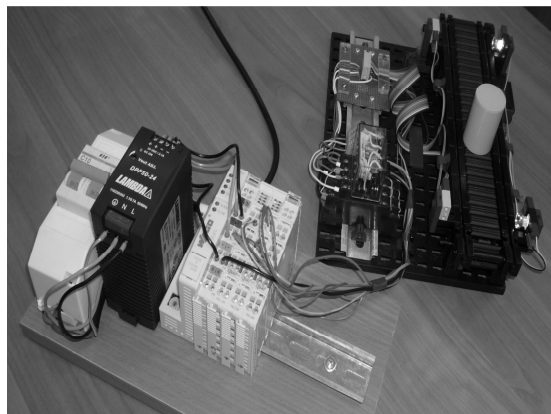


Рис. 4

Линейный размер геометрической фигуры может быть определен при помощи транспортера, перемещающегося с линейной постоянной скоростью, оснащенного двумя световыми датчиками (рис. 5).

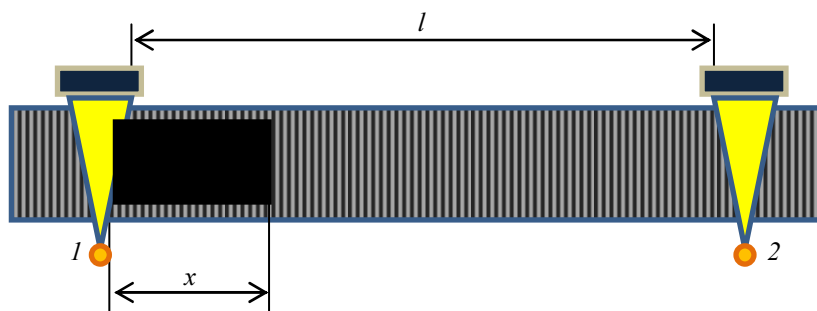


Рис. 5

Луч света, попадая на фотодатчик, вызывает сигнал *true* на выходе датчика, предмет, преграждая луч, затемняет фотодатчик – и на выходе появляется сигнал *false*. Изначально предмет располагается на одном из световых датчиков, закрывая световой луч. Смещение транспортера сдвигает предмет с луча датчика 1, при этом запускается таймер. Таймер останавливается при затемнении датчика 2. Зная расстояние между датчиками l и скорость движения транспортера v , длину объекта можно определить по формуле

$$x = l - vt,$$

где t – время, прошедшее между сигналом *true* от датчика 1 и сигналом *false* от датчика 2.

Использование данного алгоритма должно быть заложено в программу, разрабатываемую студентом. В данной работе студенты осваивают способы приложения полученных знаний, умений и навыков для решения конкретных практических задач.

Описанная в настоящей работе методика проведения лабораторных работ по дисциплине «Локальные измерительно-вычислительные системы» представлена в [2], [3]. Курс построен таким образом, что студент получает необходимые знания в процессе прохождения иерархической последовательности ряда лабораторных работ. Данный подход позволяет в каждой последующей работе использовать опыт и навыки, приобретенные в предыдущей. Апробация производилась в течение 4 семестров и показала высокие уровни усвоения теоретических положений и получения практических навыков в изучении ПЛК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 200100 «Приборостроение» (квалификация (степень) «магистр»). Утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25 января 2010 г. № 65.

2. Построение измерительных каналов с применением средств промышленной автоматизации: метод. указания к лабораторным работам / Сост.: В. В. Алексеев, К. О. Комшилова, П. Г. Королев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. 33 с.

3. Построение измерительных каналов на базе программируемых средств: метод. указания к лабораторным работам / Сост.: В. В. Алексеев, К. О. Комшилова, П. Г. Королев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 30 с.

V. V. Alekseev, P. G. Korolev, V. S. Konovalova, K. O. Komshilova, I. V. Kalyakin

ORGANIZATION RESEARCH LABORATORY WORKSHOP ON DISCIPLINE "LOCAL MEASUREMENT COMPUTER SYSTEM" BASED ON PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS

Considered cycle laboratory works for master's training. Laboratory work aimed at studying the construction of modern programmable measurement systems, which are widely used in research and practice professionals. Laboratory work organized as a teaching-research practicum.

Laboratory work, instrumentation, WAGO, the microcontroller



УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 330.322.5

М. Н. Магомедов, А. В. Звонцов

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ)

Рассматривается техника оценки экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления на предприятиях газовой отрасли экономики.

Инвестирование, автоматизированная система управления, экономическая эффективность, факторы экономической эффективности

Современные автоматизированные системы управления позволяют повысить эффективность деятельности предприятия за счет повышения качества информации о бизнес-процессах предприятия.

Оценка экономической эффективности автоматизированной системы управления (АСУ) предполагает рассмотрение ее внедрения в качестве проекта, требующего определенных инвестиций.

Одним из важных этапов оценки любого инвестиционного проекта является определение структуры и величины денежных потоков, которые будут использованы при определении его экономической эффективности [1]. При оценке эффективности проектов, связанных с внедрением на предприятии АСУ, возникают трудности с определением денежных потоков, генерируемых этими системами. Все современные методики оценки эффективности внедрения АСУ базируются на экспертных оценках, что может негативно сказаться на качестве и достоверности получаемых результатов, например, по причине недостаточной информированности экспертов. Авторы предлагают свою методику оценки эффективности инвестиционных проектов в области внедрения АСУ. Данная методика разработана на основе анализа современных АСУ, текущего состояния газовой отрасли, результатов отечественного опыта автоматизации газодобывающих предприятий [2], [3].

В основе предлагаемой методики лежит разработанная авторами матрица влияния внедрения компонентов АСУ на факторы, характеризующие экономическую эффективность деятельности предприятия. Рассмотрим ее более подробно.

Все компоненты АСУ сгруппированы по функциональному признаку:

1. Компоненты, реализующие функцию мониторинга технологических процессов:

1.1. Сбор, отображение, обработка и хранение данных (автоматический сбор измерительных данных, преобразование и хранение измерительной информации, динамическая визуализация информации, текущий сигнальный анализ данных).

1.2. Анализ данных (анализ данных (ретроспективный, регрессионный), агрегирование данных (организация, структурирование), ретроспективный сигнальный анализ, факторный анализ, интерпретация данных).

2. Компоненты, позволяющие управлять технологическими процессами:

2.1. Статическое управление (дистанционное прямое управление, управление режимом, управление группой режимов).

2.2. Динамическое управление (программное управление, программно-логическое управление).

2.3. Управление технологическим комплексом (формирование эффективных структур однородных технологических объектов, формирование эффективных структур разнородных технологических объектов, мониторинг состояния технологического оборудования).

2.4. Статическая оптимизация (оптимизация локальных режимов, оптимизация групповых режимов).

2.5. Динамическая оптимизация (формирование оптимального управления межрежимными периодами, согласованное управление технологическими режимами, упреждающее управление).

2.6. Стабилизация режимов (регулирование параметров, регулирование многомерное (аналитический регулятор)).

3. Компоненты, реализующие функцию поддержки принятия диспетчерских (управленческих) решений:

3.1. Моделирование и расчеты (расчеты технологических параметров, термодинамическое моделирование, статистическое моделирование).

3.2. Оценка эффективности процессов (текущая оценка критериев эффективности, мониторинг эффективности (оценка эффективности) технологических процессов, мониторинг эффективности (оценка эффективности) производственных процессов).

3.3. Формирование решений (выбор наилучших решений, формирование деревьев решений, статистические процедуры, БД и МБД, информационное обеспечение управляющих решений, формирование эффективных управленческих решений).

3.4. Диагностика состояния технологических объектов (формирование предупредительных сигналов, функциональная диагностика, обнаружение загазованности, пожарообнаружение, контроль доступа, информационная безопасность).

4. Компоненты, реализующие инфраструктурные решения:

4.1. Организационное управление (иерархия управления, оптимальное распределение информации, межуровневое взаимодействие, управление группами).

Все факторы, характеризующие экономическую эффективность деятельности газодобывающего предприятия, можно сгруппировать по следующим признакам (направлениям) [3], [4]:

1) минимизация производственной себестоимости (данная группа включает факторы, связанные с сокращением производственных затрат);

2) максимизация получаемых выгод (в данную группу попадают факторы, связанные с повышением производительности добычного и технологического комплексов, а также с увеличением производственных ресурсов предприятия);

3) оптимизация (снижение) рисков (к данной группе относятся факторы, связанные с повышением надежности функционирования производственного комплекса и снижением экономических рисков предприятия).

• Группа факторов, связанных с минимизацией производственной себестоимости, включает следующие факторы экономической эффективности:

1. *Сокращение затрат метанола* (Δe_M). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_M = \Delta q_M \cdot Pr_M,$$

где $\Delta q_M = q_{\text{баз}} - q_{\text{баз}} \cdot \kappa_M$ – сокращение количества потребления метанола после внедрения АСУ, т ($q_{\text{баз}}$ – количество потребления метанола до внедрения АСУ, т; κ_M – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в метаноле); Pr_i – закупочная цена одной тонны метанола, р.

2. *Сокращение потерь абсорбента (адсорбента)* (Δe_a). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_a = \Delta q_a \cdot Pr_a,$$

где $\Delta q_a = q_{\text{баз}} - q_{\text{баз}} \cdot \kappa_a$ – сокращение количества потребления абсорбента после внедрения АСУ, т ($q_{\text{баз}}$ – количество потребления абсорбента до внедрения АСУ, т; κ_a – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в абсорбенте); Pr_a – закупочная цена одной тонны абсорбента, р.

3. *Сокращение потерь технологических материалов* ($\Delta e_{T.M}$). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_{T.M} = \sum_{i=1}^n (\Delta q_i \cdot Pr_i),$$

где $\Delta q_i = q_{\text{баз}i} - q_{\text{баз}i} \cdot \kappa_i$ – сокращение количества потребления i -го вида технологического материала после внедрения АСУ, т ($q_{\text{баз}i}$ – количество потребления i -го вида технологического материала до внедрения АСУ, т; κ_i – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в i -м виде технологического материала); Pr_i – закупочная цена одной тонны i -го вида технологического материала, р.; n – общее количество видов используемых технологических материалов.

4. *Сокращение эксплуатационных затрат* (Δz). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta z = \sum_{i=1}^n (\Delta V_i),$$

где $\Delta V_i = V_{\text{баз}i} - V_{\text{баз}i} \cdot \kappa_i$ – сокращение эксплуатационных затрат i -го вида после внедрения АСУ, р. ($V_{\text{баз}i}$ – эксплуатационные затраты i -го вида до внедрения АСУ, р.; κ_i – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение эксплуатационных затрат i -го вида); n – общее количество видов эксплуатационных затрат.

5. *Экономия топливного газа* ($\Delta e_{\text{т.г}}$). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_{\text{т.г}} = \Delta q_{\text{т.г}} \cdot \text{Pr}_{\text{т.г}},$$

где $\Delta q_{\text{т.г}} = q_{\text{баз}} - q_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{т.г}}$ – сокращение количества потребления топливного газа после внедрения АСУ, м³ ($q_{\text{баз}}$ – количество потребления топливного газа до внедрения АСУ, м³; $\kappa_{\text{т.г}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в метаноле); $\text{Pr}_{\text{т.г}}$ – стоимость кубического метра топливного газа, р.

6. *Экономия электроэнергии* ($\Delta e_{\text{э.э}}$). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_{\text{э.э}} = \Delta q_{\text{э.э}} \cdot \text{Pr}_{\text{э.э}},$$

где $\Delta q_{\text{э.э}} = q_{\text{баз}} - q_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{э.э}}$ – сокращение количества потребления электроэнергии после внедрения АСУ, кВт/ч ($q_{\text{баз}}$ – количество потребления электроэнергии до внедрения АСУ, кВт/ч; $\kappa_{\text{э.э}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в электроэнергии); $\text{Pr}_{\text{э.э}}$ – стоимость одного киловатта электроэнергии, р.

7. *Экономия тепловой энергии* ($\Delta e_{\text{т.э}}$). Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta e_{\text{т.э}} = \Delta q_{\text{т.э}} \cdot \text{Pr}_{\text{т.э}},$$

где $\Delta q_{\text{т.э}} = q_{\text{баз}} - q_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{т.э}}$ – сокращение количества потребления тепловой энергии после внедрения АСУ, Гкал ($q_{\text{баз}}$ – количество потребления тепловой энергии до внедрения АСУ, Гкал; $\kappa_{\text{т.э}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение потребности в тепловой энергии); $\text{Pr}_{\text{т.э}}$ – стоимость одной гигакалории тепловой энергии, р.

• Группа факторов, связанных с максимизацией получаемых выгод, включает следующие факторы экономической эффективности:

1. *Увеличение удельной производительности оборудования* ($\Delta w_{\text{пр.о}}$). Экономический эффект по данному фактору эффективности определяется возможностью добывать на используемом оборудовании большее количество газа в единицу времени. Он может быть рассчитан по формуле

$$\Delta w_{\text{пр.о}} = \Delta V_{\text{уд}} (\text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{общ}}) T,$$

где $\Delta V_{\text{уд}} = (V_{\text{уд.баз}} \cdot \kappa_{\text{пр}} - V_{\text{уд.баз}})$ – изменение удельной производительности, м³/сут; $\kappa_{\text{пр}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на изменение удельной производительности); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продук-

ции, р.; $S_{\text{общ}}$ – удельные производственные затраты (в расчете на кубический метр газа), р.; T – количество дней в периоде (году).

2. *Сокращение простоев оборудования* ($\Delta t_{\text{п.о}}$). Внедрение АСУ позволит сократить время внеплановых простоев оборудования. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta t_{\text{п.о}} = \Delta l (V_{\text{уд}} \cdot \text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{с.э}}) \overline{T_{\text{п.о}}},$$

где $\Delta l = l_{\text{баз}} - l_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{п.о}}$ – изменение количества простоев оборудования ($\kappa_{\text{п.о}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на изменение количества простоев оборудования); $V_{\text{уд}}$ – удельная производительность оборудования (суточная); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{с.э}}$ – затраты (в сутки), связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, р.; $\overline{T_{\text{п.о}}}$ – средний период простоя оборудования в текущем году, сут.

3. *Уменьшение недозагрузки оборудования* (Δm_{o}). Экономический эффект выражается в увеличении средней загрузки оборудования, что позволит повысить его производительность (фондоотдачу). Он может быть рассчитан по формуле

$$\Delta m_{\text{o}} = \Delta M_{\text{o}} (\text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{общ}}) q_{\text{мах}},$$

где $\Delta M_{\text{o}} = M_{\text{баз}} - M_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{з}}$ – изменение загрузки оборудования, % ($\kappa_{\text{з}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на изменение загрузки оборудования); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{общ}}$ – удельные производственные затраты (в расчете на кубический метр газа), р.; $q_{\text{мах}}$ – максимально возможный объем производства выпуска, указанный в сопроводительной документации на оборудование, м³.

4. *Увеличение производительности фонда скважин* ($\Delta w_{\text{с}}$). Экономический эффект от внедрения АСУ по данному фактору эффективности определяется повышением количества добываемого газа в единицу времени и может быть рассчитан по формуле

$$\Delta w_{\text{с}} = \Delta V (\text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{общ}}) T,$$

где $\Delta V = (V_{\text{баз}} \cdot \kappa_{\text{пр}} - V_{\text{баз}})$ – изменение производительности фонда скважин, м³/сут; ($\kappa_{\text{пр}}$ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на изменение производительности фонда скважин); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{общ}}$ – производственные затраты (в расчете на кубический метр газа), р.; T – количество дней в периоде (году).

5. *Увеличение удельного дебета скважин* ($\Delta w_{\text{д.с}}$). Экономический эффект от внедрения АСУ по данному фактору эффективности определяется повышением количества добываемого газа в единицу времени. Он может быть рассчитан по формуле

$$\Delta w_{\text{д.с}} = \Delta q (\text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{общ}}),$$

где $\Delta q = (q_{\text{баз}} \cdot \kappa_0 - q_{\text{баз}})$ – увеличение потенциальных объемов добычи газа скважины в год, м³ (κ_0 – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на увеличение возможных объемов добычи газа скважины в год); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{общ}}$ – удельные производственные затраты (в расчете на кубический метр газа), р.

6. *Увеличение потенциала скважин (Δd_c)*. Экономический эффект по данному фактору эффективности заключается в возможности добыть на уже эксплуатируемой скважине большее количество газа (чем до внедрения АСУ). Он может быть рассчитан по формуле

$$\Delta d_c = \Delta q(\text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{общ}}),$$

где $\Delta q = (q_{\text{баз}} \cdot \kappa_0 - q_{\text{баз}})$ – увеличение потенциальных объемов добычи газа скважины, м³ (κ_0 – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на увеличение возможных объемов добычи газа скважины); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{общ}}$ – удельные производственные затраты (в расчете на кубический метр газа), р.

7. *Увеличение эксплуатационного ресурса скважин (Δt_c)*. Внедрение системы АСУ позволяет увеличить период эксплуатации скважины, что, в свою очередь, приведет к увеличению количества газа, которое предприятие может потенциально добыть, а следовательно, к повышению получаемой им выручки от реализации. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta t_c = (T_{\text{норм}} \cdot \kappa_c - T_{\text{норм}})(V_{\text{уд}} \cdot \text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{с.э}}),$$

где $T_{\text{норм}}$ – нормативный срок эксплуатации скважин, сут; κ_c – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на увеличение нормативного срока эксплуатации скважин; $V_{\text{уд}}$ – удельная производительность скважин (суточная); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{с.э}}$ – производственные затраты (в сутки), включая затраты, связанные с содержанием и эксплуатацией скважин, р.

8. *Увеличение ресурса технологического оборудования (Δt_o)*. Внедрение АСУ приведет к увеличению срока эксплуатации производственного оборудования, что позволит добыть больший объем газа (не проводя замену оборудования) и получить дополнительную выручку от реализации. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta t_o = (T_{\text{норм}} \cdot \kappa_o - T_{\text{норм}})(V_{\text{уд}} \cdot \text{Pr}_{\text{прод}} - S_{\text{с.э}}),$$

где $T_{\text{норм}}$ – нормативный срок эксплуатации оборудования, сут; κ_o – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на увеличение нормативного срока эксплуатации оборудования; $V_{\text{уд}}$ – удельная производительность оборудования (суточная); $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{\text{с.э}}$ – производственные затраты (в сутки), включая затраты, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, р.

• Группа факторов, связанных с оптимизацией (снижением) рисков, включает следующие факторы экономической эффективности:

1. *Уменьшение вероятности возникновения опасных ситуаций* ($\Delta r_{o.c}$). Внедрение АСУ позволит снизить вероятность возникновения опасных ситуаций, которые могут привести к поломке оборудования, протеканию технологических процессов, не соответствующих регламенту, что приводит к повышению затрат на ремонт оборудования, подачи в магистральный газопровод некачественного газа и т. д. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta r_{o.c} = \Delta l \cdot \overline{S_{o.c}} \cdot \overline{T},$$

где $\Delta l = l_{\text{баз}} - l_{\text{баз}} \cdot \kappa_i$ – изменение числа возникновения опасных ситуаций (κ_i – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на изменение числа возникновения опасных ситуаций); $\overline{S_{o.c}}$ – удельные (суточные) затраты (на содержание и эксплуатацию оборудования, повышенный расход материалов), связанные с возникновением опасных ситуаций, р.; \overline{T} – средний период нахождения в режиме опасной ситуации, сут.

2. *Снижение числа аварийных остановок* ($\Delta n_{a.o}$). Любая аварийная остановка сопровождается финансовыми потерями, которые несет предприятие в связи с необходимостью проведения ремонтных работ, а также в неполучении прибыли, в размере стоимости добытого газа, который оно могло добыть за время устранения последствий аварийной остановки. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta n_{a.o} = \Delta l (V_{\text{уд}} \cdot \text{Pr}_{\text{прод}} - S_{c.э} + \overline{S_{\text{рем}}}) \overline{T},$$

где $\Delta l = l_{\text{баз}} - l_{\text{баз}} \cdot \kappa_i$ – изменение числа аварийных остановок (κ_i – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение числа аварийных остановок); $V_{\text{уд}}$ – удельная производительность оборудования (суточная), м³; $\text{Pr}_{\text{прод}}$ – стоимость одной единицы выпускаемой продукции, р.; $S_{c.э}$ – затраты (в расчете на сутки), связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, р.; $\overline{S_{\text{рем}}}$ – удельные (суточные) затраты, связанные с ремонтом оборудования; \overline{T} – средняя продолжительность ремонта оборудования (устранения причин аварии), сут.

3. *Снижение вероятности наступления штрафных санкций* ($\Delta r_{ш.с}$). Поставка некачественного газа всегда сопряжена для предприятия с возможностью возникновения штрафных санкций как со стороны потребителей, так и контролирующих органов. Внедрение АСУ снизит вероятность наступления данного события, что позволит сократить величину выплачиваемых предприятием штрафов. Экономический эффект по данному фактору может быть рассчитан по формуле

$$\Delta r_{ш.с} = \sum_{i=1}^n (\Delta l_i \cdot \overline{P}_i),$$

где $\Delta l_i = l_{\text{баз}i} - l_{\text{баз}i} \cdot \kappa_i$ – сокращение количества штрафных санкций i -го типа, шт. (κ_i – корректирующий коэффициент, отражающий влияние внедрения АСУ на сокращение количества штрафных санкций i -го типа); \overline{P}_i – средняя величина затрат, связанных с уплатой одного штрафа i -го типа с учетом компенсации нанесенного ущерба, р.; n – общее количество видов штрафных санкций, которые могут быть применены в отношении компании.

Авторами проведен расчет экономических эффектов, достигнутых по отмеченным направлениям в результате внедрения АСУ на нескольких отечественных предприятиях газовой отрасли [2], [3]. Их анализ показывает, что внедрение АСУ позволяет существенно сократить производственные затраты (например, по топливному газу более чем на 20 %, расходованию электроэнергии – на 15 %), повысить удельную производительность оборудования на 10 %, также значительно снизить (на 20 %) вероятность возникновения чрезвычайных и опасных ситуаций в ходе осуществления предприятием своей хозяйственной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов № ВК477: Утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госкомитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.99. М.: Экономика, 2000.
2. Автоматизация процессов газовой промышленности / А. З. Шайхутдинов, М. А. Балавин, О. В. Назаров и др. СПб.: Наука, 2003.
3. Магомедов М. Н. Инновационные технологии в управлении организациями (предприятиями) (на примере газовой отрасли). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008.
4. Звонцов А. В. Методы обеспечения конкурентоспособности предпринимательских структур на основе факторного анализа. СПб.: ЛЕМА, 2009.

M. N. Magomedov, A. V. Zvontsov

METHOD STUDY OF ECONOMIC EFFICIENCY IMPLEMENTATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS (FOR EXAMPLE GAS PRODUCING ENTERPRISES)

The paper considers a technique for assessing the economic efficiency of the implementation of automated control system for gas industry of the economy.

Investing, automated control system, economic efficiency, economic efficiency factors

УДК 334

М. И. Житенева

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В МЕЖДУНАРОДНЫХ И ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТАХ ОЦЕНКИ

Рассматривается вопрос учета экологического фактора в международных и европейских стандартах оценки, влияние экологического фактора на стоимость объекта оценки.

Международные стандарты оценки, европейские стандарты оценки, национальные стандарты оценки, экологические факторы

Долгосрочная стратегия развития России базируется на экологически устойчивом и экологически ответственном экономическом развитии страны. Экологическая политика Российской Федерации строится на основе международных стандартов охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и реализации конституционного права граждан на благоприятную окружающую среду¹.

¹ Проект указа «Об утверждении Основ экологической политики Российской Федерации на период до 2030 года и мерах по их реализации»: <http://www.mnr.gov.ru/>

Загрязнение окружающей среды помимо серьезных негативных последствий для здоровья людей стало приводить к значительным материальным потерям, выражающимся в снижении стоимости недвижимости, возникновении дополнительных затрат, связанных с ликвидацией последствий причиненного ущерба и вреда, прямым потерям дохода от снижения качества и доходности различных категорий земельных угодий или природных объектов.

При стоимостной оценке бизнеса или недвижимости появляется реальная опасность, что финансовая ответственность за существование какого-либо загрязнителя, проведение обследования для его обнаружения и затраты на ликвидацию загрязнения будут столь велики, что могут уменьшить стоимость и ожидаемую доходность приобретенного имущества весьма значительно. Характеристика состояния окружающей среды и описание экологических факторов, которые в настоящий момент оказывают влияние на стоимость недвижимого имущества или могут оказать влияние на изменение его стоимости в будущем, стала обязательным условием описания земельного участка и проведения анализа его наилучшего использования [1].

Воздействие экологического фактора на поведение рынков недвижимости и финансовое положение предприятий нашло отражение в Международных стандартах оценки (МСО) и Европейских стандартах оценки (ЕСО), которые уделяют большое внимание экологическим вопросам, возникающим при оценке стоимости недвижимости и оказании консультационных услуг, связанных с процедурой «environmental due diligence» (оценка воздействия на окружающую среду).

В МСО–2007 Международного комитета по стандартам оценки (МКСО – International Valuation Standards Committee – IVSC) вопросам окружающей среды посвящено два документа [2]:

1. Стандарт 1 (МСО 1). Рыночная стоимость как база оценки.
2. Международное руководство по оценке 7 (МР 7) «Оценка при наличии опасных и токсичных веществ».

В МСО 1, определяющем рыночную базу оценки, указывается, что отрицательную рыночную стоимость могут иметь некоторые объекты, подвергшиеся воздействию загрязнения окружающей среды.

В МР 7 указывается, что при оценке необходимо учитывать такие вопросы, как затраты на санацию или восстановление, затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, затраты на мониторинг, обязательства перед третьими сторонами, ответственность перед регулирующими органами и т. п. Имея дело с опасными или токсичными веществами, оценщик должен исследовать все связанные с этим проблемы в обстановке конфиденциальности, чтобы не породить ненужных спекуляций относительно данного имущества.

В МР 7 также указывается, что раскрытие данных о наличии каких-либо опасных и токсичных веществ, которое может отрицательно сказаться на стоимости имущества, входит в число общих требований к отчету, установленных в МСО 1. Требуется также, чтобы оценщик указал, как он рассматривал этот фактор при выполнении задания.

В Европейских стандартах оценки Стандартом 9 (ЕСО–2003), регламентирующим составление отчета об оценке, предписывается рассматривать проблемы, связанные с окружающей средой, включая оценки риска. В случае если загрязнение не выявлено, то рекомендуется применять следующую формулировку: «Стандартные проверки не показали, что загрязнение природного или химического происхождения затрагивает рассматриваемое имуще-

ство или соседствующее имущество, что влияло бы на определяемую стоимость. Если впоследствии будет установлено, что на объекте имущества или на соседнем участке земли существует загрязнение или что прошлое или текущее использование помещений таково, что может оказаться загрязняющим, то это может снизить сообщаемую в отчете стоимость» [3].

Заметим также, что, даже если обследование на предмет выявления экологических факторов не проводилось, оценщик обязан сделать ссылку о том, что оценка стоимости объекта проводилась при допущении отсутствия загрязнения и он не проводил подобных исследований на загрязнение оцениваемой или соседней земли.

Для случаев обнаружения негативного влияния экологических факторов в ЕСО разработана специальная процедура, закрепленная соответствующим методическим руководством ЕСО–2003 (Руководство 1) «Специальные факторы, влияющие на стоимость», где указывается, что экологические проблемы могут оказывать сильное воздействие на цены на рынке недвижимого имущества, включая воздействие связанных с загрязнением обязательств по возмещению ущерба.

В Российской Федерации разработка и введение в действие национальных стандартов осуществляются в соответствии с Федеральным Законом «О техническом регулировании». В рамках данного Федерального Закона предусмотрены технические регламенты, цели принятия которых – «защита жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества; охрана окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей». Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие экологическую безопасность и единство измерений [4].

В целях реализации положений ФЗ от 27 июля 2007 г. № 157-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный Закон “Об оценочной деятельности в Российской Федерации”» утверждены федеральные стандарты оценки: «Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)» [5], «Цель оценки и виды стоимости (ФСО № 2)» [6], «Требования к отчету об оценке (ФСО № 3)» [7]. Настоящие стандарты оценки разработаны с учетом Международных стандартов оценки.

Так в ФСО № 1 в требованиях к проведению оценки (п. 18) рекомендовано оценщику собирать и анализировать информацию, «существенную для определения стоимости объекта оценки теми подходами и методами, которые на основании суждения оценщика должны быть применены при проведении оценки, в том числе информацию о политических, экономических, социальных и экологических и прочих факторах, оказывающих влияние на стоимость объекта оценки».

В ФСО № 3 отсутствуют положения о том, как следует отражать возможные влияния «факторов окружающей среды» на стоимость объектов оценки; нет рекомендаций и ссылок, на какие документы необходимо опираться оценщику при учете экологических факторов, воздействующих на стоимость объектов оценки.

При оценке недвижимости при использовании метода дисконтирования денежных потоков в доходном подходе требуется оценка прошлых и будущих денежных потоков. В связи с этим возникает необходимость оценивать обязательства по прошлому экологическому ущербу, особенно при продаже активов предприятий или привлечении долгосрочных инвестиций в различные отрасли.

Российским обществом оценщиков (РОО) создана методическая база для проведения оценочных работ. Свод стандартов оценки (ССО–2010), разработанный в соответствии с МСО–2007 (International valuation standards – IVS–2007), включает МР 7 «Оценка при наличии опасных и токсичных веществ», где даны рекомендации по подготовке оценки, в случае когда на стоимость недвижимости могут влиять какие-либо опасные или токсичные вещества.

Свод стандартов оценки в рамках МСО введен в качестве системы стандартов РОО как внутренний документ [3].

Все вышеизложенное указывает на необходимость разработки национального стандарта оценки, в котором были бы учтены всевозможные экологические факторы, влияющие на стоимость любого объекта собственности, а также указания на то, как следует оценщику анализировать, отражать и использовать информацию, имеющую важное значение для обеспечения экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка стоимости недвижимости / С. В. Грибовский, Е. Н. Иванова, Д. С. Львов, О. Е. Медведева. М.: Интерреклама, 2003.
2. Свод стандартов оценки (ССО-2010) Российского общества оценщиков (РОО) / Российское общество оценщиков. М., 2010.
3. Свод стандартов оценки (ССО-2005) Российского общества оценщиков (РОО) / Российское общество оценщиков. М., 2005.
4. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 28.09.2010 г.) «О техническом регулировании».
5. Приказ Министерства экономического развития и торговли РФ от 20.07.07 № 256 «Об утверждении федерального стандарта оценки “Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)”».
6. Приказ Министерства экономического развития и торговли РФ от 20.07.07 № 255 «Об утверждении федерального стандарта оценки “Цель оценки и виды стоимости (ФСО № 2)”».
7. Приказ Министерства экономического развития и торговли РФ от 20.07.07 № 254 «Об утверждении федерального стандарта оценки “Требования к отчету об оценке (ФСО № 3)”».

M. I. Zhitenyova

THE ACCOUNT OF THE ECOLOGICAL FACTOR IN THE INTERNATIONAL AND EUROPEAN STANDARDS OF AN ESTIMATION

In article the question of the account of the ecological factor in the international and European standards of an estimation, influence of the ecological factor on an estimation project cost is considered.

The international standards of an estimation, the European standards of an estimation, national standards of an estimation, ecological factors



УДК 930.1:94/99:980

С. Г. Божкова

К ВОПРОСУ О НОВЫХ РОССИЙСКИХ ИСТОЧНИКАХ ПО ИСТОРИИ ИСПАНОЯЗЫЧНЫХ СТРАН АМЕРИКИ (1812–1916)

В современном быстро глобализующемся мире, существенно множатся и усиливаются связи между некогда самыми отдаленными регионами. Изучение их проблем в современном и будущем невозможно без адекватного знания прошлого. В статье в методическом и методологическом плане ставится вопрос об исследовании обширного пласта новых источников по истории стран Латинской Америки, содержащихся в донесениях российских дипломатов и консулов, служивших в Бразилии в 1812–1916 гг.

Международные отношения, дипломатия, посланники, консулы, Российская империя, Бразильская империя, Соединенные Штаты Бразилии

Становление научной отечественной латиноамериканистики и развитие интереса к ней в мире в очень большой степени определялось и определяется выявлением и исследованием оригинальных источников российского происхождения по этой проблематике. Ценность, т. е. адекватность или достоверность таких источников, напрямую зависит от того, насколько непосредственно они отражали действительность. Любое опосредованное, косвенное ее отражение серьезно влияет на достоверность таких источников. Это касается к примеру российской прессы, иностранные, в том числе латиноамериканские, материалы которой были так или иначе заимствованы из зарубежных средств массовой информации. Описания латиноамериканской действительности, нашедшие отражение в трудах российских мореплавателей и путешественников, в этом отношении существенно выигрывают. Однако этому комплексу свидетельств свойственны другие недостатки: относительная малочисленность, бросающиеся в глаза нерегулярность, избирательность, случайность отображения и, как правило, слабая страноведческая подготовка наблюдателей.

Этих недостатков лишены донесения представителей российского МИД, служивших в Латинской Америке. Комплекс их донесений отличается непрерывностью, как материалы прессы, и высокой степенью профессиональной подготовки дипломатов и консулов в отличие от

малоосведомленных лиц. Словом, уже на своем генетическом уровне дипломатические и консульские донесения достойны большего доверия, чем многие другие источники.

Однако эти рассуждения носят абстрактный характер. Следует выяснить, чем мы располагаем в действительности. А она такова: до 1890 г. Россия имела на Американском континенте лишь две миссии, возглавлявшиеся дипломатами в ранге посланников – в США и Бразилии. Таким образом, российские посланники и консулы в Рио-де-Жанейро держали в поле своего зрения всю Южную Америку, Центральную Америку, Карибский регион и Мексику. После установления дипломатических отношений с Мексикой в 1890 г. и с Кубой в 1902 г. вся остальная территория Латинской Америки продолжала оставаться под наблюдением российского дипломатического контингента в Рио-де-Жанейро до 1916 г. Очевидно в целях экономии российский посланник в Бразилии с 1885 г. выполнял по совместительству эти же функции в Аргентине, с 1887 г. – в Уругвае, с 1908 г. – в Парагвае, наконец, с 1911 г. – даже в Чили. Подготовка к установлению дипломатических отношений с наиболее территориально близкими к Бразилии странами Уругваем, Парагваем, Аргентиной велась задолго до этого. 10 декабря 1857 г. Александр II подписал грамоту, адресованную уругвайскому президенту Г. А. Перейре о признании его страны де-юре, 16 февраля 1883 г. Александр III визировал грамоту президенту Парагвая Б. Кабальеро с выражением готовности содействовать всему, что «может упрочить приязнь» между народами двух стран [1], а посланник в Рио-де-Жанейро А. С. Ионин во второй половине 80-х гг. XIX в. непосредственно возглавил российские миссии в Буэнос-Айресе и Монтевидео.

По другому обстояло дело с более отдаленными от Бразилии странами. Не привели к установлению дипломатических контактов с Россией грамота президента Венесуэлы Х. Т. Монагаса Александру II от 22 марта 1856 г. с предложением «открыть взаимные торговые дружественные отношения между обоими государствами», оформление отношений с Колумбией (тогда Гранадской конфедерацией) в 1858 г., кратковременные (без учреждения миссий) отношения с Перу в 1873–1880 гг., признание Петербургом Коста-Рики и Гондураса соответственно в 1872 и 1877 гг., а также упрочение связей с Гватемалой в 1880 г. [1]. В этих случаях упомянутое совместительство было невозможно по причинам территориального характера. Несколько сократившаяся, но по-прежнему огромная территория так или иначе контролировалась из Рио-де-Жанейро до 1916 г.

В 2008 г. на международной научно-практической конференции «Под созвездиями Большой Медведицы и Южного Креста. Российско-латиноамериканские отношения XVII–XXI веков» нами уже была поставлена проблема исследования материалов российских дипломатов и консулов в Рио-де-Жанейро по истории испаноязычных стран Америки [1]. Этот огромный, многоаспектный и отличающийся высокой степенью сохранности пласт источников еще никогда не рассматривался в комплексе как целостная проблема в теоретическом и конкретно-источниковедческом плане.

Упомянутый пласт имеет все основания для тщательной разработки еще и потому, что в отечественной историографии аналогичные исследования уже с успехом проводились. Речь идет как об изучении русских источников о зарубежье, так и о выполненных на их основании

исторических реконструкциях. Мы имеем в виду труды академика Н. Н. Болховитинова по истории русско-американских отношений¹, Б. Н. Комиссарова – о прошлом русско-бразильских контактов², А. Я. Массова – о русско-австралийских связях³.

Период более чем в столетие (с 1812 по 1916 гг.), когда миссия в Рио-де-Жанейро являлась для Петербурга главным политическим, информационным и аналитическим центром по латиноамериканской проблематике, можно разделить на четыре разных по протяженности хронологических отрезка. Первый из них начинается с прибытия в Рио-де-Жанейро в 1812 г. посланника при португальском дворе Ф. П. Палена и завершается, когда в 1821 г. вслед за королем Жуаном VI в Лиссабон отправился посланник Ф. В. Тейль-фан-Сероскеркен. Кроме них в эти годы в бразильской столице служили в качестве поверенных в делах Г. И. Лангсдорф (по совместительству являвшийся генеральным консулом) в 1814–1815 гг. и 1817–1819 гг. и А. В. Сверчков в 1815–1816 гг., а также посланник П. Ф. Балк-Полев в 1816–1817 гг. Следует отметить, что дипломатический представитель (посланник, поверенный в делах) был по своему положению выше консульского и мог контролировать его деятельность. Второй отрезок охватывает 1822–1828 гг., т. е. время дипломатического непризнания Россией независимой Бразильской империи. Российской дипломатической миссии в Рио-де-Жанейро в это время, естественно, не было, но генеральное консульство во главе с Г. И. Лангсдорфом, начавшее свою работу еще в 1813 г., продолжало функционировать. Когда Г. И. Лангсдорф руководил научной экспедицией в центральных районах Бразилии, его обязанности выполнял вице-консул П. П. Кильхен. Третий хронологический отрезок охватывает 1828–1889 гг. Это время дипломатического и консульского представительства России в Бразильской империи, начавшееся назначением в Рио-де-Жанейро посланника Ф. Ф. Бореля и закончившееся отъездом в Россию посланника А. С. Ионина в связи с провозглашением страны республикой. Помимо упомянутых дипломатов в бразильской столице тогда служили А. П. Мальтиц, С. Г. Ломоносов, А. И. Медем, О. И. Эверс, Д. Г. Глинка, И. Ф. Коскуль. Четвертый отрезок приходится на 1889–1916 гг., когда Россию в Соединенных Штатах Бразилии представляли сначала дипломаты на уровне секретарей миссии (признание Петербургом республиканской Бразилии потребовало времени), а с 1896 г. – посланники М. Н. Гирс, А. Н. Шпейер, М. Э. Прозор и П. В. Максимов, скончавшийся в Рио-де-Жанейро в 1916 г.

Основная часть источниковой базы для намеченного исследования сосредоточена в Архиве внешней политики Российской империи (АВПРИ) Историко-документального департамента МИД РФ (Москва). Там представлены донесения российских дипломатиче-

¹ Болховитинов Н. Н. 1) Становление русско-американских отношений. 1775–1815. М., 1966; 2) Русско-американские отношения. 1815–1832. М., 1975; 3) Россия и война США за независимость. 1775–1783. М., 1976; 4) Россия и США: архивные документы и исторические исследования: аналит. обзор. М., 1984; 5) Русско-американские отношения и продажа Аляски. 1834–1867. М., 1990; 6) Россия открывает Америку. 1732–1799. М., 1991.

² Комиссаров Б. Н. 1) Григорий Иванович Лангсдорф. 1774–1852. Л., 1975; 2) Первая русская экспедиция в Бразилию. Л., 1977; 3) Русские источники по истории Бразилии первой трети XIX века. Л., 1977; 4) Петербург – Рио-де-Жанейро. Становление отношений. 1808–1828. Л., 1987; 5) Комиссаров Б. Н., Божкова С. Г. Первый российский посланник в Бразилии Ф. Ф. Борель. СПб., 2000.

³ Массов А. Я. 1) Российские моряки и путешественники в Австралии. М., 1993; 2) Андреевский флаг под Южным Крестом (Из русско-австралийских связей первой трети XIX века). СПб., 1995; 3) Россия и Австралия во второй половине XIX века. СПб., 1998; 4) Массов А. Я., Говор Е. Российские моряки и путешественники в Австралии. М., 2007.

ских и консульских представителей в Бразилии в МИД России и (в копиях) некоторым своим коллегам в других странах (главным образом в Англии, Франции, США), т. е. наиболее фундаментальный и обширный раздел внутренней дипломатической и консульской переписки, осуществлявшейся до 80-х гг. XIX в. (включительно) на французском языке. Донесения (а они отправлялись в основном из Рио-де-Жанейро) обычно сопровождалось разнообразными приложениями: внешней дипломатической и частной перепиской авторов донесений, дипломатической и консульской перепиской представителей других стран (в копиях), текстами речей бразильских государственных деятелей, отчетами о деятельности палаты депутатов Национальной ассамблеи, международными соглашениями (в копиях), аналитическими записками, статистическими таблицами, рисунками, вырезками из газет, печатными изданиями и т. п. Фактически почти каждое донесение сопровождалось своим архивом, причем тексты были далеко не только на португальском и французском языках.

Так, в 1812–1828 гг. из Рио-де-Жанейро в Петербург было послано 387 донесений [2]. За 26 месяцев службы в Рио-де-Жанейро Ф. Ф. Борель отослал 171 донесение, из них сохранилось 143 общим объемом почти в 1,5 тыс. листов. Сменивший Ф. Ф. Бореля А. П. Мальтиц в 1832–1836 гг. составил 178 донесений, занявших более 1 тыс. листов. Около 12 лет, в 1836–1848 гг., миссию России в бразильской столице возглавлял С. Г. Ломоносов, общий объем донесений которого превышает 3,2 тыс. листов. Преемником Г. И. Лангсдорфа на посту российского генерального консула в Рио-де-Жанейро в 1833–1842 гг. являлся Ю. А. Валленштейн. Ему принадлежат 409 донесений, объем которых превышает 3,5 тыс. листов. Таким образом, только за 20 лет дипломатических отношений России и Бразилии (1828–1848) в российском архиве отложилось свыше 9 тыс. листов донесений. Объем блока донесений А. И. Медема, О. И. Эверса, И. Ф. Коскуля и А. С. Ионина пока не определен, поскольку основная масса единиц хранения не имеет нумерации листов, но их, очевидно, не одна тысяча [3]. Это же касается донесений 1889–1916 гг.

Помимо обозначенного документального комплекса в источниковую базу для осуществления намеченного источниковедческого исследования должны быть включены и другие многочисленные материалы. Случалось, что служившие в Бразилии российские дипломаты и консулы посылали в МИД аналитические донесения и специальные записки с подробной информацией о финансах, торговле, армии, флоте и на прочие темы. Оттуда их пересылали в соответствующие министерства, в результате сейчас они сосредоточены в разных архивах. Например, объемная рукопись А. П. Мальтица об организации бразильской армии, датированная 1834 г., оказалась в Российском государственном военно-историческом архиве (РГВИА) в Москве.

За пределами АВПРИ, как правило, сосредоточены эпистолярные наследия дипломатов и консулов, их рукописи неслужебного характера, разнообразные персональные и семейные материалы, т. е. все то, что может дать более широкое и полное представление об их личностях. Так, материалы о С. Г. Ломоносове хранятся в Российском государственном архиве древних актов (РГАДА, Москва); Российском государственном историческом архиве (РГИА, Санкт-Петербург); Российском государственном архиве литературы и искусства (РГАЛИ, Москва); рукописных отделах Российской государственной библиотеки (ОР РГБ, Москва), Российской национальной библиотеки (ОР РНБ, Санкт-Петербург), Института русской литературы (Пушкинский дом) РАН (РО ИРЛИ, Санкт-Петербург).

В государственном архиве Российской Федерации (ГАРФ, Москва) есть личный фонд А. С. Ионина (ф. 939), насчитывающий 389 единиц хранения. Там же в фонде министра иностранных дел В. Н. Ламздорфа (ф. 568) сосредоточена значительная часть переписки А. С. Ионина. В рукописном отделе Национальной библиотеки в Рио-де-Жанейро хранится личный фонд Ю. А. Валленштейна, находившегося на российской консульской службе в Испании, США и Бразилии. Часть фонда, посвященная жизни и деятельности генерального консула в бразильской столице, микрофильмирована и насчитывает 11 тыс. листов [3].

Источниковедческий анализ всего этого огромного материала прежде всего предусматривает скрупулезное изучение отношений России с испаноязычными странами Америки в XIX – начале XX вв. В методологическом плане эта проблема как в отечественной, так и в мировой историографии далека от разрешения. Донесения дипломатов и консулов, т. е. субъектов этих отношений, в России использовались в самой минимальной степени, а, скажем, в Бразилии не использовались совсем. Например, микрофильмированный профессором Б. Н. Комиссаровым комплекс этих документов из Исторического архива Итамарати (т. е. МИД Бразилии) объемом около 22 тыс. листов не имеет полистовой нумерации, а значит, на него вообще не ссылались в печати [3]. Неудивительно, что на монографическом уровне упомянутая тема пока не разрабатывалась. Однако существуют статьи по этой проблематике и сборники архивных документов. Систематизировать и осмыслить всю содержащуюся в них информацию – важная задача на первом этапе исследования. Оно должно дать известное представление о месте латиноамериканского региона во внешнеполитической стратегии Российской империи, задачах, которые ставились перед служившими там дипломатами и консулами, реакции в петербургском МИД на поступающую от них информацию.

Не менее сложной представляется задача изучения, а точнее, реконструкции образов российских дипломатов и консулов, служивших в Рио-де-Жанейро. Реконструкция образа автора источника – трудная и кропотливая работа. И отметим дополнительно, что она во много раз затрудняется тем, что в данном случае авторами являются именно дипломаты и консулы. Дипломатическая сфера во все времена и во всех странах являлась прерогативой исполнительной власти, т. е. наиболее закрытой, не публичной, а поэтому в минимальной степени освещенной в литературе.

Методология построения образа автора источника в ходе источниковедческого анализа была разработана Б. Н. Комиссаровым [4]. Он использовал ее в ходе реконструкции образов российских дипломатических и консульских представителей в Рио-де-Жанейро в первой трети XIX в.¹ Образ Ф. Ф. Бореля реконструирован нами в соавторстве с Б. Н. Комиссаровым. Для аналогичного уровня реконструкции образов других авторов донесений необходимо помимо опубликованных источников привлечь все доступные архивные материалы, извлеченные, в частности, из фундаментальных картотек, хранящихся в РГИА, РО ИРЛИ (например, картотека Б. Л. Модзалевского), ОР РНБ, ОР РГБ, РО БАН, архиве Санкт-Петербургского института истории РАН, архиве Русского географического общества и др.

Другая насущная задача – выявление круга знакомств, связей и источников информации российских дипломатов и консулов в Бразилии. Основной источник для этого – сами донесения в МИД. При их исследовании наибольшие трудности возникают в процессе установления именно «информаторов» авторов донесений, поскольку их имена, обстоя-

¹ См. перечисленные ранее публикации Б. Н. Комиссарова.

тельства встреч и общения с ними прямо, как правило, не указываются, упоминания бывают главным образом косвенными или высказанными вскользь. Речь идет об устных сообщениях таких лиц, обстоятельствах передачи ими каких-либо документов, свидетельств или доказательств достоверности последних. Немаловажно понять также насколько и в каких пределах была доступна для российских представителей пресса испаноязычных стран и материалы о них в других периодических изданиях.

Вся упомянутая многотрудная работа необходима для введения в научный оборот огромного комплекса оригинальных источников по истории испаноязычных стран Америки. Это, несомненно, приведет к новым многочисленным историческим реконструкциям и существенно обогатит наши представления об этом регионе мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божкова С. Г. Материалы российских дипломатических и консульских представителей в Бразилии (1812–1916) как источник по истории испаноязычных стран Америки // Под созвездиями Большой Медведицы и Южного Креста. Российско-латиноамериканские отношения XVII–XXI веков. Материалы науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 25 ноября 2008 г. СПб., 2009. С. 6–9, 58.
2. Комиссаров Б. Н. Русские источники по истории Бразилии первой трети XIX века. Л., 1977. С. 20–53.
3. Комиссаров Б. Н. К вопросу о реконструкции российско-бразильских отношений в 1828–1889 гг. // Латинская Америка. 2003. № 3. С. 56–58.
4. Комиссаров Б. Н. Русские источники по истории Бразилии первой трети XIX века: автореф. дис. ... д-ра ист. наук / Акад. Наук СССР, Ин-т истории СССР, Ленингр. отд-е. Л., 1979. С. 22–23.

S. G. Bozhkova

A QUESTION ABOUT THE RESEARCH OF THE VAST LAYER OF THE NEW INFORMATION ON THE HISTORY OF SPANISH COUNTRIES OF LATIN AMERICA (1812–1916)

In modern quickly getting more and more global world the connections among the remotest regions are sometimes considerably increasing. Studying these modern problems is impossible without any adequate knowledge of the past. The article raises a question about the research of the vast layer of the new information on the history of Spanish countries of Latin America. It contains in the reports of Russian diplomatic and consular representatives in Brasil in 1812–1916.

International relations, diplomats, consuls, source study, the Russian Empire, the Brasil Empire, the United States of Brasil

УДК 81'42

Н. В. Степанова

СПЕЦИФИКА ЯЗЫКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПРЕССЫ В КРИЗИСНЫЕ ПЕРИОДЫ (НА МАТЕРИАЛЕ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ПЕРИОДИКИ 2008–2009 ГГ.)

Проводится лингвистический анализ англоязычной экономической прессы в кризисные периоды. Исследование позволило сопоставить дискурс некризисного и кризисного периодов развития мировой экономики на материале экономической периодики, а также провести сравнительный анализ освещения периода рецессии англоязычными газетами и журналами различного уровня.

Экономическая пресса, газетные статьи, стилистические приемы, сравнительный анализ, кризис, кризисная лексика

Исследование проводилось на материале англоязычной экономической прессы (издания The Financial Times, The Wall Street Journal, The Economist). Была использована сравнительная методика – сопоставление статей и рекламных объявлений в период эко-

номического кризиса (2008–2009) с соответствующими материалами некризисного периода. Изначально была выдвинута гипотеза, согласно которой интерпретация журналистами событий во время рецессии и при ее отсутствии будет отличаться, что неизбежно должно отразиться в языке исследуемых изданий.

Дискурс периода экономического кризиса – сравнительно новая тема для изучения. Собственно явление массовой коммуникации и язык СМИ исследуются достаточно давно (Harold Lasswell, Paul Lazarsfeld, Kurt Lewin, Carl Hovland, Marshall McLuhan, Anabela Carvalho, Machin and Niblock). В последние годы появились работы, посвященные языку экономической прессы (Linda McLoughlin, David Kynaston, Danuta Reah, Herbert J. Gans, Richard Keeble, Губик С. В. и др). Однако, насколько нам известно, дискурс СМИ в условиях кризиса анализу не подвергался. Поставленная проблема представляется актуальной, поскольку кризисы в мировой экономике происходят с определенной степенью регулярности.

Для того чтобы понять, каким образом кризис отражается в языке прессы, необходимо не просто рассмотреть языковую интерпретацию кризисного периода развития мировой экономики на материале газетных и журнальных статей, но и сопоставить его трактовку с интерпретацией более спокойной, некризисной эпохи. Структура нашего исследования в качестве предварительного этапа включает в себя лингвистический анализ англоязычной периодики 1989 и 2005 гг. (относительно спокойное время для мировой экономики в целом и, в частности, для экономики США и Великобритании). Затем следует исследование собственно кризиса 2008–2009 гг. как наиболее масштабного потрясения финансового мира за последние десятилетия.

Материалом для анализа лингвостилистических особенностей прессы в отсутствие кризиса послужили статьи двух ведущих мировых финансовых изданий (2005 г.: *The Financial Times* – 5 статей; 1989–1990 гг.: *The Wall Street Journal* – 5 статей).

Анализ языка прессы периодов экономического равновесия показал, что по сравнению со статьями кризисного периода в этих статьях больше положительно окрашенной лексики (*optimism, growth, healthy, stability, profitable, comfort* и др.). Негативно окрашенной лексики мало, в некоторых статьях всего несколько слов с отрицательной коннотацией, а иногда их нет совсем. Когда речь идет о кризисе, то повествование ведется в прошедшем или в будущем времени. В основном это прогнозы и предсказания предстоящих кризисов или абстрактные рассуждения, а не описание реально существующих проблем. При этом всегда подчеркивается необходимость быть осторожными, чтобы предотвратить возможный спад (*savings, change, risky, warning, cautious*). Иногда используется лексика кризисного периода (*decline, fall*), но в значительно меньшем количестве.

Основными темами статей являются: роль маркетинга в обществе и в организации, возможности определения целевой аудитории, получение информации для принятия решений, поведение покупателя, продвижение товаров, маркетинговые стратегии на международном рынке [1].

В целом статьи некризисного периода характеризуются невысокой степенью экспрессивности, спокойным стилем повествования, наличием небольшого числа стилистических приемов и эмоционально окрашенной лексики.

Исследование дискурса периода кризиса охватывает 2008 г., непосредственно предшествовавший экономическому спаду, пик рецессии (конец 2008 – начало 2009 г.), а также весь кризисный 2009 г. (по оценкам экспертов с конца 2009 г. началось постепенное восстановление мировой экономики). Кроме того, частично рассматривается посткризисный этап – 2010 г.

Для начала хотелось бы отметить некоторую общность трактовки кризиса всеми рассматриваемыми изданиями. Так, в каждом из них говорится о том, что настоящий кризис – это сильнейшее потрясение со времен 1930-х гг., в связи с чем часто производится сравнение с Великой Депрессией. В каждой статье ощущается неуверенность в будущем, неопределенность (например, встречается очень большое количество вопросительных конструкций и условных предложений с *if*). Упадок в экономике отражает использование такой лексики, как *crisis, recession, debt, fall, bail-out, cuts*. Часто кризис сравнивается с плохой погодой (*storm, clouds, eclipse*).

Статьи кризисного периода из *The Financial Times* и *The Wall Street Journal* обладают определенной спецификой. Как нам удалось выяснить, больше всего лексики в этих статьях связано непосредственно с кризисом, упадком, опасностью, вредным воздействием рецессии (*crisis, risk, risky, inflation, unstable, failure, fail, recession, disaster, disastrous, collapse, tough, exposure to the collapse, shrinkage, shockwave, deterioration*). Тем не менее время от времени внимание читателя акцентируется на положительных сторонах кризиса, таких как новые возможности, возникшие благодаря кризису, взаимопомощь, творческий порыв (*bail-out, help, insurance programs, insure, insurance policy, safe, protect, reform, liability, stabilize, bank support*), уроки кризиса (*we've learnt a few lessons in this, we've learnt our lesson, people in charge of financial & economical policy have learnt a brutal lesson & will do something about it*)¹. Кроме того, нередко речь идет о необходимости разумно расходовать финансовые средства в трудный период (*to husband, savings, resources*).

Если сравнивать статьи двух исследуемых газет по месяцам, то оказывается, что в начале 2009 г. (пик кризиса) тон гораздо более напряженный по сравнению, например, с концом 2009 г. или 2010 г.

Основными тематическими группами лексики в этот период являются: кризис (*crisis, recession, collapse, imbalance, stress, default, failure, disaster, confusion, shockwave, deficit, debt*); упадок, сокращение (*drop, decline, plummet, plunge, tumble, contract, sink, reduce, slump, reduce, shrink, lower, cut, fall, downgrade, downturn*); увольнения (*fire, redundant, dismiss*); опасность (*risk, risky, danger, threaten, panic, fear, challenge, warn, unstable, concerns, worry, exposure, unstable, disastrous, daunting, low, slow, vulnerable, sharp, deep, painful, poor, huge, massive, confused, weak, tough, worse*); понесенный ущерб (*losses, lose, damage, undermine, scars, poverty, unemployment, pain, trouble*).

Среди выразительно-изобразительных средств языка, используемых в статьях кризисного периода, преобладают гипербола, эпитет и метафора. С помощью гиперболы журналисты предпринимают попытку передать эмоциональную оценку происходящих событий, а также преувеличить их значимость в глазах читателя [2, с. 102] (*It was like having a motor-way without speed limits*², *the issue is the potentially huge losses down the road*³, *a loss of wealth & op-*

¹ Hill A. Today's crisis and the Great Depression // *The Financial Times*. October 30. 2009. URL: <http://www.ft.com>; Harris J. The Last Great Dollar Crisis // *The Wall Street Journal*. December 1. 2009. URL: <http://europe.wsj.com>.

² Hill A. Today's crisis and the Great Depression // *The Financial Times*. October 30. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

³ Van Duyn A. On Wall Street: Credit crisis is far from over by // *The Financial Times*. July 10. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

*portunities is universal after the deepest & the longest recession for several generations*¹). Эпитет содержит в себе эмотивные, экспрессивные и другие коннотации, благодаря которым выражается отношение автора к кризисной ситуации (*disastrous collapse, staggering proportions, buoyant levels, anaemic growth, increasing stress, heavy investments, tumbling oil prices, sharp economic deterioration, reviving growth, full-blown debt crisis*). Метафора привлекает внимание читателя, ярко и наглядно отображая кризис и его последствия за счет скрытого сравнения (*crisis leaves lasting scars, the distribution of this pain varies widely, there is more pain to come in the financial sector, suffered losses in the recession, felt severe pain, the scars will be permanent, Spanish recession tightens its grip*²). Также довольно часто в рассматриваемых статьях и новостных сообщениях используется ирония (*the music stopped & so did the dancing*³, *the notion that the US was an open & fluid society had always been as much myth as reality, it will enjoy a last hurrah next year*⁴), применение которой отражает критический взгляд автора на проблему и ее источники [2, с. 119].

В статьях кризисного периода в большом количестве встречаются не только тропы, но и стилистически используемые идиоматические выражения (*I don't think you can put the genie back in the bottle*⁵, *the finance ministers of the G5 held currency markets in the palm of their hands, China is caught in a "dollar trap"*⁶, *we blow a hole in a dollar, we don't require draconian immediate changes*), а также сленг (*don't be fooled by the bond market, global capitals dried up, catch up with Western living standard, stable interest rate causes people to go a little bit crazy, I think the whole system went crazy*⁷, *people hunkered down behind high tariff barriers, they'll make a mess out of it, juice up returns, a plan has been iced, kick-start growth*) и экспрессивная лексика (*a fact that is starting to dawn on many investors, uproar about bonuses, to loom, it will enjoy a last hurrah, demise of the G7, disappointed expectations, escape, repayments have jumped around 50 %*).

Среди фигур речи преобладают риторические вопросы (*Is there a safe harbor?*⁸ *So what is Western Europe doing to avert these losses? Will this crisis produce a Gatsby?*⁹) и инверсия (*So low has its stock fallen, the music stopped & so did the dancing*).

Как оказалось, в рассматриваемых статьях фактически не встречаются эвфемизмы, т. е. стремление скрыть, сгладить существующие проблемы не прослеживается.

Рекламные объявления, которые рассматривались на примере газеты The Financial Times 2009–2010 гг., относятся к следующим темам: банковское дело, деловое образование, распродажи, маркетинг, транспорт, кредиты и др. Большую часть лексики рекламных объявлений в экономической прессе можно отнести к трем основным тематическим группам: кризис (*challenges, challenging times, recession, risk, crisis, change*), экономия (*sale, discount*), поддержка и взаимопомощь (*by your side, we stand by you, we'll take it on, trust, opportunities*).

¹ Giles C. Economic cost: Crisis leaves lasting scars // The Financial Times. October 5. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

² Mallet V. Spanish recession tightens its grip // The Financial Times. August 15. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

³ Roche D. Eastern Europe and the Financial Crisis // The Wall Street Journal. March 28. 2009. URL: <http://europe.wsj.com>.

⁴ Giles C. Crisis leaves G7 on its last legs // The Financial Times. October 2. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

⁵ Hill A. Today's crisis and the Great Depression // The Financial Times. October 30. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

⁶ Harris J. The Last Great Dollar Crisis // The Wall Street Journal. December 1. 2009. URL: <http://europe.wsj.com>.

⁷ Hill A. Today's crisis and the Great Depression // The Financial Times. October 30. 2009. URL: <http://www.ft.com>.

⁸ Kansas D. Crisis Q & A: What if My Bank Fails The Stress Test? // The Wall Street Journal. May 7. 2009. URL: <http://europe.wsj.com>.

⁹ Mccann S. Will This Crisis Produce a "Gatsby"? // The Wall Street Journal. February 21. 2009. URL: <http://europe.wsj.com>.

Рекламодатели не стремятся скрыть от читателей суровую действительность, напротив, иногда даже подчеркивают существующие трудности, чтобы у потребителей рекламы появилось желание приобрести предлагаемый товар или воспользоваться услугой.

Журнал *The Economist* представляет собой издание, рассчитанное на более широкую аудиторию читателей, чем *The Financial Times* и *The Wall Street Journal*. Было рассмотрено 16 статей и 15 рекламных сообщений журнала в следующих сферах: образование и карьера в сфере бизнеса, инвестиции, менеджмент, банковское дело, право, страхование, экология.

По сравнению с *The Financial Times* и *The Wall Street Journal* здесь в гораздо большем объеме представлена экспрессивная лексика, стилистические приемы, сленг, идиомы и аллегории, явные преувеличения. Для этого издания характерна следующая лексика: *to be at loggerheads, to beg, topsy-turvy world, nasty, hedgefunds*.

Статьи журнала *The Economist* кризисного периода характеризуются большим количеством эмоционально окрашенной лексики по сравнению со статьями *The Financial Times* и *The Wall Street Journal*, поскольку язык этого издания гораздо более экспрессивный. Кризисный период в этом журнале метафорически сопоставляется с непогодой, штормом, ураганами, облачностью, бурями и дождями. В этом русле был написан целый выпуск издания под соответствующим названием «*Into the Storm*».

Лексика журнала, отражающая кризисные явления в экономике, связана с собственно рецессией (*crisis, debt, collapse, recession, default, deficit, crunch, depression, financial crash, devaluation, inflation, bankruptcy, imbalance, swathe*) и ее отрицательным воздействием (*tension, woe, shock, pain, hurt, turmoil, suffer, hesitation, confusion, loss, damage, regret, wound, misfortune, destroy, danger, pessimistic, harm, unemployment, slow, deep, sharp, risky, alarming, scary, unstable, hungry, distressed, poor, panicky*), с падением производства (*slash, dive, abate, contract, downturn, decline, sink, fall, drop, tumble, shrink, plunge, low, cut, slow, down, short, diminish, shortfall, decay, plummet, slump, shut down, depth, lack*), с займами (*lend, borrowing costs, loan, mortgage*), с ошибками, допускаемыми в ходе кризиса (*mistake, devalue, mismanagement, inaction, undermine, frustrate*). Нередко встречаются лексемы, отображающие любые изменения в принципе, без положительных или отрицательных коннотаций (*shift, change, hit, topple, swap*). В ряде случаев речь идет о борьбе с кризисом (*cope with, struggle, fight, combat, affect*), намечаются позитивные прогнозы восстановления экономики (*soar, raise, rocket, climb, boom, increase, enhancement, double, rise, surge, boost*), помощи со стороны более экономически устойчивых государств и организаций и взаимодействия с ними (*aid, bail-out, asking for help, financial help, save, assistance, support, saving benefits, insurance, rescue, protection, incentive, hedge funds, fiscal stimulus, rescue funds, compensate for guarantee, confidence-boosting measures, repair*). Наконец, так же, как *The Financial Times* и *The Wall Street Journal*, *The Economist* делает акцент на положительных моментах кризиса (*turnaround, surplus, growth, well-paying jobs, economy running smoothly, improvement, confidence, stable, recovery*).

Язык журнала *The Economist* более яркий, свободный и демократичный по сравнению с языком *The Financial Times* и *The Wall Street Journal*, поэтому здесь часто используется сленг, ирония, идиомы. Для *The Financial Times* и *The Wall Street Journal* эти приемы менее характерны, зато в этих изданиях часто используется метафора, поскольку они предназначены для более искушенного читателя [3].

В рекламе журнала встретились следующие тематические группы: изменение (*volatile, change, risk, risk education, financial crisis survival*); помощь и поддержка (*reliable, by your side, you and us, listening and understanding, unchanging principles, commitment, remain constant, virtues, trust, succeed, truly meet your goals, long-term financial relationship/perspective, secured, experience, independence, expertise, confidence, close and strong, help you sleep better at night, business friendly*), противостояние кризису (*capitalize, save, insurance*); мобильность (*now seize your opportunity, high time, at these times, stay ahead*).

Среди стилистических приемов доминируют: гипербола (*excellence, no room for error, nothing too shocking, the best institution/solution, the best bank in the world, perfect, ideal*), риторические вопросы (*isn't it high time someone got negative about negativity? can we find opportunity in turbulence?*¹), стилистическое использование идиоматических конструкций (*green light for business savings*).

Проведенное исследование позволяет утверждать, что статьи некризисного периода отличаются от кризисных меньшей экспрессивностью, более спокойной манерой изложения, наличием небольшого числа стилистических приемов и эмоционально окрашенной лексики. Однако тенденция к осторожности и желанию спрогнозировать возможный спад остается, что вполне объяснимо, принимая во внимание неустойчивость и непредсказуемость рыночной экономики [3]. Темы, затрагиваемые в отсутствие кризиса, очень многообразны и охватывают широкий спектр экономических и финансовых вопросов.

При написании статьи, новостного сообщения, рекламного объявления в период кризиса журналисты и копирайтеры естественным образом отражают в своих текстах истинное положение дел, акцентируя внимание читателей и клиентов на кризисной ситуации, на существующей опасности, на риске, угрожающем экономике в целом и отдельным лицам (компаниям) в частности.

Результаты исследования подтверждают, что специфика языка экономической прессы в кризисные периоды проявляется как на лексическом, так и на стилистическом уровне. Лексика кризисного периода – это, прежде всего, длинный синонимический ряд, связанный с самим понятием «кризис»: *crisis, failure, recession, disaster, collapse, confusion, trouble, default*. Соответствующим образом не менее ярко в ней отображается лексико-семантическая группа «упадок» (*fall, drop, decline, plummet, plunge, tumble, contract, sink, reduce, plunge, slump*). В языке экономической газеты на фоне кризиса прослеживается и беспокойство журналистов, предвидящих возможную опасность дальнейшего углубления кризиса. Такие слова, как *risk, risky, threaten, warn, panic, fear, challenge, unstable, worried, vulnerable* и другие встречаются здесь постоянно. Особое место в такого рода лексике отводится теме увольнения, потери работы (*unemployment, job loss*). Весь синонимический ряд слов такого типа в английском языке представлен в исследуемых нами англоязычных изданиях. Еще большим разнообразием отличается лексико-семантическая группа «вред, потери», включающая в себя всевозможные проявления кризиса, выраженные словами: *damage, pain, trouble, scars, unemployment, poverty, hunger, death, suicide* и т. д.

С другой стороны, журналисты в своих статьях предпринимают попытки противостоять кризисной ситуации, упоминая и о том, что даже на фоне глобальных потрясений так или иначе происходят положительные изменения и постепенно начинается движение вперед. По-

¹ Redesigning global finance // The Economist. November 15–21. 2008. P. 35.

добные позитивные тенденции отображает лексико-семантическая группа «рост, повышение»: *accelerate, soar, increase, develop*. Однако надо отметить, что слов с положительной коннотацией в период кризиса значительно меньше, чем отрицательно окрашенных лексем.

Стилистика прессы периода рецессии отличается особенной яркостью. Одними из наиболее частотных стилистических приемов в статьях кризисной эпохи являются гипербола и метафора, поскольку эти тропы позволяют создавать наглядные образы, привлекающие читателя и формирующие в его сознании картину происходящего с определенным преувеличением значимости некоторых событий. К другим приемам, используемым в газете кризисной эпохи, относится ирония, как правило, демонстрирующая личное отношение автора статьи к действиям влиятельных экономистов, финансистов, политиков и т. д. Довольно многочисленными являются идиомы, цель которых как можно более ярко описать кризис и не оставить равнодушным к нему никого из читающих газету или журнал.

Язык различных изданий экономического направления отличается определенными особенностями, что во многом связано с уровнем газеты или журнала. Так, авторитетная пресса (*The Wall Street Journal, The Financial Times*) неизменно делает ставку на максимально объективное отображение событий. Журнал *The Economist* отличается в этом смысле большей свободой выражения. Здесь журналисты чаще позволяют себе высказывать личную точку зрения на происходящие события и, вследствие этого, использовать более разнообразные лексико-стилистические возможности языка.

Наибольшее количество образно-выразительных средств языка и экспрессивной лексики в газете зафиксировано на момент усиления кризиса и его вступления в самую трудную стадию. Напротив, положительно окрашенные лексемы и тропы напрямую связаны с позитивными прогнозами экспертов и постепенным подъемом экономики после резкого спада.

Газетная статья кризисного периода – совершенно особое явление, так как в ней наглядно прослеживается отношение журналиста к происходящим событиям, его попытки описать ситуацию, объяснить ее читателю и осветить с помощью разнообразных языковых средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Applications in Basic Marketing. Clippings from the Popular Business Press. 1991–1992 / Edition. E. Jerome McCarthy. Michigan State University and William D. Perreault, Jr. University of North Carolina. A gift of Sabre Foundation, USA. Richard D. Irwin Inc., 1990 and 1991. 107 p.
2. Скребнев Ю. М. Основы стилистики английского языка: учебник. 2-е изд., испр.; на англ. яз. М.: АСТ: Астрель, 2000. 224 с.
3. Kynaston D. *The Financial Times. A Centenary History*. Viking. First published 1988. Printed in Great Britain by Richard Clay, Bungay, Suffolk, 1988.

N. V. Stepanova

LANGUAGE SPECIFIC FEATURES OF ECONOMIC PRESS IN TIMES OF CRISIS (BASED ON ENGLISH NEWSPAPERS AND MAGAZINES 2008–2009)

The article presents the linguistic analysis of English and American economic press during the period of the crisis 2008–2009. The research based on the economic periodicals enables to compare the language of recessionary and calm periods and to consider the way the language of English and American press reflects the impact of the crisis.

Economic press, newspaper articles, stylistic device, comparative analysis, crisis, crisis vocabulary

Сведения об авторах

Алексеев Алексей Александрович

Зам. зав. кафедрой автоматике и процессов управления СПбГЭТУ по учебной работе.
Тел.: +7 (921) 744-63-93.

Алексеев Владимир Васильевич

Зав. кафедрой информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.
Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: VVAlekseyev@mail.ru.

Андреев Валерий Сергеевич

Студент гр. 6301 кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (904) 633-57-90. E-mail: walek7@yandex.com.

Анушина Екатерина Сергеевна

Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7 (921) 885-50-39. E-mail: Anushinaes@mail.ru.

Афанасьев Александр Николаевич

Ведущий инженер-программист ОАО Концерн «Океанприбор» (СПб.).
Тел.: (812) 499-74-35. E-mail: gdp@oceanpribor.ru.

Афанасьев Валентин Петрович

Зав. кафедрой квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.
Тел.: (812) 234-31-16. E-mail: vrafanasiev@eltech.ru.

Богачев Юрий Викторович

Доцент кафедры физики СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.
Тел.: (812) 234-96-56. E-mail: spin_ltd@mail.ru.

Божкова Светлана Георгиевна

Доцент кафедры истории культуры, государства и права СПбГЭТУ, канд. ист. наук.
Тел.: (812) 726-17-64. E-mail: svetaastra@yandex.ru.

Боронахин Александр Михайлович

Доцент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7 (921) 924-33-83. E-mail: boronachin@mail.ru.

Бохман Евгений Давидович

Инженер кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, генеральный директор ООО «ИНЕРТЕХ».
Тел.: +7 (911) 217-34-04. E-mail: EDBokhman@mail.ru.

Бровкина Любовь Алексеевна

Стажер кафедры высшей математики № 2 СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (911) 705-51-32. E-mail: Brovkina-L@yandex.ru.

Бурков Евгений Александрович

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 136-30-51. E-mail: eaburkov@gmail.com.

Бутусов Денис Николаевич

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 008-71-90. E-mail: denorc@gmail.ru.

Васильева Анна Юрьевна

Инженер-программист ОАО Концерн «Океанприбор».

Тел.: +7 (950) 044-88-14. E-mail: proud_pon@mail.ru.

Воронов Юрий Викторович

Доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Voron945@mail.ru.

Голубев Иван Алексеевич

Аспирант кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (905) 210-07-80. E-mail: iagolubev@mail.eltech.ru.

Губарев Николай Владимирович

Студент гр. 6371 СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (951) 643-88-06. E-mail: komrad.gubarev@yandex.ru.

Дмитриев Герман Иванович

Ученый секретарь СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Sznmc_@mail.ru.

Драпкин Валерий Залманович

Руководитель лаборатории ЭПР, ст. науч. сотр. кафедры физики СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-96-56. E-mail: spin_ltd@mail.ru.

Житенева Марина Ивановна

Старший преподаватель кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-29-20, +7 (921) 400-49-94. E-mail: mizh197@mail.ru.

Жуков Константин Георгиевич

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 286-77-09. E-mail: k.g.zhukov@gmail.com.

Законников Евгений Александрович

Ведущий научный сотрудник Северо-Западного научного методического центра СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Zea_@mail.ru.

Захаров Игорь Сергеевич

Доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: Sergeich188@gmail.com.

Звонцов Александр Викторович

Доцент кафедры прикладной экономики, канд. экон. наук.
Тел.: (812) 346-29-20. E-mail: Zvontsov@list.ru.

Кабацкий Антон Викторович

Инженер кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.
E-mail: anton.kabatski@gmail.com.

Казаков Владимир Петрович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 980-42-71. E-mail: VK9628@yandex.ru.

Казанцева Анна Геннадьевна

Аспирантка кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: kasanutik@mail.ru.

Калякин Иван Валерьевич

Студент гр. 6586 кафедры ИИСТ СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: vovano2006@yandex.ru.

Карпачевский Алексей Владимирович

Студент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 759-27-11. E-mail: karalexkar@gmail.com.

Князев Михаил Николаевич

Научный сотрудник кафедры физики СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-96-56. E-mail: spin_ltd@mail.ru.

Комшилова Кира Олеговна

Ассистент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ,
канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: VSKonovalova@inbox.ru.

Кондратьева Татьяна Александровна

Инженер ЗАО «Научное и технологическое оборудование» (СПб.).
Тел.: +7 (961) 802-99-78. E-mail: Kondratyeva_taty@mail.ru.

Коновалов Сергей Ильич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovalov@mail.eltech.ru.

Коновалова Вера Сергеевна

Ассистент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: VSKonovalova@inbox.ru.

Корнилов Николай Александрович

Аспирант кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 257-71-28. E-mail: Koliak23@yandex.ru.

Королев Павел Геннадьевич

Доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ,
канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-93-93. E-mail: PGKorolyev@mail.eltech.ru.

Кротов Сергей Викторович

Студент ФКТИ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 381-27-51. E-mail: totem3006@gmail.com.

Крупальник Константин Маркович

Аспирант кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 371-45-46. E-mail: k.spektr@gmail.com.

Кузьменко Андрей Григорьевич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

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

Куприянов Михаил Степанович

Профессор кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 952-06-42. E-mail: mikhail.kupriyanov@gmail.com.

Кутузов Алексей Андреевич

Студент гр. 6398 СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 799-39-73. E-mail: aakutuzov89@ya.ru.

Ландау Игорь Николаевич

Руководитель конструкторско-технологического отдела СКТБ «Биофизприбор».

Тел.: (812) 430-91-96. E-mail: igordau@pochta.ru.

Ларионов Даниил Юрьевич

Студент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (904) 608-56-38. E-mail: ScumCoder@yandex.ru.

Магомедов Магомед Низарович

Старший преподаватель кафедры прикладной экономики, канд. экон. наук.

Тел.: (812) 346-29-20. E-mail: M.n.magomedov@mail.ru.

Мейев Владислав Алексеевич

Ведущий научный сотрудник Северо-Западного научного методического центра
СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Meyev@mail.ru.

Митяков Александр Владимирович

Студент ФКТИ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (963) 349-91-46. E-mail: avmityakov@gmail.com.

Мухин Николай Вячеславович

Аспирант кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (962) 724-16-91. E-mail: MuhinNV_LETI@mail.ru.

Павлухин Иван Сергеевич

Студент гр. 6332 ФКТИ СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 659-60-14. E-mail: pav401@mail.ru.

Падерно Павел Иосифович

Профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ.
Тел.: +7 (921) 090-40-31. E-mail: pipaderno@list.ru.

Петров Дмитрий Леонидович

Ведущий программист кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 309-93-52. E-mail: DLPetrov@mail.eltech.ru.

Подгорная Людмила Николаевна

Ассистент кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7 (904) 335-22-07. E-mail: o_ln@rambler.ru.

Попечителев Евгений Парфирович

Профессор кафедры биомедицинской электроники и охраны среды СПбГЭТУ, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук.
Тел.: +7 (921) 946-54-62. E-mail: eugeny_p@mail.ru.

Путов Антон Викторович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: anputov@yandex.ru.

Путов Виктор Владимирович

Зав. кафедрой систем автоматического управления СПбГЭТУ, декан ФЭА, профессор, д-р техн. наук.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Русяева Татьяна Леонидовна

Начальник отдела диссертационных советов СПбГЭТУ, канд. экон. наук.
Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: VVPutov@mail.ru.

Семенов Александр Вячеславович

Аспирант кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (931) 206-11-16. E-mail: AVSemenov88@mail.ru.

Серебрянский Денис Александрович

Инженер-программист кафедры ФЭА СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (905) 250-12-59. E-mail: denis.serebryansky@gmail.com.

Смирнова Вера Андреевна

Доцент кафедры высшей математики № 2 СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.
Тел.: +7 (911) 813-89-10. E-mail: vera-sm@yandex.ru.

Степанова Наталья Валентиновна

Ассистент кафедры иностранных языков, аспирантка кафедры иностранных языков .
Тел.: +7 (921) 349-19-09. E-mail: Native87@rambler.ru.

Стома Евгений Игоревич

Аспирант кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (921) 373-84-63. E-mail: stoma26@yandex.ru.

Стоцкая Анастасия Дмитриевна

Аспирантка кафедры корабельных систем управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (960) 242-01-23. E-mail: inferum@mail.ru.

Филатов Денис Михайлович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, аспирант.
Тел.: +7 (921) 998-89-09. E-mail: DenF2412@list.ru.

Фридман Алексей Сергеевич

Инженер-программист ОАО Концерн «Океанприбор».
Тел.+7 (911) 990-07-58. E-mail: alfry@yandex.ru.

Фролов Вячеслав Вячеславович

Ведущий научный сотрудник кафедры физики СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. физ.-мат. наук.
Тел.: (812) 234-96-56. E-mail: spin_ltd@mail.ru.

Холод Иван Иванович

Заместитель начальника департамента разработки ОАО «НИЦ СПбГЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-71-88. E-mail: Ivan.holod@nicetu.spb.ru.

Чекашева Наталья Александровна

Студентка гр. 6398 СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (951) 657-05-31. E-mail: jifts@mail.ru.

Черненко Юлия Сергеевна

Аспирантка кафедры физики СПбГЭТУ, магистр техники и технологии.
Тел.: (812) 234-96-56. E-mail: spin_ltd@mail.ru.

Чигирев Дмитрий Алексеевич

Аспирант кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.
Тел.: (812) 234-31-16. E-mail: thor1261@mail.ru.

Шальмов Роман Вадимович

Аспирант кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (952) 231-44-46. E-mail: RomanShalom@yandex.ru.

Шевцов Игорь Владимирович

Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7 (909) 564-72-15. E-mail: ShevtsovIV@KolaGMK.ru.

Шейнман Елена Львовна

Ведущий научный сотрудник ОАО Концерн "Океанприбор".

Тел.: (812) 499-74-35. E-mail: gdp@oceanpribor.ru.

Шестопалов Михаил Юрьевич

Проректор по научной работе СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 946-01-18. E-mail: shestopalov_08@mail.ru.

Правила представления рукописей авторами

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

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
 - рукопись статьи (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