МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

№ 2

2011

Курск

№ 2 2011
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2010 г.

Выходит два раза в год

Учредитель: ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-44620 от 15.04.11).

Редакционный совет

С.Г.Емельянов (председатель, главный редактор), д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
Л.М. Червяков (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;
Е.А.Кудряшов (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ.

В.И. Андреев, д-р техн.наук, профессор, МГСУ, г. Москва; **О.И. Атакищев**, д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ; **Р.К. Боженкова**, д-р филол. наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.В. Вертакова**, д-р экон. наук, профессор, ЮЗГУ; **В.Н. Гридин**, д-р техн. наук, профессор, ЦИТП РАН, Москва; **С.В. Дегтярев**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **В.Э. Дрейзин**, д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ; **И.А. Каляев**, чл. корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, НИИ МВС РАН, Таганрог; **А.Ф. Каперко**, д-р техн. наук, профессор, МГИЭ-иМ, Москва; **В.И. Колчунов**, академик РААСН, д-р техн. наук, профессор, ОрелГТУ; **Н.А. Кореневский**, д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ; **П.Ф. Кравчук**, д-р философ.наук, профессор, ЮЗГУ; **А.П. Кузьменко**, д-р физ.-мат. наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.Н. Кульчин**, чл.-корр. РАН, д-р физ-мат. наук, профессор, ИАиПУ РАН, Владивосток; **Ю.Д. Маркович**, д-р хим. наук, профессор, ЮЗГУ; **Д.А. Новиков**, чл.-корр.РАН, д-р техн. наук, профессор, ИПУ РАН, Москва; **А.В. Олейник**, д-р техн. наук, профессор, департамент Минтранс РФ, Москва; **В.Н. Опарин**, чл. корр. РАН, д-р физ-мат. наук, пофессор, ИГД РАН, Новосибирск; **А.В. Островский**, д-р экон. наук, профессор ИДВ РАН, Москва; **В.И. Римшин**, д-р техн. наук, профессор, МГАКХ, Москва; **Г.В. Секесов**, д-р техн. наук, профессор, ИГД РАН, Хабаровск; **В.Н. Сусликов**, д-р юр. наук, профессор, ЮЗГУ; **М.Л. Титаренко**, ак. РАН, д-р философ. наук, профессор, ИДВ РАН, Москва; **В.С. Титов**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; (отв.секретарь); **В.С. Федоров**, акад. РААСН, д-р техн.наук, профессор, Московский гос. ун-т путей сообщения; **А.С. Ястребов**, д-р техн. наук, профессор, СПГУТ, Санкт-Петербург; **С.Ф. Яцун**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ.

СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемые коллеги! 5

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 6

Коновальчик А.П.
Архитектура высокопроизводительных вычислительных систем на основе ПЛИС 6

Чернецкая И.Е.
Эффективность применения автоматизированной системы управления технологическим процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов 10

Гостев И.М., Ермилов А.В.
Применение фишеровских ядер к задаче идентификации диктора 15

Орлов А.А., Астафьев А.В., Провоторов А.В.
Методы и алгоритмы локализации изображений маркировок в управляемых системах видеонаблюдения 22

Кульков Я.Ю.
Применение адаптивной коррекции спектра речевого сигнала в системах оперативного управления на производстве 29

Титов В.С., Дидковский В.В., Соколов В.О.
Выбор низкочастотных прототипов широкополосных электромеханических фильтров (ЭМФ) 35

Соколов В.О., Быковская Н.Е., Резник М.Е.
Электромеханические фильтры (ЭМФ), не согласованные на входе 40

Соколов В.О., Кутуев А.Н., Ворначева И.В.
Синтез широкополосных электромеханических фильтров (ЭМФ) с узкополосными преобразователями 42

Редакционная коллегия:

Главный редактор
С.Г. Емельянов, д-р техн. наук, профессор

Зам. главного редактора
В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор

Члены редколлегии:

И.В. Зотов, д-р техн. наук, профессор
В.Э. Дрейзин, д-р техн. наук, профессор
Н.А. Кореневский, д-р техн.наук, профессор
Т.А. Ширабакина, канд. техн. наук, профессор

Адрес редакции: 305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 50-48-19
Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен О.А. Леоновой

Подписано в печать 27.10.11. Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ.л. 6,6.
Тираж 1000 экз. Заказ 100. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Титенко Е.А., Белокопытов А.В., Тутов Е.Б., Урясьева М.В.
Модифицированная продукционная система для решения задачи структурного распознавания образов.....45

Шевелев С.С., Кобелев Н.С., Кобелев В.Н.
Устройство выполнения логических операций.....50

К сведению авторов.....57

© Юго-Западный государственный университет, 2011

№ 2 2011

Scientific reviewed journal

PROCEEDINGS

of the SOUTH WEST
STATE
UNIVERSITY
Management, computer facilities,
Computer science. Medical instrument making

Published twice a year

CONTENS

Respected Collegues! 5

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCES 6

Konovalchik A.P.
The architecture of high-performance computing systems
on the basis of FPGA 6

Chernetskaya I.E.
Efficiency of application of the automated control system
for technological pelletizing process of finely ground
iron-ore materials 10

Gostev I.M., Ermilov A.V.
About application of Fisher kernels to the task of speaker
identification 15

Orlov A.A., Astafiev A.V., Provotorov A.V.
Methods and algorithms to localizations of the scenes
of the marking in operated system videonablyudeniya 22

Kulkov Y.Y.
Adaptive speech signal spectrum correction in the works control
management sustem 29

Titov V.S., Didkovskij V.V., Sokolov V.O.
Selection of low-frequency prototypes of wide-band
electromechanical filters 35

Sokolov V.O., Bykovskaya N.E., Reznik M.E.
Electromechanical filters which are not coordinated
on the entrance 40

Sokolov V.O., Kutuev A.N., Vornacheva I.V.
Synthesis of broadband electromechanical filters (EMF)
with narrowband converters 42

Titenko E.A., Belokopytov A.V., Tutov E.B., Uraseva M.V.
Modified production system to solve the problem
of the structural pattern recognition 45

Shevelev S.S., Kobelev N.S., Kobelev V.N.
Device of the execution logical operation 50

Information for authors 57

© Southwest State University, 2011

Уважаемые коллеги!

Вашему вниманию представлен очередной номер рецензируемого журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение».

Журнал объединяет статьи, посвященные управлению, вычислительной технике и информатике. В материалах журнала нашли свое отражение научные разработки преподавателей и сотрудников Юго-Западного государственного университета, а также других учебных заведений и научных школ Российской Федерации. В журнале представлены теоретические и экспериментальные исследования, которые прошли апробацию и внедряются в производство, а также исследования, нуждающиеся в дополнительной проработке.

В этом номере представлены результаты исследований таких проблем, как архитектура высокопроизводительных вычислительных систем на основе ПЛИС, эффективность применения автоматизированной системы управления технологическим процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов, применение фишеровских ядер к задаче идентификации диктора. Рассмотрены этапы аппаратного и программного высокоточного наведения с использованием метода анализа всплесков яркости. Проанализированы факторы, снижающие разборчивость речи в системах оперативно-технологической связи, приводятся результаты исследования существующих систем оперативной связи и возможные пути решения.

Рассматривается методика расчета электромеханических фильтров с учетом добротности резонаторов и преобразователей, которая гарантирует получение наименьших значений коэффициентов электромеханической связи преобразователей при заданных параметрах элементов ФНЧ. Также предлагается методика расчета электромеханических фильтров, не согласованных на входе, и синтез широкополосных ЭМФ с узкополосными преобразователями. Описана модифицированная продукционная система для решения задачи структурного распознавания образов, а также устройство выполнения логических операций.

Таким образом, сборник отражает достаточно широкий спектр научных результатов, полученных в области управления, вычислительной техники и информатики. Авторы статей продолжают развивать существующие и выдвигать новые подходы к решению задач в своих предметных областях. Опубликованные работы носят и фундаментальный, и прикладной характер, имеют высокий научный уровень и дают представление о ряде важных и актуальных исследований, существенных результатах, полученных за последнее время.

С.Г. Емельянов, д-р техн. наук,
профессор, ректор ЮЗГУ,
главный редактор журнала

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 681.03

А.П. Коновальчик, инженер-программист, ООО «Фаствел» (Москва)
(e-mail: konovalchik@fastwel.ru)

АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПЛИС

В статье рассмотрены особенности организации архитектуры высокопроизводительных систем на основе ПЛИС, а также вопросы встраивания ПЛИС-систем в гибридные кластеры.

***Ключевые слова**: вычислительные системы, архитектура комплекса, ПЛИС.*

***

Современные подходы к построению суперкомпьютеров диктуют новые требования ко всем элементам системы. Для достижения максимальных показателей производительности необходимо самым тщательным образом учитывать все параметры, а именно:

– спектр задач, для которых строится система;

– элементная база, на которой строится система;

– требования по энергопотреблению;

– общая площадь и параметры помещения, на которой инсталлируется система;

– организация инфраструктуры комплекса (система охлаждения, система энергопотребления итд);

– система передачи данных в комплексе;

– организация хранения данных;

– тактико-технические характеристики комплекса;

– операционные системы;

– программное обеспечение управления комплексом;

– удобство эксплуатации и обслуживания комплекса.

Конструирование высокопроизводительной системы всегда ставит разработчиков перед выбором – адаптация системы к определенным классам задач или обеспечение наибольшей универсальности и гибкости. При этом этап построения комплекса не является окончательным, не менее важной и сложной представляется задача эффективного использования такого вычислителя.

К классическим примерам относятся задачи криптографии (например, блочные шифры – DES, AES), которые обладают всеми признаками массового параллелизма и хорошо «ложатся» на ПЛИС-архитектуру, обеспечивая многократный рост производительности по сравнению с универсальными процессорами (рис. 1) за счет методов параллельного программирования.

При этом задачи криптографии, где используются комбинации нескольких алгоритмов (или многократно зацикленный алгоритм), уже не столь эффективно реализуемы на обычных ПЛИС-системах (например, алгоритм PGP).

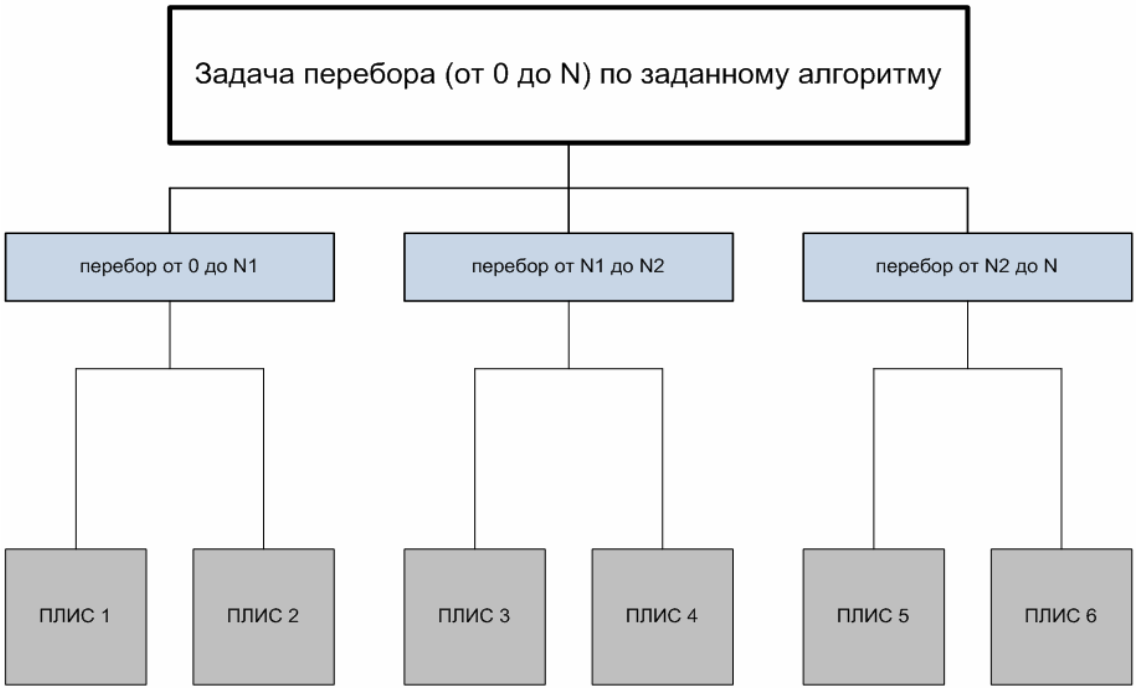

Рис. 1

В этой ситуации требуется рассматривать ПЛИС-вычислитель не как сервер, укомплектованный сопроцессорами-ПЛИС, способными принять информацию, за определённый промежуток времени обработать ее и выдать обратно, а как систему с общей средой передачи данных и центральным органом управления всеми ПЛИС. Это позволит разделить задачу на фрагменты и организовать эффективное взаимодействие между этим фрагментами.

Задачи криптографии не ограничиваются описанными выше двумя подклассами. Например, алгоритм «Радужные таблицы» имеет следующую структуру: выполняется алгоритм, результаты которого сохраняются в таблицах, из которых потом происходит выборка. В данном случае приведенные выше архитектуры комплексов не подходят по нескольким причинам:

– ПЛИС обладают высокой производительностью, но не предназначены для хранения существенных объемов данных;

– универсальные процессоры будут слишком долго выполнять построение таблиц (имеется в виду интервал времени, отличный от разумного, – часы, дни, возможно месяцы);

– GPU имеют встроенную оперативную память и множество процессорных ядер, но тем не менее не обладают такой высокой производительностью, как ПЛИС.

Суммируя все факторы, наиболее адекватной выглядит структура (рис.2) кластера, в которой:

– ПЛИС выполняют построение таблиц и по высокоскоростному интерфейсу скидывают данные для обработки на GPU;

– GPU накапливают в своей оперативной памяти данные с ПЛИС и производят поиск по таблице;

– сервер с универсальными процессорами осуществляет управление всей задачей.

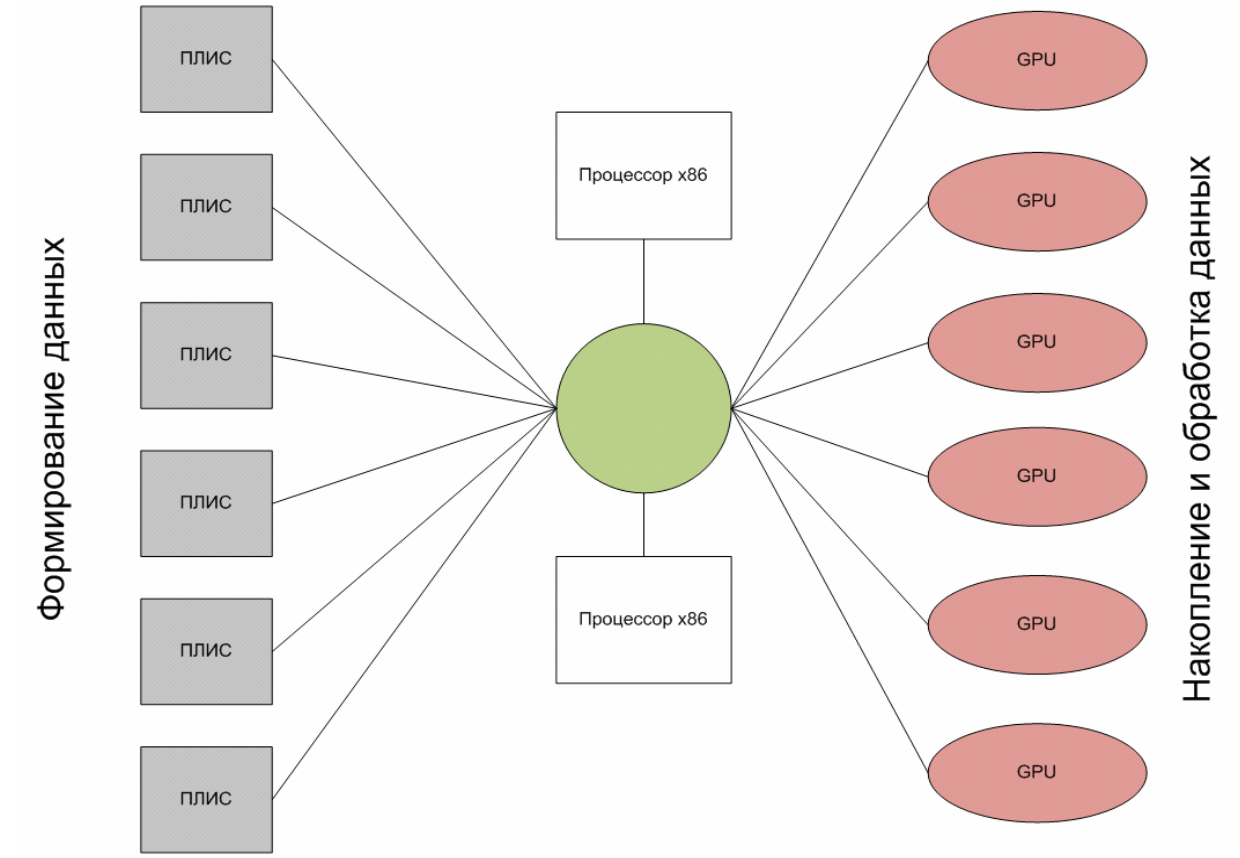

Рис. 2

Данная архитектура будет обладать рядом существенных преимуществ перед всеми конкурентами, оставаясь гибкой и адаптируемой к широкому классу задач, сохранять заметное превосходство в реальной производительности. Важнейшим элементом системы становится среда передачи информации. Необходимо, чтобы она была совместима со всеми типами устройств и при этом не становилась «узким горлом», тормозящим весь процесс вычислений.

Традиционные интерфейсы передачи данных, используемые многими производителями в России – LVDS и Rapid I/O. Связано это с несколькими причинами: 1) удобство использования для передачи данных между кристаллами ПЛИС, когда они установлены на одной монтажной плате; 2) фактор «привычки».

С другой стороны, потенциал данных интерфейсов очень ограничен и по своим техническим характеристикам, и по возможности использования в других архитектурах (GPU и CPU), они его просто не поддерживают, что ставит под сомнение понятие «универсальность и гибкость».

Ведущие мировые производители микросхем ПЛИС – Xilinx и Altera – встраивают в ядра своих продуктов поддержку наиболее популярных интерфейсов – LVDS, Rapid I/O и PCI-E. Особое внимание стоит сосредоточить на PCI-E, так как все типы платформ его поддерживают, и потенциал заложенных технических характеристик очень высок. Уже на сегодняшний момент PCIe x4 gen.3 способен поддерживать поток передачи данных на скорости до 4 Гбайт/сек. К

ключевым факторам относится и то, что все без исключения производители встраивают ядра PCIe в свои разработки, средой передачи данных в высокопроизводительных кластерах является PCIe, стандарты PCI-e все время обновляются и идут вперед по технологической цепочке.

Отсюда можно сформулировать научную задачу – необходимо создать ПЛИС-устройства с поддержкой PCIe на программном и аппаратном уровне. Это позволит создавать гибридные высокопроизводительные кластеры с единой средой передачи данных, что в свою очередь решит сразу несколько задач: существенно расширит спектр применения комплексов и существенно увеличит производительность.

Такое аппаратное решение будет очень эффективно с точки зрения программирования. Ведь ключевой тенденцией в повышении производительности современных суперкомпьютеров является в том числе и программные разработки. Программист получит единое вычислительное поле, состоящее из различных кристаллов, и отличную возможность управления всеми параллельными процессами, например за счет применения среды MPI.

Построение гибридного вычислителя сегодня ставит перед программистами ряд дополнительных задач: кроме того, что необходимо создавать исходные коды под разные архитектуры, требуется большое количество времени и сил тратить на согласование передачи потоков между ними. Согласование частот обработки информации, входных/выходных интерфейсов, форматов данных и команд – это те вещи, без которых невозможна корректная обработка информации, но на них приходится тратить огромное количество времени. При этом нужно учитывать, что невозможна полнофункциональная отладка комплексов без аппаратных частей, что ведет к существенному увеличению времени подготовки системы к работе, а каждая новая задача для вычислителя – будет требовать времени на разработку по формуле «не меньше, чем…»

Список литературы

1. Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. М.: Янус-К, 2003. 380 с.

2. URL: http://www.parallel.ru/fpga/official.html.

3. URL: http://www.hpcc.unn.ru.

4. URL: http://www.hpc-russia.ru.

Получено 25.07.11

A.P. Konovalchik, Engineer-Programmer, Fastwel Ltd (Moscow) (e-mail: konovalchik@fastwel.ru)

THE ARCHITECTURE OF HIGH-PERFORMANCE COMPUTING SYSTEMS ON THE BASIS OF FPGA

The article considers the features of the architecture of high-performance systems on the basis of FPGA. Considered are the questions of embedding FPGA-based systems in hybrid clusters.

***Key words**: computer systems, complex architecture, FPGA.*

УДК 622.673.8

И.Е. Чернецкая, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: white731@yandex.ru)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГРАНУЛООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены основные результаты применения автоматизированной системы управления технологическим процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов в промышленных условиях и подтверждена ее эффективность.

***Ключевые слова**: автоматизированная система управления, гранулообразование, тонкоизмельченные железорудные материалы.*

***

Автоматизированная система управления технологическим процессом гранулообразования состоит из следующих подсистем:

1) подсистемы управления шихтоподготовкой, в которой исходя из результатов лабораторных анализов химического состава концентрата и добавок (бентонита и известняка), показаний датчиков влажности концентрата и шихты, весоизмерителя концентрата, на основании математической модели рассчитываются параметры технологического процесса, такие как количество основных компонентов шихты на тонну концентрата, количество воды для поддержания необходимой влажности шихты, а также формируются управляющие сигналы, подаваемые соответственно на тарельчатые питатели известняка, бентонита и на дозатор воды для обеспечения оптимизации параметров шихты, поступающей на гранулообразование [2]. Подсистема управления шихтоподготовкой состоит из двух модулей: модуля определения минимального количества упрочняющих и связующих добавок в соответствии с технологией производства гранул и модуля компенсации избыточного содержания влаги в шихте [2];

2) подсистемы управления технологическим процессом сырого гранулообразования, включающей полный цикл производства сырых гранул (окатышей), на основе теории укрупнения гранул под действием механических нагрузок [3], математической модели перемещения сыпучего материала в окомкователе, кинетики роста гранул в процессе их формирования, позволяющей управлять процессом гранулообразования сыпучих тонкоизмельченных материалов в совокупности с работой механического оборудования;

3) подсистемы управления электроприводом барабанного окомкователя (система автоматического управления скоростью вращения барабанного окомкователя), интегрированной в систему сбора, обработки данных и управления процессом гранулообразования, основанной на импульсном реостатном регулировании момента двигателя, с использованием многозонной импульсной модуляции [4], в которой на основе полученных данных от датчика скорости вращения барабана, показаний датчика влажности шихты, весоизмерителей концентрата, циркуляционной нагрузки, гранул класса крупности 7-9 мм, сырых кондиционных гранул производится расчет скорости вращения барабанного окомкователя, обеспечивающей, с одной стороны, перемещение гранулируемой массы в

режиме переката или при необходимости ПДН (повышенных динамических нагрузок) [5], а с другой – образование гранул кондиционного класса требуемого качества в зависимости от меняющихся параметров технологического процесса.

В качестве датчиков влажности концентрата и шихты в зависимости от технологии процесса гранулообразования могут использоваться датчики, основанные на различных способах определения влажности. Так на этапе подачи концентрата в смеситель рекомендуется использовать датчик влажности контактного автоматического определения влажности, основанный на кондуктометрическом способе ее определения. А на этапе подачи шихты в барабанный окомкователь – СВЧ влагомер [6].

Объединение подсистем управления процессом формирования гранул из тонкоизмельченных железорудных материалов в единую систему сбора, обработки данных и управления процессом гранулообразования (рис. 1) позволило комплексно выполнять анализ и прогнозирование процесса производства окатышей, оперативно устранять возникающие нарушения, контролировать ход производственного процесса на всех технологических этапах производства железорудных гранул, а также формировать базу данных, в которой отражаются все параметры процесса.

При этом были достигнуты следующие технико-экономические показатели, обеспеченные совокупной эффективностью всех подсистем автоматизированной системы управления процессом гранулообразования, совместно с режимом окомкования ПДН (повышенных динамических нагрузок):

– повышение оперативности контроля и управления в 5 раз;

– повышение оперативности реализации принятия решений в 4 раза;

– повышение производительности барабанного окомкователя в режиме повышенных динамических нагрузок (ПДН) до 150 т/час;

– увеличение выхода качественных гранул на 6,3%;

– повышение прочностных характеристик сырых гранул на 10%;

– уменьшение погрешности при определении влажности материалов, поступающих на окомкование, на 0,19% абс. ед. влажности;

– повышение прочностных характеристик обожженных гранул на 30%;

– увеличение радиуса области конвергентности (абсолютной устойчивости), в которой исключаются недетерминированные режимы и катастрофические явления, приводящие к многократному увеличению амплитуды колебаний в 7 раз;

– повышение статической точности регулирования (снижение статической ошибки) электроприводом барабанного окомкователя в 7,5 раза;

– уменьшение расхода упрочняющей и связующей добавки на 5-10% (показатель ресурсосбережения);

– уменьшение выхода гранул диаметром более 16 мм (класс +16 мм) и менее 9,5 мм (класс – 9,5мм) на 25%;

– увеличение доли фракции +9,5 мм на 8,9%;

– уменьшение диапазона крупности гранул кондиционного класса на 40,6%;

– уменьшение коэффициента пульсации момента двигателя электропривода барабанного окомкователя в 3 раза;

– уменьшение расхода кокса при плавке тонны чугуна в среднем составил 2,0%.

В связи с тем, что окатыши, получаемые в результате процесса гранулооб-

разования, не являются конечным продуктом, а являются сырьем для доменного производства, экономический эффект от внедрения средств автоматизации на фабрике окомкования обеспечивается путем снижения потерь сырья и затрат топлива при производстве гранул из тонкоизмельченного железорудного материала, а также улучшением их качества. От качества железорудных гранул существенно зависит основной показатель эффективности доменной плавки – расход кокса на тонну выплавляемого чугуна.

Основные результаты достигнутых показателей эффективности применения автоматизированной системы управления процессом гранулообразования приведены на диаграмме (рис. 2). На лучах диаграммы отложены относительные значения основных показателей качества.

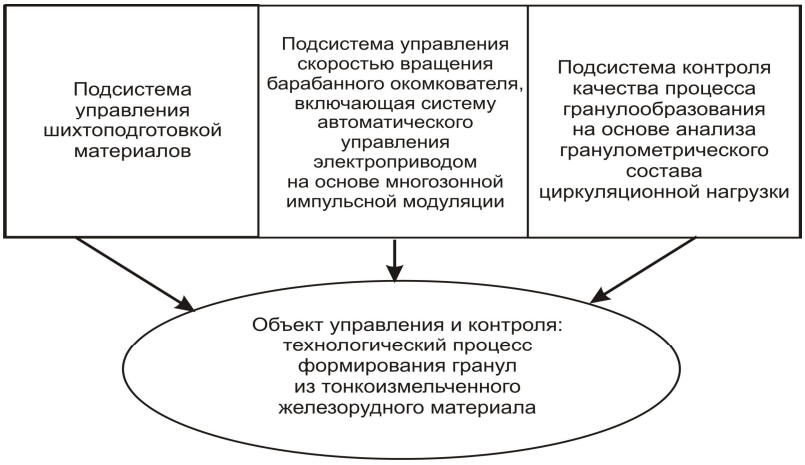

Рис. 1. Система сбора, обработки данных и управления процессом гранулообразования

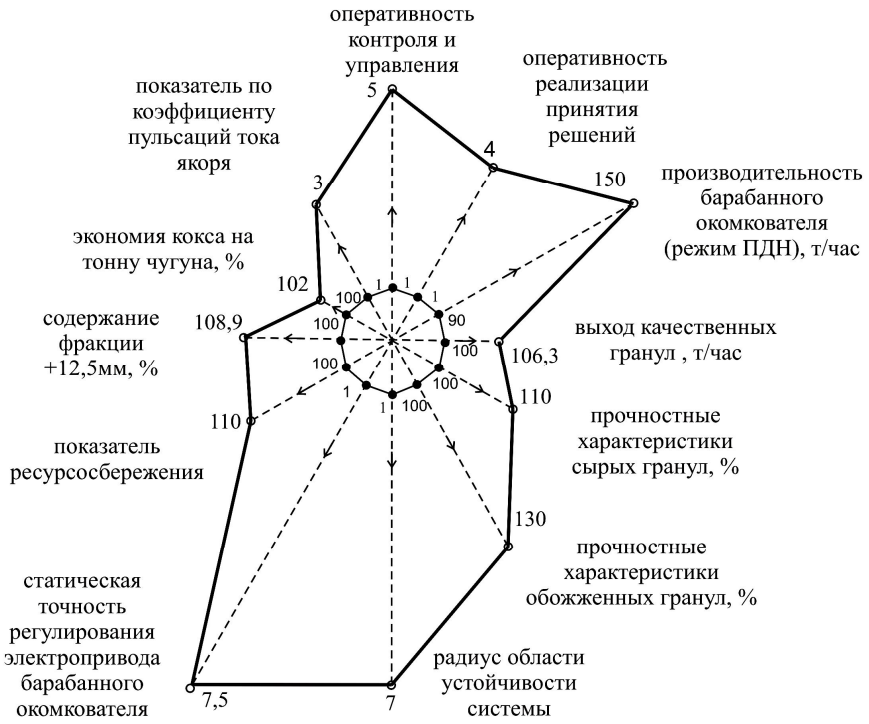

Рис. 2. Основные результаты достигнутых показателей эффективности применения автоматизированной системы управления процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что применение автоматизированной системы управления технологическим процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов обеспечивает требуемые показатели качества производства железорудных гранул и в целом эффективность доменного производства чугуна.

Необходимо отметить, что при внедрении автоматизированной системы управления процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов было доработано следующее технологическое оборудование: барабанный окомкователь путем введения внутреннего устройства, реализующего режим ПДН (повышенных динамических нагрузок) (нож); введение дополнительного грохота для осуществления выборки промежуточных гранул 7-9 мм. Обеспечение режима ПДН не вносит изменения местоположения технических устройств процесса гранулообразования.

При невозможности введения дополнительного грохота, что обусловлено особенностями процесса гранулообразования на отдельном предприятии, предлагается применение одного грохота с тремя зонами грохочения (устройства классификации материала на выходе барабанного окомкователя) вместо двух.

При этом предлагаемый роликовый грохот имеет следующие конструктивные особенности, представленные на рис. 3.

Первая зона грохочения I имеет расстояние между роликами, составляющее 0,79 от размера кондиционной гранулы (до 7 мм для данного производства). При этом просеивается основная часть циркуляционной нагрузки барабанного окомкователя.

Во второй зоне грохочения II производится выделение гранул размером от 0,8 до 1,0 от размера кондиционной гранулы (от 7 мм до 9 мм для данного производства). При этом полученные гранулы измеряются гранулометром, в качестве которого могут применяться конвейерные весы, и полученная информация будет являться показателем гранулообразования, используемым в системе управления непрерывным процессом для оценки его качества. Затем системой конвейеров гранулы данной зоны подаются в барабанный окомкователь (вторая часть циркуляционной нагрузки).

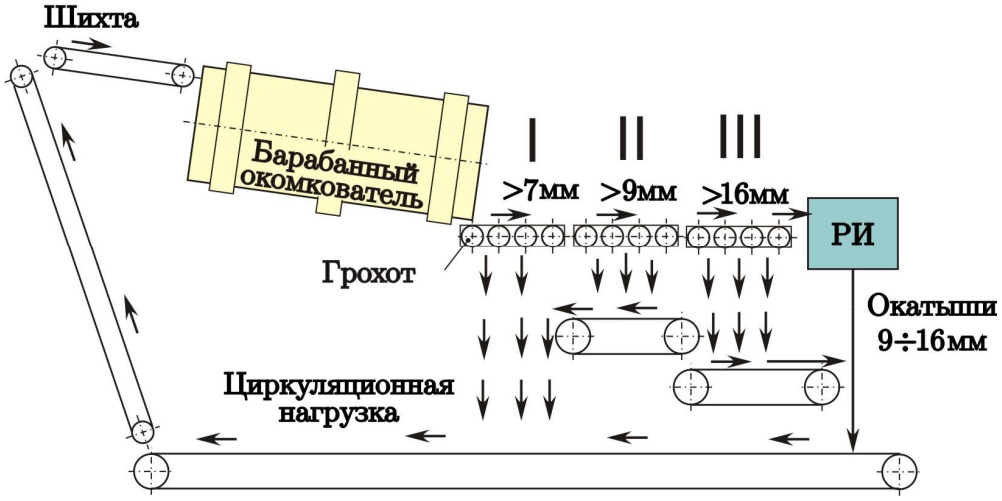

Рис. 3. Конструктивные особенности предлагаемого грохота

Третья зона грохочения III имеет расстояние между роликами, составляющее 15 мм. При этом выделяются гранулы (окатыши) кондиционного класса, соответствующие требованиям качества процесса гранулообразования. Далее гранулы системой конвейеров проступают на сушку и обжиг.

Оставшийся надрешетный продукт грохота является продуктом размером более 16 мм, который не является качественным, и после измельчения в роторном измельчителе системой конвейеров подается в барабанный окомкователь (третья часть циркуляционной нагрузки).

Таким образом, применение предложенного устройства классификации материала на выходе барабанного окомкователя обеспечивает выделение необходимых диапазонов размеров для оценки качества процесса без существенного изменения местоположения технических устройств процесса гранулообразования.

Автоматизированная система управления процессом гранулообразования без существенных изменений своих функциональных элементов и блоков может быть использована для решения ряда других задач. Например, для контроля и управления непрерывными технологическими процессами производства фосфорных минеральных удобрений [7].

Результаты промышленных испытаний автоматизированной системы управления процессом формирования гранул из тонкоизмельченного железорудного материала подтверждают ее высокую эффективность в улучшении основных показателей качества железорудных гранул (окатышей) и их доменной плавки при производстве чугуна, а также обеспечивают ресурсосбережение на предприятиях по переработке железорудных материалов.

Список литературы

1. Пат. 2274664 Российская Федерация, МПК C22B 1/14. Способ управления процессом окомкования сыпучих материалов / Чернецкая И.Е., Исаев Е.А. № 2003127788/02; заявл. 15.09.2003; опубл. 20.04.2006, Бюл. № 11.

2. Пат. 88023 Российская Федерация, МПК C22B 1/16. Устройство контроля процесса окомкования железорудных материалов / Конча О.Э.Э., Чернецкая И.Е., Борзов Д.Б. №2009120088/22; заявл. 26.05.2009; опубл. 27.10.2009, Бюл. №30.

3. Чернецкая И.Е., Исаев Е.А. Вероятностная модель увеличения массы гранул // Вестник МГТУ. 2010. №3. С. 60–63.

4. Электропривод с многозонным импульсным управлением для окомкования сыпучих материалов / Ж.Т. Жусубалиев, В.С. Титов, И.Е. Чернецкая, О.О. Яночкина // Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. №2(18). С. 45–50.

5. Пат. 2199596 Российская Федерация, МПК C22B1/24. Способ окомкования сыпучих материалов / Исаев Е.А., Чернецкая И.Е. №2000132046/02; заявл. 21.12.2000; опубл. 27.03.2003, Бюл. № 11.

6. Чернецкая И.Е., Потапов Д.С. Устройство измерения влажности аглоруды методом СВЧ // Известия вузов. Серия «Приборостроение». 2008. №2. С. 69–73.

7. Исаев Е.А., Завальнюк О.П., Чернецкая И.Е. К вопросу принятия решений при оптимизации гранулирования рыбной муки в барабане // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы: научно-технический журнал (Херсонский гос. техн. ун-т). 2006. №1(17). С. 132–137.

Получено 22.08.11

I.E. Chernetskaya, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: white731@yandex.ru)

EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PELLETIZING PROCESS OF FINELY GROUND IRON-ORE MATERIALS

This article presents the main results of the application of the automated control system of technological pelletizing process of finely ground iron-ore materials in industrial conditions and confirmed its efficiency.

***Key words**: automated control system, pelletizing, finely ground iron-ore materials.*

УДК 519.68:007.5

И.М. Гостев, д-р техн. наук, профессор, НИУ ВШЭ (Москва) (e-mail: igostev@hse.ru)

А.В. Ермилов, аспирант, НИУ ВШЭ (Москва) (e-mail: alvalerm@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ ФИШЕРОВСКИХ ЯДЕР К ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРА

Исследуются методы применения машины опорных векторов (Support Vector Machine – SVM) с разными типами ядер к задаче идентификации диктора. В качестве входных данных используются фишеровские признаки для разных типов каналов (телефон и GSM, микрофон). Анализируется точность идентификации при варьировании длительности сообщения.

***Ключевые слова**: распознавание речи, идентификация диктора, фишеровские признаки.*

***

Введение

Задача идентификации диктора по звуковому сообщению является частным случаем задачи распознавания образов, для решения которой требуется построить статистический критерий принадлежности нового звукового сообщения к одному из классов, задаваемых «обучающими» сообщениями.

В настоящее время существует два подхода к идентификации диктора: закрытый и открытый. В первом случае классификации предполагается, что новое сообщение принадлежит одному из рассматриваемых дикторов, во втором – сообщение может относиться и к неизвестному диктору.

Задача распознавания диктора может решаться следующим способом. На первом этапе происходит вычисление признаков, которые характеризуют входной речевой сигнал. Его нарезают на фреймы перемещением оконной функции (например, окна Хемминга) по оси времени, а затем на полученных фреймах вычисляются признаки. В качестве признаков обычно используются векторы кепстральных (Mel – frequency cepstral coefficients, MFCC) коэффициентов. Полученные векторы рассматриваются как точки в многомерном пространстве. В дальнейшем задача идентификации рассматривается как построение статистического критерия разделения полученных точек для конечного числа простых гипотез в случае закрытой задачи или для конечного числа простых и одной сложной гипотезы (сообщение неизвестного диктора) в случае открытой задачи.

В качестве метода идентификации используется алгоритм, основанный на «машине опорных векторов» (Support Vector Machines, SVM) [1], являющийся базовым инструментом для распознавания образов, на основе статистической теории обучения. SVM широко используется в естественно-языковых приложениях при обработке речевых сигналов. На-

пример, задачи распознавания языка искаженного текста и идентификация диктора. Одним из ключевых аспектов применения SVM к распознаванию речи является нахождение способа работы с предложениями переменной длины [2]. Возможный способ решения этой проблемы – применение фишеровских ядер [2].

Вообще применение ядерных методов является стандартной техникой в случае, когда представляется невозможным решить задачу с помощью линейных методов. В качестве ядер могут быть использованы гауссианы, полиномы, сигмоидные функции и т. п. Фишеровское ядро задает скалярное произведение с помощью функции потерь из задачи максимального правдоподобия. Целью данной работы является определение практической применимости фишеровских ядер к задаче распознавания диктора.

1. Метод, основанный на SVM

Идея SVM основана на следующих предпосылках. Предположим, что существуют два класса объектов в некотором пространстве, которые можно разделить гиперплоскостью так, что с одной стороны от гиперплоскости должны находиться векторы одного класса, с другой – второго. Очевидно, что такая гиперплоскость не единственная. Построим две такие параллельные гиперплоскости. Для лучшего разделения классов требуется, чтобы расстояние между плоскостями было как можно больше. Обычно для нахождения параллельных разделяющих гиперплоскостей с максимальным расстоянием в методе опорных векторов минимизируется квадратичная функция с линейными ограничениями. Решение такой задачи выражается через координаты обучающих векторов, лежащих на краю разделяющей полосы, так называемых опорных векторов. В случае, когда классы линейно неразделимы в исходном пространстве, строится отображение (необязательно линейное) в пространство большей размерности, образы классов в котором линейно разделимы. Это пространство называется пространством вторичных признаков.

Алгоритм SVM обладает следующими преимуществами:

1. В силу решения задачи минимизации выпуклой функции алгоритм гарантирует получение единственного решение. Это является серьёзным преимущество перед нейронными сетями, в которых решением может быть локальный минимум или ответ может быть нестабильным.

2. В связи с тем, что алгоритм робастен к зашумленности исходного сигнала, он хорошо приспособлен для распознания речи.

3. Алгоритм может работать с данными очень больших размерностей, что важно при распознавании речи, где размерность вектора признаков может достигать многих сотен или тысяч.

В задаче идентификации диктора кепстральные коэффициенты обычно используются как опорные векторы. Далее мы модифицируем их при помощи фишеровского ядра.

Для формализации задачи обучения SVM обозначим векторы признаков как $\{\mathbf{X}_i\}_{i=1}^{N}$, а линейную функцию $(\mathbf{W},\mathbf{X})+b=0$. Обозначим разделяемые классы через A и B и введем метки классов:

$$y_i = \begin{cases} 1, \mathbf{X}_i \in A, \\ -1, \mathbf{X}_i \in B. \end{cases}$$

Тогда задача обучения SVM выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{2}(\mathbf{W},\mathbf{W}) \to \min_{\mathbf{W},b}, \qquad (1)$$
$$y_i((\mathbf{W},\mathbf{X}_i)+b) \geq 1,\ i=1,...,N.$$

В такой постановке задачи мы запрещаем векторам находиться на той стороне от гиперплоскости, которая соответствует другому классу. В такой постановке разделяющая полоса носит называние «жесткой». В общем случае задача решается в пространстве вторичных признаков и вместо «жесткой» разделяющей полосы рассматривается штраф за нарушение ограничения.

Использование пространства вторичных признаков помогает справиться с линейной неразделимостью, а использование штрафов – с возможным «переобучением» (overfitting).

В результате преобразований исходной задачи получаем задачу квадратичного программирования с линейными ограничениями:

$$\frac{1}{2}(\mathbf{W},\mathbf{W}) + C\sum_{i=1}^{N} p(e_i) \to \min_{\mathbf{W},b},$$
$$y_i((\mathbf{W},\varphi(\mathbf{X}_i))+b) \geq 1-e_i, \qquad (2)$$
$$e_i \geq 0,$$
$$i=1,...,N,$$

где φ – отображение из пространства признаков в классифицирующее евклидово или гильбертово пространство;

$p(\cdot)$ – неотрицательная монотонно неубывающая функция штрафа такая, что $p(0) = 0$;

$C > 0$ – эмпирически подобранный коэффициент.

Обычно нет необходимости задавать всё отображение φ, а достаточно лишь указать его значение на обучающих векторах. Например, гауссово ядро определяется как формула $K(X_i, X_j) = e^{\|X_i - X_j\|}$.

Однако на практике приходиться решать задачу разделения на три и более классов (например, в нашем случае класс совпадает с диктором, таким образом, появляется 15 классов). Для её решения был применён метод, называемый «каждый против каждого» (One vs. One). Суть метода заключается в следующем. На этапе обучения рассматривается $q(q+1)/2$ классификаторов SVM, различающих пары классов, где q – количество классов.

Каждый из классификаторов обучается только на векторах, принадлежащих двум соответствующим данному классификатору классам, поэтому время обучения и количество опорных векторов получаются меньше, чем у SVM типа «каждый против всех».

Для каждого распознаваемого вектора рассчитаем все значения классифицирующих функций, отделяющих i-й класс от j-го, затем вычислим q сумм

$$\mathrm{f}_i(\phi,\mathbf{X}) = \sum_{j \equiv i} \phi(\mathrm{f}_{ij}(\mathbf{X})),$$

где $\phi(\cdot)$ – некоторая монотонно неубывающая функция, и выберем из них наибольшую (например, *sing*). Соответствующий класс, для которого получена максимальная оценка, и будет ответом распознавателя.

Следует отметить, что метод имеет следующие особенности:

1. Вычислительная сложность обычных алгоритмов, решающих задачу квадратичного программирования, делает задачу обучения SVM крайне трудоемкой для больших наборов данных.

2. Решение задачи подбора ядра требует их предварительного изучения.

3. Для определения величины параметра штрафа C также необходимо предварительное исследование.

2. Применение фишеровских ядер

Задача идентификации диктора может быть решена с использованием классификаторов, которые напрямую строят разделяющую поверхность в пространстве признаков. В качестве таких классификаторов обычно используются Gaussian Mixture Models (GMM [3]) или линейный дискриминант Фишера [4]. Их недостаток заключается в том, что они не используют ту информацию, которая не важна для целевой функции. Таким образом, необходимая для классификации сообщений информация может быть потеряна, что негативно скажется на точности распознавания.

Для устранения этого недостатка используется подход, основанный на фишеровских ядрах [2], которые отображают всё озвученное диктором предложение целиком (полное высказывание) в единственную точку, что позволяет проводить их разделение. Однако, чтобы представить высказывание в виде одной точки, оно должно находиться в пространстве большой размерности. Это не вызывает затруднений, поскольку SVM и предназначен для решения задач высокой размерности.

Идея предлагаемой модификации метода заключается в использовании в качестве ядра функции потерь, вычисленной с помощью апостериорных вероятностей наблюдений, которые получены от порождающей модели (например, скрытые марковские модели или GMM).

Пусть $P(X|\theta)$ – апостериорная вероятность, полученная от порождающей модели. В пространстве всех возможных $P(X|\theta)$ скалярное произведение задаётся как $U_X^T F^{-1} U_X$, где $F = E_X U_X U_X^T$ – матрица информации Фишера и $U_X = \nabla_\theta \log P(X|\theta)$ – фишеровская функция потерь.

Таким образом, определяем ядро в виде

$$K(X_i, X_j) = U_{X_i}^T F^{-1} U_{X_j}. \qquad (3)$$

Очевидно, что построенная таким образом функция действительно будет ядром, поскольку является симметричной и положительно полуопределённой функцией.

В ряде случаев для простоты можно использовать не саму матрицу Фишера, а её приближение в виде единичной, тогда (3) преобразуется в обычное скалярное произведение в евклидовом пространстве.

На практике вторым шагом работы алгоритма является преобразование фишеровского ядра в гауссовское или любое другое: не существует единственного теоретически оправданного метода выбора ядра, то главное, что требуется от ядра, – хорошая разделимость признаков.

Таким образом, получаем два отображения пространства первичных признаков: на основе фишеровского ядра и с помощью классических ядер (гауссовского или полиномиального).

3. Данные и описание экспериментов

При проведении экспериментов в качестве входных данных использовалась база речевых отрезков различной длительности. В ней содержатся данные по 15 дикторам, записанные с помощью обычного телефона, телефона GSM и микрофона. Характеристики входного сигнала для каждого канала имели следующие характеристики: битрейт 16, частота дискретизации 8 кГц, соотношение сигнал – шум в среднем 15 дб. Следует отметить, что в случае микрофонного канала при записи использовались микрофоны с очень разными АЧХ, следова-

тельно, фонограммы сильно искажены друг относительно друга. Поэтому распознавание в этом случае становится более сложной задачей.

На основе звукового сообщения длиной 250 ms вычислялись кепстральные коэффициенты (MFCC) без производных, которые по изложенному выше алгоритму сначала подвергались трансформации с помощью фишеровских, а затем гауссовских ядер.

4. Подбор параметров распознавателя

В задаче обучения классификатора алгоритм обычно зависит от параметров, которые определяют форму решающей функции или способы поиска самой этой функции. Поэтому подбор параметров позволяет уменьшить ошибку классификации на тестовой выборке. В свою очередь, оценка ошибка может быть выполнена с помощью таких методов, как кросс-валидация [6] или jack-knife тестирование [7], или ограничена мажорантой, значение которой получено с помощью теоретического анализа.

Необходимо заметить, что на практике приходится подбирать несколько параметров для оптимизации, при этом ошибка классификатора имеет неявную зависимость от оптимизируемых параметров. Вследствие этого невозможно осуществить простой перебор всех возможных значений параметров.

В рассматриваемом случае использовались следующие параметры оптимизации:

– параметр гауссова ядра γ (см. (2));

– параметр штрафа C (см. (2)).

Оптимизация параметров функции-распознавателя производилась следующим образом. В качестве критерия для подбора параметров использовалась средняя ошибка при 5-кратной кросс-валидации. Далее методом patternsearch [5] производился поиск параметров, дающих наименьшую среднюю ошибку.

В качестве преимуществ такого подхода можно отметить следующие.

Ввиду того, что зависимость средней ошибки прогноза от выбранных параметров классификатора является неявной, то нет оснований считать, что эта функция будет выпуклой. Следовательно, существует вероятность попадания в локальный минимум.

Предложенная схема может быть легко распараллелена. Очевидно, что сама процедура кросс-валидации может быть выполнена параллельно, так как каждая итерация может выполняться независимо от других. Следовательно, процесс может быть легко проведен на многопроцессорных машинах. Кроме того, метод patternsearch для решения задачи оптимизации тоже может быть реализован параллельно.

В качестве алгоритма распараллеливания данного метода можно предложить следующее: для начального приближения можно выбрать несколько разных точек и использовать метод независимо, а потом, сравнивая результаты, выбрать наилучший. В другом варианте реализации алгоритма можно строить путь оптимизации из одной точки, но одновременно (параллельно) двигаться по нескольким направлениям одновременно.

Таким образом, вся система может быть реализована на кластере или в монолитной многопроцессорной системе с поддержанием многопоточности. На каждом процессоре может выполняться одна итерация процедуры кросс-валидации, при этом каждый поток, например, применяет метод patternsearch к своей начальной точке.

6. Обсуждение результатов

Сначала приведем результаты классификатора без применения фишеровских ядер.

В таблице 1 показаны результаты классификации в микрофонном канале. В качестве исследуемой характеристики (точности) использовалось отношение высказываний с правильно указанной принадлежностью к диктору, к их общему количеству.

Таблица 1

Результаты распознавания дикторов, микрофонный канал, MFCC-признаки

Продолжительность речи, с	Точность, %
5	0.33
10	0
100	4.5

Результаты экспериментов, представленные в таблице 1, показывают, что методы, основанные на SVM, практически не работают. Действительно, даже при достаточно большом времени звучания классификатору не удается разделить дикторов. Небольшое увеличение точности на малом времени звучания можно объяснить тем, что в пространстве вторичных признаков векторы случайно расположись таким образом, что несколько векторов попали на нужную сторону гиперповерхности, разделяющей классы. В пользу этой гипотезы можно отнести и то, что при большем количестве векторов ни один не попал необходимым для успешной классификации образом.

Теперь посмотрим на результат классификатора с использованием фишеровских признаков. В этом случае, как видно из таблице 2, применение фишеровских признаков значительно увеличивает точность работы классификатора. Очевидно, что даже на небольшой выборке классификатор на новых признаках работает лучше, чем на MFCC-признаках. Это можно объяснить, используя размерность Вапника-Червоненкиса (VC-размерность)[8].

Таблица 2

Результаты распознавания дикторов, микрофонный канал, фишеровские признаки

Продолжительность речи, с	Точность,%
5	16.33
10	26.17

Получаемое количество опорных векторов может служить хорошим приближением к VC-размерности. В случае применения фишеровских признаков опорных векторов получается больше, поэтому VC-размерность выше, а значит, большее количество точек может быть разделено гиперплоскостью. Дальнейшее отображение с помощью RBF (Radial Basis Function) [9] – ядра преобразует линейное разделение (с помощью гиперплоскости) к нелинейному. Рассмотрим это отображение подробнее.

Обозначим через X_i фишеровские признаки для i-го высказывания, тогда задача поиска оптимальной гиперплоскости выглядит, как решение задачи (1).

Если же мы будем использовать отображение, задаваемое с помощью RBF, а именно с помощью ядра $K(X_i, X_j) = e^{\|X_i - X_j\|}$, то задача выглядит как (2), при этом φ в формуле (2) – отображение с ядром K. При решении задачи используется только значение ядра на фишеровских признаках [2].

Представим результаты исследований классификатора, использующего

фишеровские признаки, в более легких для распознавания телефонном и GSM-каналах, причем фонограммы были записаны в одинаковых условиях.

Таблица 3

Результаты распознавания дикторов, канал GSM, фишеровские признаки

Продолжительность речи, с	Точность, %
5	54.91
10	86.13
100	92.02

Таблица 4

Результаты распознавания дикторов, канал телефон, фишеровские признаки

Продолжительность речи, с	Точность, %
5	55.93
10	88.70
100	96.97

В этих случаях легко заметить, что в этих каналах точность классификации достаточно высока. При этом зависимость от типа канала отсутствует, так как в обоих каналах точность примерно одинакова.

Заключение

В данной работе была исследована возможность практического применения метода опорных векторов при распознавании речи, для случаев, когда пространство признаков получено в результате фишеровского преобразования исходных первичных признаков. Результаты показали увеличение точности распознавания при возрастании длительности речи. К сожалению, добиться хороших результатов на коротких (5 секунд) длительностях пока не удаётся. Следует отметить, что применение фишеровских ядер существенно улучшает точность распознавания в сильно зашумленном канале.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение зависимости точности распознавания при использовании матрицы информации Фишера, а не её приближение в виде единичной. Кроме того, с практической точки зрения требуется дальнейшее исследование причины низкой точности на микрофонном канале. Также желательно определить, насколько хорошо результаты масштабируются, а именно насколько сильно зависит точность от количества дикторов в тестовом множестве (в нашем случае их было 15).

Авторы выражают благодарность Любимову Николаю Александровичу за деятельное участие в обсуждении материалов статьи и подготовке данных для экспериментов.

Список литературы

1. Cortes C., Vapnik V. Support Vector Networks // Machine Learning. 1995. №20(3). P. 273–297.

2. Tommi Jaakkola, David Haussler. Exploiting Generative Models in Discriminative Classifiers // In Advances in Neural Information Processing Systems. 1998. N 11. P. 487–493.

3. McLaughlan G.J. Finite Mixture Models. Wiley, 2000.

4. Friedman J.H. Regularized Discriminant Analysis // Journal of the American Statistical Association (American Statistical Association). 1989. N 84 (405). P. 165–175.

5. Hooke R., Jeeves T.A. ‘Direct search' solution of numerical and statistical problems // Journal of the Association for Computing Machinery (ACM). 1961. N 8(2). 212–229.

6. Geisser Seymour. Predictive Inference // An Introduction. New York: Chapman & Hall, 1993.

7. Wu C.F.J. Jackknife, Bootstrap and other resampling methods in regression analysis // The Annals of Statistics. 1986. Vol. 14. N 4. P. 1261–1295.

8. Vapnik V. and Chervonenkis A. On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities // Theory of Probability and its Applications. 1971. Vol. 16(2). P. 264–280.

9. Martin D. Buhmann [et al.]. Radial Basis Functions: Theory and Implementations. Cambridge University Press, 2003.

Получено 13.07.11

I.M. Gostev, Doctor of Sciences, Professor, Department of Programming Engineering National Research University «High School of Economic» (Moscow) (e-mail: igostev@hse.ru)

A.V. Ermilov, Post-Graduate Student, Department of Programming Engineering National Research University «High School of Economic» (Moscow) (e-mail: alvalerm@mail.ru)

ABOUT APPLICATION OF FISHER KERNELS TO THE TASK OF SPEAKER IDENTIFICATION

In this article we consider application of Support Vector Machines with different types of kernels to the task of speaker identification. We use Fisher features for several types of channels (telephone, GSM, microphone). We analyze dependence of accuracy from length of input sentence.

Key words: *Speech Recognition, Speaker Identification, Fisher features.*

УДК 681.03

А.А. Орлов, д-р техн. наук, доцент, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета (e-mail: alexeyalexorlov@gmail.com)

А.В. Астафьев, аспирант, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета (e-mail: alexandr.astafiev@isconnection.ru)

А.В. Провоторов, аспирант, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета (e-mail: provotorovalexey@gmail.com)

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАРКИРОВОК В УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

В статье представлено описание методов и алгоритмов локализации маркировки в управляемых системах видеонаблюдения для систем автоматического контроля движения изделий на промышленных предприятиях. Рассмотрены этапы аппаратного и программного высокоточного наведения с использованием метода анализа всплесков яркости.

Ключевые слова*: локализация, система технического зрения, управляемая система видеонаблюдения.*

***

Введение

В настоящее время наблюдается растущий интерес к системам автоматической идентификации (САИ). Это в значительной мере объясняется тем, что прогресс компьютерной техники привел к возможности появления систем, способных решать актуальные задачи в различных областях промышленности. В целях необходимости модернизации производства сейчас динамично развиваются системы технического зрения (СТЗ), позволяющие автоматически анализировать изображения промышленной продукции (идентифицируя ее по маркерам). СТЗ заменяют человека в опасных и вредных зонах производства, значительно уменьшают его рутинный труд в ситуациях, где практически невозможно применение других существующих методов иденти-

фикации. Вклад в разработку методик идентификации маркеров на основе СТЗ внесли S. Draghici, O. Martinsky, H. Kwasnicka, S. Sexton, J. Wentworth [1; 2] и многие др. Такие методики позволяют строить САИ для различных сфер производства. Однако в силу того, что требования заказчиков индивидуальны, разрабатываются специализированные (и в то же время дорогостоящие) САИ, применяемые лишь в конкретных условиях производства. Применение таких систем в других условиях приводит к невозможности реализации автоматического оперативного контроля по причине отсутствия более универсальных технологий, обеспечивающих достоверную идентификацию по различным видам признаков изображений объектов и их маркеров. Таким образом, в настоящее время существует проблемная ситуация между объективной необходимостью повышения оперативности и достоверности идентификации и контроля промышленных объектов по их снимкам и отсутствием современных технологий реализации данных функций в различных сложных условиях производства. Исходя из вышеизложенного, повышение оперативности и достоверности идентификации и контроля промышленных объектов на основе СТЗ является актуальной научно-технической проблемой.

Во многих случаях в процессе перемещения по предприятию местоположение идентифицируемой продукции точно неизвестно, либо она находится на значительном расстоянии от видеодатчика (видеокамеры) СТЗ. В результате формируются изображения малого разрешения, четкости, снимки затемнены или засвечены, что приводит к снижению достоверности контроля продукции. Идентификацию приходится выполнять «вручную», тем самым снижая оперативность производства.

Для автоматической идентификации производственного объекта требуется качественный снимок его фрагмента, содержащего маркер. Получение такого снимка возможно лишь в случае использования поворотного устройства, трансфокатора и правильной настройки видеокамеры в определенный момент времени. Необходимо также применение новейших компьютерных методов обнаружения и распознавания изображений. Данными возможностями не обладают существующие САИ. Наиболее распространенными из них являются: САИ RFID (разрабатываются фирмами «Систематика», «ЮНИСКАН/ГС1 РУС», которые основаны на использовании метода радиочастотной идентификации); САИ на основе штрихового кодирования (представители: «Shakr ID», «ДатаСкан», «ПАЛЬМА»), которые основаны на считывании информации с штрих-кода, расположенного на поверхности изделия); САИ, основанные на распознавании номерных знаков (фирмы: ISS, Малленом, Кодос, Matrox и др.)

Разработка и внедрение на различные промышленные предприятия более универсальной САИ обеспечит в отличие от аналогов:

1) инвариантность к условиям и технологии производства;

2) отсутствие необходимости изменения техпроцесса;

3) низкую стоимость внедрения;

4) автоматический поиск координат маркера (даже на движущейся продукции).

Их внедрение на производство сократит трудозатраты на сбор и внесение

информации. В связи с этим разработка и внедрение новых технологий и основанных на них САИ маркировки, осуществляющих идентификацию промышленной продукции с помощью анализа изображений с управляемых видеокамер, являются актуальными [3; 4].

Целью работы является разработка методов и алгоритмов локализации изображений маркировок в управляемых системах видеонаблюдения в рамках создания системы автоматической идентификации маркировки (САИМ) для автоматического контроля продукции металлопрокатного комплекса на промышленном предприятии.

Описание структуры аппаратно-программного комплекса САИМ

САИМ предназначена для автоматического определения маркировки (алфавитно-цифрового кода) и передачи полученного кода маркировки на сервер АСУТП (автоматизированной системы управления технологическими процессами) склада по сети Ethernet. Полученная маркировка используется в АСУТП склада для визуализации и контроля правильности заданий на транспортировку заготовок [5].

На предприятии «Выксунский металлургический завод» САИМ имеет следующую структуру:

1. Видеокамера производственного назначения от фирмы Basler.

2. Поворотное устройство и защитный кожух для камеры от фирмы Siemens.

3. Шкаф для приема/передачи данных с платой телеметрии RTS 9.03 от фирмы «БИК-Информ» (г. Санкт-Петербург).

4. Шкаф видеосервера с системным блоком для обработки входящего видеосигнала по средствам платы Matrox SoliosGigE.

5. Контроллер крана фирмы KONECRANES, обеспечивающий сбор данных о состоянии датчиков крана [6].

Камеры, оснащенные поворотными устройствами, и видеосерверы устанавливаются на промышленные краны фирмы KONECRANES. Шкаф видеосервера находится на складе слябов и аккумулирует информацию с кранов через протокол Ethernet. Общая схема аппаратного обеспечения представлена на рисунке 1.

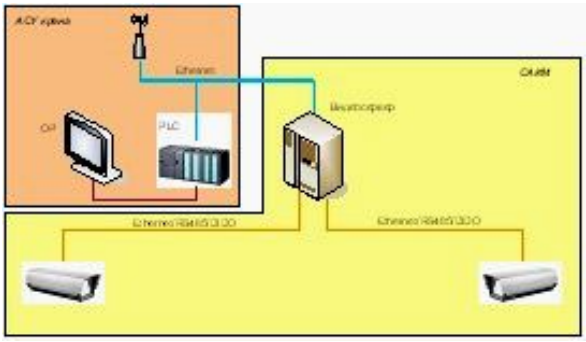

Рис. 1. Общая схема аппаратного обеспечения САИМ

Первоочередной задачей САИМ является организация процесса автоматической локализации положения маркера.

Этапы автоматической локализации положения маркера

Исходя из проведённого анализа можно сделать вывод об отсутствии универсальных методов и алгоритмов локализации маркеров изделий, что делает задачу разработки этих методов актуальной. В связи с этим предложены собственные методы и алгоритмы локализации изображений маркировок в управляемых системах видеонаблюдения.

Разработана методика локализации маркировки, состоящая из следующих этапов:

1. *Грубое наведение видеокамеры на центр сляба*.

На данном этапе САИМ обрабатывает и интерпретирует данные, поступающие с контроллера крана, видеокамеры и поворотного устройства, для определения текущего местоположения магнита крана, груза:

а) $x = |x1 + dx|$,

где x – расстояние от камеры до места крепления магнита по троллее крана;

x1 – показания датчика крана о положении груза на троллее;

dx – коэффициент разницы показаний датчика крана и реальных измерений.

б) $z = z1 - dz + Hs$,

где z – расстояние от камеры до положения магнита крана по вертикали;

z1 – показания датчика крана о высоте поднятия магнита над уровнем пола;

dz – коэффициент разницы показаний датчика крана и реальных измерений;

Hs – высота крепления камеры над уровнем пола.

в) $y = \frac{L}{2} - dy$,

где y – расстояние от нулевого положения камеры до центра сляба по горизонтали;

L – длина сляба;

y2 – расстояние от камеры до магнита крана по горизонтали.

(x, y, z) – это координаты положения груза в системе координат, где (0,0,0) – видеокамера в нулевом положении.

Имея в распоряжении данные о текущем положении груза и положении поворотного устройства, нужно рассчитать углы поворота камеры для захвата области изображения с грузом. Для этого необходимо:

– получить информацию с датчиков поворотного устройства о текущем положении;

– рассчитать координаты груза (x, y, z);

– выполнить расчет углов поворота по вертикали и горизонтали:

а) $a = \frac{180}{\pi} \cdot a\tan\frac{y}{x}$,

где a – это угол поворота камеры по горизонтали;

б) $b = \frac{180}{\pi} \cdot a\tan\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$,

где b – это угол поворота камеры по вертикали.

Если рассчитанные углы в рамках установленной погрешности равны нулю, то камера находится в положении, при котором в область захвата изображения попадает магнит крана с закрепленным грузом (рис. 2).

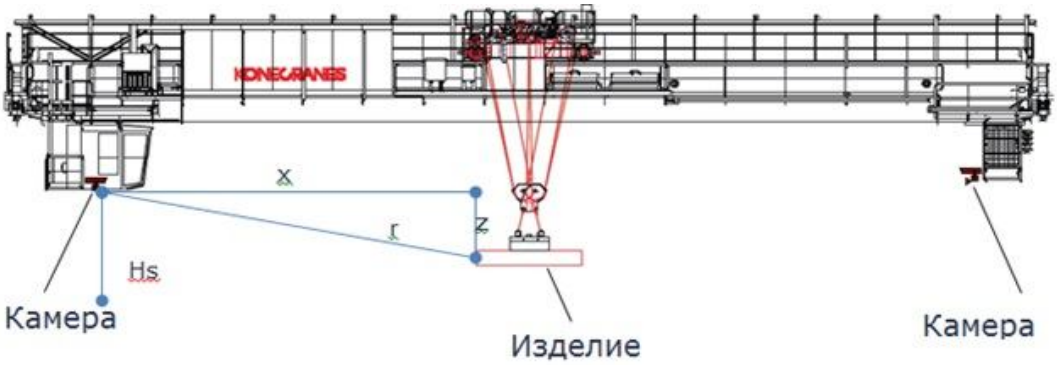

Рис. 2. Схема определения местоположения груза

2. *Изменение масштаба изображения.*

На данном этапе происходит изменение масштаба трансфокатора камеры (ZOOM) для формирования увеличенного изображения груза с маркировкой.

Для этого необходимо рассчитать расстояние от камеры до центра груза по диагонали:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

где r – расстояние по диагонали от камеры до центра груза; (x, y, z) – рассчитанные координаты груза.

Исходя из рассчитанного расстояния и реальных размеров маркировки необходимо рассчитать, во сколько раз необходимо увеличить масштаб изображения, на котором в область захвата камеры попадает весь груз с закрепленной на нем биркой с маркировкой:

$$s = \frac{2r}{407} \cdot l \tan\left(\frac{46,6}{2} + \frac{\pi}{180}\right),$$

где s – расчетный масштаб изображения;

l – коэффициент, определяющий размеры увеличенного изображения.

Далее осуществляется итерационное приближение/отдаление трансфокатора камеры до совпадения расчетного масштаба изображения и текущего масштаба трансфокатора полученного с датчика камеры.

3. *Изменение фокусного расстояния до груза.*

На данном этапе осуществляется фокусировка трансфокатора (FOCUS) камеры на приближенном изображении маркированного груза

На основании информации о расстоянии от камеры до центра груза по диагонали (r) и расчетного масштаба увеличенного изображения (s) необходимо рассчитать пропорциональное изменение фокуса трансфокатора:

$$F = \frac{r}{s},$$

где F – расчетное фокусное расстояние [7].

Исходя из этого осуществляется итерационное изменение фокусного расстояния трансфокатора камеры до совпадения расчетного фокуса изображения и текущего фокуса трансфокатора, полученного с датчика камеры.

Алгоритм точной локализации

Исходя из того, что аппаратная составляющая системы технического зрения не способна предоставить достоверные данные о положении груза ввиду наличия физических помех, таких как вибрация и остаточное движение, необходимо использовать дополнительные программные средства для локализации области самого маркера. Это предполагает разработку алгоритма поиска маркера на текущем изображении и расчёт его координат для последующего более точного наведения на цель.

Основой алгоритма является тот факт, что маркер изделий характеризуется резкими скачками яркости (перепадами цвета от чёрного к белому и наоборот). Наглядно это можно увидеть, если сделать горизонтальное сечение рассматриваемого изображения (рис. 3).

Данное свойство послужило основой для следующего алгоритма. Изображение сканируется построчно и строится функция следующего вида:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{x-2} \left| D(i+1) - D(i) \right|, \qquad (1)$$

где D(i) – значение яркости в соответствующем пикселе строки.

Функция f(x) в области пластины маркера начнет быстро возрастать (рис. 4).

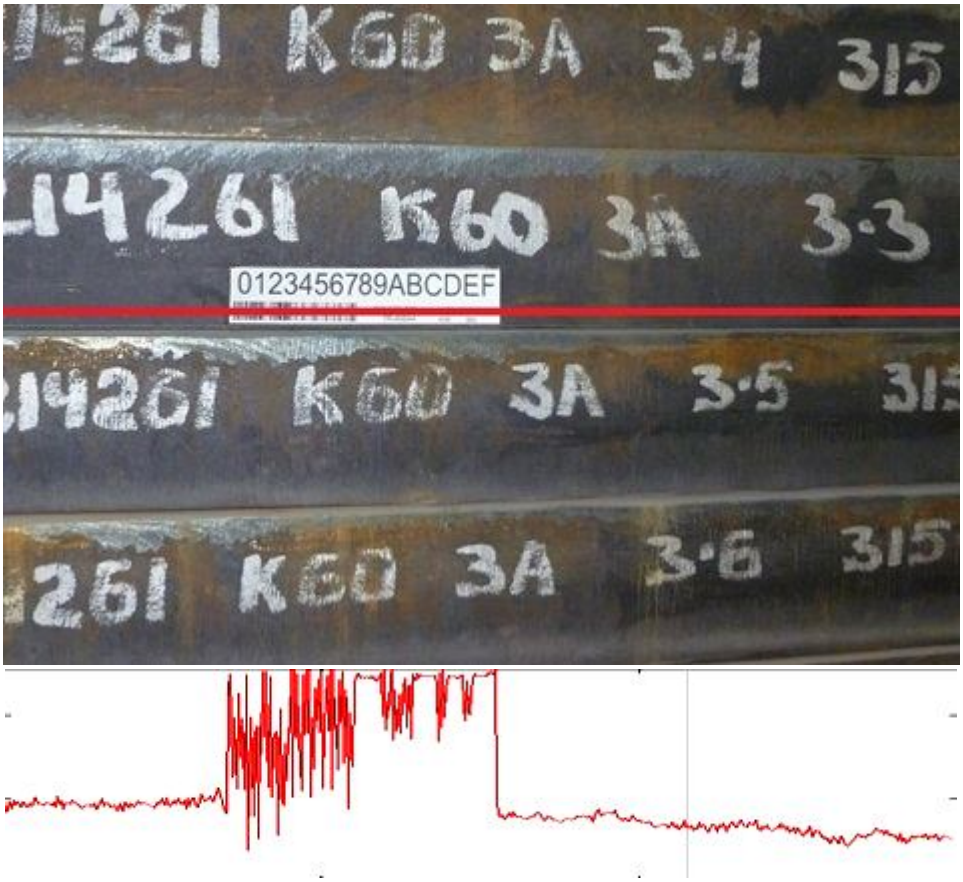

Рис. 3. График зависимости амплитуды яркости от координаты X

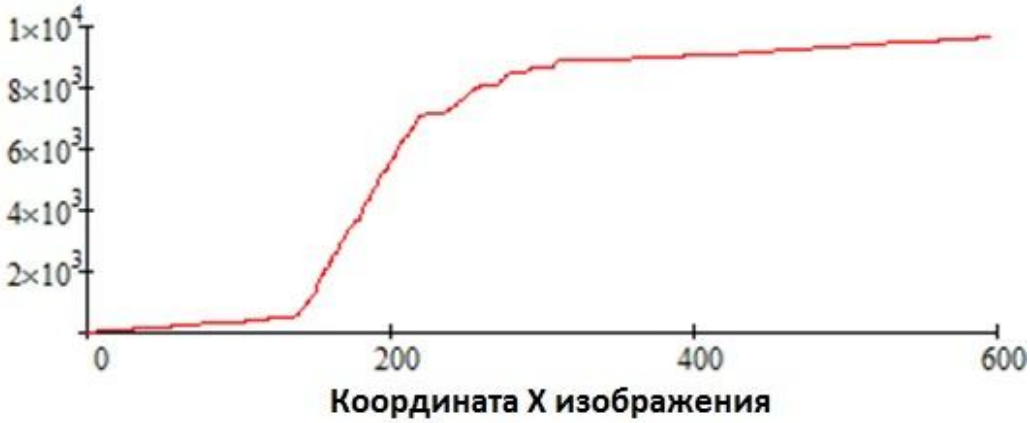

Рис. 4. График функции f(x)

После чего производится сглаживание функции f(x) при помощи следующей формулы:

$$f(x) = D(i+L) - D(i), \qquad (2)$$

где L – предполагаемая ширина пластины маркера [7].

Полученная функция показана на рисунке 5.

Разработанный алгоритм позволяет с большой точностью локализовать маркер, прикреплённый к транспортируемому объекту, но указывает на его левую границу.

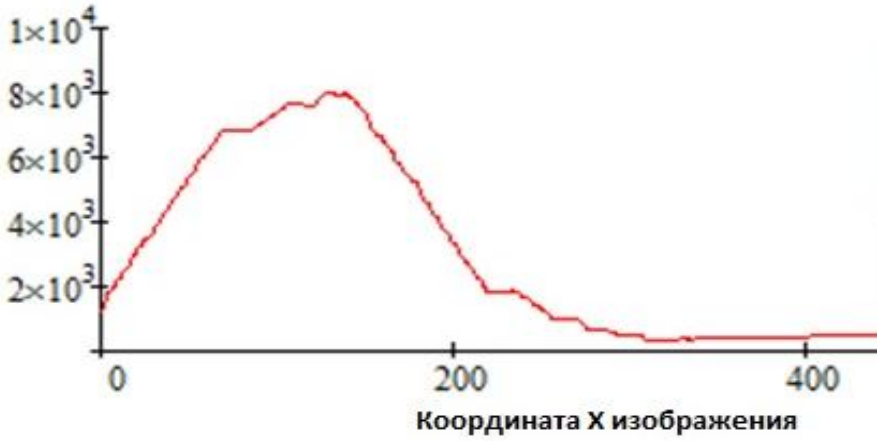

Рис. 5. График функции f(x) после процедуры сглаживания

Для того чтобы выполнить процедуру наведения, необходимо рассчитать координаты центра маркера с помощью формулы

$$x = x + L/2. \quad (3)$$

Разработанный метод позволяет с высокой скоростью определить предполагаемые области расположения пластины маркера. Кроме того, необязательно сканировать каждую строчку исходного изображения. Существует возможность задать минимально возможную ширину пластины и проверять сечения, сделанные с интервалом в половину минимальной ширины пластины маркера. Это ускорит и без того быстрый процесс поиска в несколько раз. Метод абсолютно устойчив к различным шумам, каплям грязи и многих других дефектов, сильно мешавших другим методам. Минусом данного алгоритма является его слабая устойчивость к наклонам (поворотам пластины маркера). В данной задаче этим можно пренебречь, так как сильно перекошенные пластины маркеров (угол более 20 градусов) встречаются крайне редко, а СТЗ ОАО «ВМЗ» предусматривает метод поворота изображения для устранения данной проблемы [7].

В результате выполнения данных этапов производится настройка положения поворотного устройства и трансфокатора видеокамеры для получения приближенного изображения высокого качества груза с маркировкой, для его последующего анализа, поиска и распознавания маркировки.

Список литературы

1. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 312 с.

2. Гашников М.В., Глумов Н.И., Ильясова Н.И. Методы компьютерной обработки изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.784 с.

3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М: Техносфера, 2005. 1072 с.

4. Астафьев А. В., Орлов А.А., Провоторов А. В. Анализ визуальных систем мониторинга производственного процесса на промышленных предприятиях // Вестник НГУЭУ. 2011. №1. С. 26–32.

5. Астафьев А. В., Орлов А.А., Провоторов А. В. Комплексный анализ систем мониторинга оборудования на произ-

водственных предприятиях // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2010. №15. С. 131–136.

6. Астафьев А. В., Орлов А.А., Провоторов А. В. Системный анализ методов маркировки промышленных изделий // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2010. №15. С. 136–141.

7. Орлов А.А., Провоторов А.В. Разработка методики и системы автоматической идентификации промышленной продукции на основе анализа изображений с управляемых видеодатчиков // Ползуновский вестник. 2011. №2. С. 67–70.

Получено 25.07.11

A.A. Orlov, Doctor of Sciences, Associate Professor, Murom Institute of Vladimir State University (e-mail: alexeyalexorlov@gmail.com)

A.V. Astafiev, Post-Graduate Student, Murom Institute of Vladimir State University (e-mail: alexandr.astafiev@isconnection.ru)

A.V. Provotorov, Post-Graduate Student, Murom Institute of Vladimir State University (e-mail: provotorovalexey@gmail.com)

METHODS AND ALGORITHMS TO LOCALIZATIONS OF THE SCENES OF THE MARKING IN OPERATED SYSTEM VIDEONABLYUDENIYA

In article is presented description of the methods and algorithm for localization of the marking in operated system video vision in condition real production. The Considered stages of the hardware aiming the cameras and programme, more exact aiming with use the method of the analysis hits to brightness.

***Key words**: localization, system of the technical vision, operated system video vision.*

УДК 654.078

Я.Ю. Кульков, ст.преподаватель, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета (e-mail: y_mail@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ СПЕКТРА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Для эффективного использования в управлении систем оперативно-технологической связи необходимо обеспечить максимальную разборчивость речи. В статье рассматриваются факторы, снижающие разборчивость речи в таких системах. Приводятся результаты исследования существующих систем оперативной связи и возможные пути решения.

***Ключевые слова**: речевой сигнал, диспетчерская связь, оперативно-технологическая связь, разборчивость речи.*

***

Применение специальных коммуникационных систем в области связи на объектах промышленности и транспорта позволяет существенно повысить эффективность управления ими и обеспечить надежную связь на технологических участках. От работы этих систем во многом зависит безопасность на объектах, особенно в местах с повышенной опасностью возникновения аварий, пожаров, взрывов и химических выбросов.

Системы громкоговорящей связи – это отдельный специализированный вид оборудования, в первую очередь предназначенный для решения задач информационного звукового обеспечения на объ-

екте. Громкоговорящая связь – электросвязь на объекте или в открытом пространстве, в которой воспроизведение информации осуществляется посредством громкоговорителя или акустической системы [1]. По требованиям международных стандартов подобные системы должны размещаться везде, где присутствует большое количество людей [2]. Требования к системам оповещения отличаются от требований к бытовому или профессиональному звуковому оборудованию. В первую очередь необходимо достижение максимальной разборчивости речевого сигнала.

Использование громкоговорящей связи не только необходимо с точки зрения эффективности и оперативности работы производства, но и регламентировано постановлением Госгортехнадзора РФ от 5 мая 2003 г. № 29 «Об утверждении Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» ПБ 09-540-03.

Одно из наиболее важных требований, которым должно отвечать оборудование технологической связи, – работа в условиях шума выше 100 Дб, когда стандартную телефонию использовать невозможно.

Неудовлетворительная разборчивость речи в оповещении не просто свидетельствует о низком качественном уровне системы, но и в определенных обстоятельствах ставит под угрозу жизнь людей. На сегодняшний день надежно оценить степень разборчивости можно лишь эмпирическим путем, то есть после того, как система инсталлирована на объекте. Существующие объективные методы расчета разборчивости (например, PESQ) очень часто дают результаты, значительно расходящиеся с реальной картиной. Это связано с тем, что разборчивость речи является результатом взаимодействия системы звукоусиления с акустическими условиями озвучиваемого объекта [3].

Теоретический анализ

В системах громкоговорящего оповещения передаваемая речь подвергается воздействию акустических шумов. Разборчивость речи в системах ГГС является результатом взаимодействия системы звукоусиления с акустическими условиями озвучиваемого объекта.

Разборчивость является некоторой интегральной оценкой речевого сигнала и в соответствии с международным стандартом ISO/TR 4870 определяется как «степень, с которой речь может быть понята (расшифрована) слушателями». Под этим понимается степень, с которой слушатели могут понять смысл фразы, идентифицировать слова, слоги и фонемы.

Разборчивость речи в системах оповещения должна оцениваться как «хорошая» или «отличная». Применение различных алгоритмов шумоочистки и постобработки сигналов в подобных случаях малоэффективно, так как в разных зонах оповещения на сигнал действуют различные акустические искажения.

Акустические шумы – это шумы в пределах озвучиваемой поверхности, создаваемые публикой, различными агрегатами и т. п., и шумы, попадающие извне, например от транспорта.

По уровню акустические шумы в непроизводственных помещениях имеют диапазон от 55 до 80 дБ. Уровни в производственных помещениях имеют широкий диапазон – от 65 до 95 дБ и более.

Процент потери разборчивости зависит, прежде всего, от отношения уровня речевого сигнала к уровню шума, которое должно быть выше определенного уровня, чтобы можно было понять смысловое содержание речи. Степень маскировки шумом будет зависеть от отношения сигнал/шум SNR и от спектрального состава шума. Для широкополосного шума (20–4000 Гц) анализ индекса разборчивости RASTI от показателя SNR показывает, что индекс разборчивости будет больше 0.8 только при SNR более 12 дБ [4].

Влияние шумов на разборчивость речи зависит также от направления их прихода: если направления речевого сигнала и шума совпадают, то степень маскировки и, соответственно, процент потери разборчивости будут наибольшими. Слуховой системе трудно провести их разделение, но чем больше расстояние между ними, тем выше разборчивость.

Сильное воздействие на разборчивость речи оказывает шум от других голосов (шум толпы). Поскольку этот шум сходен с речью по спектральному составу, то уровень словесной разборчивости резко снижается, особенно при увеличении числа мешающих голосов [4].

Рассмотренный эффект маскировки позволяет сделать вывод, что наличие во внешнем акустическом шуме всплесков высокой интенсивности приводит к появлению эффекта маскировки. Это приводит к потере человеком некоторых звуков слышимой речи, что неминуемо ведет к снижению разборчивости. При использовании систем громкоговорящей связи на промышленных объектах появление таких узкополосных шумов неизбежно.

При таком снижении разборчивости мозгу человека требуется определенное время для разбора смысловой информации, произнесенной по системе оповещения. Работа систем громкоговорящей связи и оповещения связана с появлением критических ситуаций. От скорости реакции человека на информацию зависит жизнь не только его самого, но и жизни других людей. Поэтому ослабление эффекта маскирования и, как следствие, повышение разборчивости речи являются наиболее актуальными при построении систем громкоговорящей связи.

В условиях внешних акустических шумов на приемной стороне важную роль приобретает обеспечение комфортных условий прослушивания речевого сообщения. Перспективными подходами в данном направлении являются разработка адаптивных к внешнему шуму устройств регулировки выходной громкости и частотной характеристики речи [5].

Задачей данных устройств является снижение эффекта маскирования прослушиваемой речи мешающим внешним шумом, путем частотно-взвешенного повышения ее громкости для формирования достаточной глубины артикуляции речевого сигнала на фоне шума во всем частотном диапазоне. Для оценки внешнего шума используется сигнал, получаемый от местного микрофона [5].

Описание известных систем оперативно-технологической связи

В настоящее время создано большое количество систем громкоговорящей связи, как отдельных, так и в составе комплексов оперативно-технологической связи. Практически все современные системы созданы с использованием цифровых технологий. Примерами могут яв-

ляться «Устройство тревожной сигнализации и оповещения УТСО-200» компании Armtel, отечественные системы ПГС-16, ПА-1, П-160, П-164, П-166ВАУ. Аналогичные характеристики у системы цифровой оперативно-технологической избирательной связи ПГСИ-90/180.

В настоящее время в большинстве систем громкоговорящей связи не применяется никаких методов повышения разборчивости речи. При этом, как было показано, это один из важнейших показателей качества и эффективности использования систем ГГС. В некоторых системах применяется компрессия динамического диапазона. Это несколько улучшает разборчивость на фоне шумов, но никак не помогает бороться с эффектом маскирования, который ответственен за снижение разборчивости. В большинстве случаев производители пытаются поднять показатель «сигнал/шум» за счет увеличения количества и мощности громкоговорителей. Такой метод имеет ограниченную эффективность, т.к. приведет к сдвигу кривой чувствительности слуха.

Одним из методов повышения разборчивости речи является снижение уровней шумов и помех [6]. В условиях промышленного применения систем ГГС подобные методы являются не только неэффективными, но и нереализуемыми.

Результаты исследования

Анализ подобных систем и существующих методов борьбы с шумами показывает необходимость разработки методов, эффективных именно при воздействии сильных внешних акустических шумов, с которыми невозможно бороться существующими методами.

Одним из важнейших параметров сигнала возбуждения колебаний в речевом тракте является частота основного тона (ОТ) речи, характеризующая высоту голоса при произнесении вокализованных звуков речи. Человек легко определяет частоту ОТ на слух или на глаз при анализе осциллограмм или спектрограмм речи, однако построить устройство, автоматически определяющее частоту ОТ с малой ошибкой и малой задержкой во времени, даже при относительно низком уровне помех, довольно трудно [7].

Известно, что от правильного определения основного тона существенно зависит разборчивость речевого сигнала, так как именно основной тон определяет высоту голоса, интонацию говорящего, логическое ударение, а иногда и смысл слов [4]. Также известно, что слоговая разборчивость речи значительно снижается при ошибочном определении ОТ [4].

Наибольший показатель разборчивости речи, искаженной шумами и помехами, достигается за счет восстановления нарушенной формантной структуры или фонетической функции речевого сигнала, которая может быть восстановлена по известной гармонической структуре, определяемой, в свою очередь, за счет поиска и реконструкции в спектрограмме зашумленной речи «следов» гармоник полезного речевого сигнала [9].

Предлагаемым способом снижения маскирующего влияния акустических шумов на разборчивость речевого сигнала является повышение относительной средней мощности излучаемого громкоговорителями сигнала. Причем простое повышение мощности, то есть увеличение максимальной амплитуды, не приведет к желаемому эффекту [10]. Увеличение громкости выше некоторого порога приводит, наоборот, к снижению разбор-

чивости речи, так как порождает сдвиг кривой чувствительности в сторону уменьшения. При этом эффект маскирования становится еще более выраженным.

В спектральной области голос каждого человека уникален. В одном голосе присутствует большое количество низкочастотных компонентов, голос другого более насыщен высокими частотами. Соответственно каждый голос потребует различной коррекции его спектра.

Автоматические устройства для коррекции частотного спектра позволяют корректировать частотный спектр без применения специального тестового сигнала.

Предлагается использовать многополосную фильтрацию в заданной полосе и адаптивную коррекцию коэффициентов передачи каналов в зависимости от индивидуальных свойств спектра речи. Добиться подобного результата можно путем усиления только формантных частот излучаемого речевого сигнала. Это приведет к снижению эффекта маскирования и выделению голоса на фоне акустических шумов. В описываемом устройстве происходит выделение частоты основного тона и усиление первых трех формант.

Функциональная схема (рис.) устройства адаптивного частотной коррекции, содержит амплитудно-частотный корректор, спектроанализатор и блок сравнения.

Эталонные коэффициенты для каждой полосы частот подобраны в соответствии с психоакустическими особенностями строения слуха человека. Обеспечиваемая таким образом коррекция амплитудно-частотной характеристики речевого сигнала приводит к усилению тех частот, на которых чувствительность слухового аппарата ниже, что приводит к улучшению разборчивости передаваемой в системах громкоговорящей связи речи. Это позволяет учитывать индивидуальные свойства каждого конкретного голоса, что приводит к значительному улучшению разборчивости речи диктора.

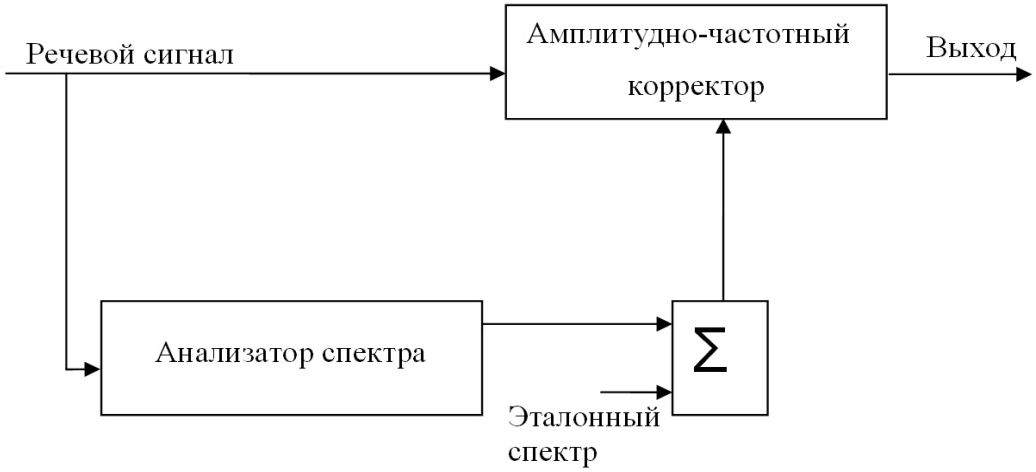

Рис. Устройство адаптивной коррекции спектра речевого сигнала

Заключение

В ходе работы были проведены экспериментальные исследования, в которых определялась F-картина исследуемого речевого сигнала. Далее выборочно усиливались частоты спектра, соответствующие первым трем формантам исследуемого голоса. Измерялась разборчивость речи,

обработанной указанным алгоритмом. В среднем повышение разборчивости по показателю RASTI составило 0.2.

Результаты исследования позволяют говорить о высокой эффективности разработанного алгоритма в системах громкоговорящей связи и могут быть реализованы в уже имеющихся или установленных системах громкоговорящей связи.

Список литературы

1. ГОСТ 24214-80. Связь громкоговорящая. Термины и определения. М., 1980.

2. Мишенков С.Л., Копылов А.М., Ефимов А.П. Системы звукового вещания и оповещения: учеб. пособие. М.: МТУСИ, 1995. 78 с.

3. Пукач А.А. Проектирование систем оповещения о пожаре // Техника без опасности. 2004. № 1. С. 4–10.

4. Алдошина И. Основы психоакустики. Ч. 1. Речь и слух // Звукорежиссер. 2002. № 9. С. 10–15.

5. Бабкин В.В. Проблемы построения современных систем цифровой речевой связи // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2007): 9-я Междунар. конф. М., 2007. С. 23–27.

6. Сапожков М. А. Электроакустика: учеб. для вузов. М.: Связь, 1978. 272 с.

7. Вокодерная телефония / под ред. А.А. Пирогова. М: Связь, 1974. 536 с.

8. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1962. 392 с.

9. Дворянкин С.В., Макаров Ю.К., Хореев А.А. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2007. № 2. С. 18–25.

10. Звуковое вещание: справочник / под ред. Ю.А. Ковалгина. М.: Радио и связь, 1993. 464 с.

Получено 30.08.11

Y.Y. Kulkov, Senior Lecturer, Murom Institute of Vladimir State University (e-mail: y_mail@mail.ru)

ADAPTIVE SPEECH SIGNAL SPECTRUM CORRECTION IN THE WORKS CONTROL MANAGEMENT SUSTEM

For effective use in the management of operational and technological communication to ensure maximum intelligibility. The paper examines the factors that reduce the intelligibility of speech in such systems. The results of research existing systems operative communication and possible solutions.

***Key words**: the speech signal, dispatch communication, operative-technological communication; speech intelligibility.*

УДК 621.372.541

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712)58-71-12)

В.В. Дидковский, ст. преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: 8-920-262-77-78)

В.О. Соколов, канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sokolov_vlor@mail.ru)

ВЫБОР НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПРОТОТИПОВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ (ЭМФ)

Рассматривается методика расчета ЭМФ с учетом добротности резонаторов и преобразователей. Выведены соотношения, связывающие параметры пьезопреобразователей с элементами низкочастотного аналога. Методика гарантирует получение наименьших значений коэффициентов электромеханической связи преобразователей при заданных параметрах элементов ФНЧ.

***Ключевые слова**: электромеханические фильтры, низкочастотный аналог, прототип фильтра, резонатор, преобразователь.*

***

Расширение полосы пропускания ЭМФ – актуальная задача [1, 3]. Основным ограничивающим фактором является узкополосность преобразователей фильтра. Хотя отдельные вопросы хорошо изучены [3], проектирование ЭМФ с относительно широкими полосами пропускания (до десяти процентов) представляет сложную задачу, особенно трудную при учете конечной добротности резонаторов и преобразователей, не имеющих элементов настройки на электрической стороне.

Оконечное звено ЭМФ показано на рис. 1. Вход преобразователя шунтируется конденсатором C_0, емкость которого равна статической емкости пьезопластины.

Относительная полоса прозрачности четырехполюсника, выделенного пунктиром на рис. 1, определяется соотношением

$$\delta_0 = \frac{\Delta F_0}{f_{\text{пр}}} = \frac{C_1}{2C_0}, \qquad (1)$$

где ΔF_0 – полоса прозрачности преобразователя;

$f_{\text{пр}}$ – средняя частота полосы прозрачности звена.

С другой стороны, емкость пьезопреобразователя может быть найдена следующим образом [4, 5]:

$$C_0 = \frac{C_1}{K_{\text{ЭМ}}^2}, \qquad (2)$$

где $K_{\text{ЭМ}}$ – коэффициент электромеханической связи, зависящий от параметров пьезоматериала и от геометрии преобразователя, т. е. от соотношения размеров и взаиморасположения пьезослоя и остальных частей пьезопреобразователя [5].

Сравнение соотношений (1) и (2) дает

$$\delta_0 = \frac{C_1}{2C_0} = \frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2}. \qquad (3)$$

Жесткая связь (3) между коэффициентом электромеханической связи и полосой пропускания пьезопреобразователя является основной причиной ограничения полосы пропускания ЭМФ по максимуму, так как величина КЭМ ограничена сверху [4].

Электромеханические фильтры удобно рассчитывать по низкочастотным аналогам [2, 6]. Среди НЧ-прототипов (с одной и той же граничной частотой

$\Omega_{гр} = 1$) оптимальным (в смысле широкополосности соответствующего ЭМФ), согласно (3), фильтром будет такой, в котором при пересчете в полосовой фильтр значение C_1/C_0 будет минимальным. В такой цепи при заданной полосе пропускания ЭМФ оконечные звенья (преобразователи) будут самыми узкополосными, а пьезопреобразователями, имеющими заданный коэффициент электромеханической связи, обеспечивается максимальная полоса пропускания ЭМФ (рис. 1).

При преобразовании цепи из ее НЧ-аналога необходимо предусмотреть выделение шунтирующей емкости C_0 в оконечных звеньях. Подобная трансформация обычно осуществляется на заключительных этапах проектирования, т. е. при преобразовании полосового фильтра [3, 4]. Это не всегда удобно, поскольку ограничения на параметры преобразователя чаще всего должны учитываться уже при синтезе НЧ-прототипа.

Предлагаемый ниже метод расчета связан с введением в схему преобразованного НЧ-аналога вспомогательных реактивных сопротивлений, не зависящих от частоты [6].

Оконечное преобразованное полузвено НЧ-аналога ЭМФ показано на рис. 2.

Выясним условия эквивалентности этого преобразования.

На основании теоремы об эквивалентном источнике напряжения имеем

$$\underline{Z}_{11} = R_i;$$

$$\dot{U}_{mxx11} = \dot{E}_m,$$

т. е.

$$\underline{Z}_{11} = R + jx + \frac{R_i'}{1 + jyR_i'} = R_i, \qquad (4)$$

где jx – сопротивление;

jy – проводимость добавочных реактивных элементов;

$$\frac{E_m'}{1 + jyR_i'}\dot{E}_m. \qquad (5)$$

Равенство (4) распадается на два, т. е.

$$R = R_i - \frac{R_i'}{1 + \left(yR_i'\right)^2}; \qquad (6)$$

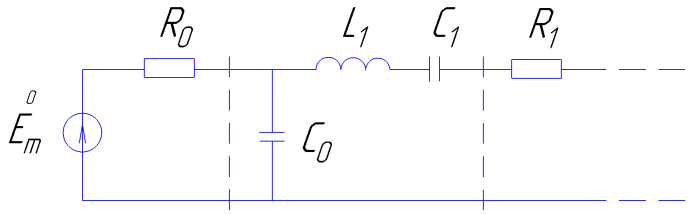

Рис. 1

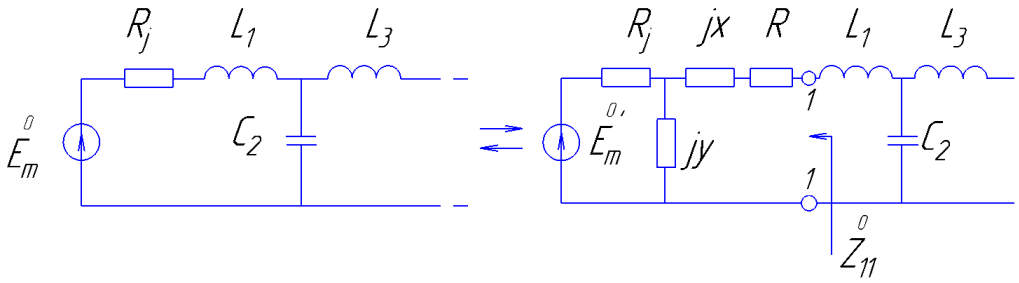

Рис. 2

$$x = \frac{y\left(R_i'\right)^2}{1+\left(yR_i'\right)^2}. \qquad (7)$$

Покажем теперь, что при преобразовании НЧ-аналога, имеющего вспомогательные реактивные сопротивления, в полосовую цепь оконечное звено последней будет иметь вид, показанный на рис. 1.

Поскольку x и y не зависят от частоты, эти величины не изменятся при частотном преобразовании НЧ–ПФ [2, 6]. Поэтому значение параметра y определяет нормированную проводимость конденсатора C_0 на центральной частоте полосы пропускания ЭМФ, а элемент x моделирует расстройку преобразователя.

Действительно, если при обычном частотном преобразовании [2, 6] (используется метод предыскажений для учета однородных потерь [2]) элементу НЧ-прототипа L_1 с сопротивлением

$$\underline{Z}_1 = pL_1 = L_1\left(d + j\Omega\right), \qquad (8)$$

где $d = \dfrac{f_0}{\Delta F Q_p}$ – нормированное затухание (9);

$p = d + j\Omega$ – комплексная частота;

ΔF – полоса пропускания ЭМФ;

f_0 – центральная частота полосы пропускания ЭМФ;

Q_p – добротность резонаторов ЭМФ;

L_1– нормированное значение первой индуктивности прототипа, сопоставляется преобразователь-резонатор с сопротивлением

$$Z_p = \rho_1\left(\frac{1}{Q_p} jv\right), \qquad (10)$$

причем $v = \dfrac{2\Delta f}{f_0} = 2\dfrac{f - f_0}{f_0}$ – приведенная расстройка;

f – частота;

ρ_1 – нормированное характеристическое сопротивление;

$$\rho_1 = \frac{L_1}{\delta}, \qquad (11)$$

$$\delta = \frac{\Delta F}{f_0} \qquad (12)$$

– относительная полоса пропускания ЭМФ,

$$v = \delta\Omega,$$

$$d = \frac{1}{\delta Q_p}, \qquad (13)$$

то соответствующему элементу преобразованного НЧ-аналога (см. рис. 2) сопоставляется расстроенный преобразователь-резонатор:

$$pL_1 + jx = \rho_1\left[\frac{1}{Q_p} + j\left(v + v_1\right)\right], \qquad (14)$$

где

$$v_1 = \frac{x}{\rho_1} = \frac{x\delta}{L_1} - \qquad (15)$$

приведенная расстройка преобразователя-резонатора относительно центральной частоты полосы пропускания ЭМФ;

$$v_1 \approx \frac{2\left(f_0 - f_{\text{ПР}}\right)}{f_0}, \qquad (16)$$

$f_{\text{ПР}}$ – резонансная частота преобразователя.

Кроме этого, очевидно, что $R_0 = R_i'$ и с учетом (14)

$$R_1 = R + \frac{\rho_1}{Q_p}. \qquad (17)$$

Нормированное сопротивление конденсатора C_1 (см. рис. 1) на резонансной частоте двухполюсника L_1C_1, приблизительно равной f_0, равно его характеристическому сопротивлению:

$$\frac{1}{\omega_0 C_1} = \rho_1 . \qquad (18)$$

Кроме того, как упоминалось ранее,

$$\omega_0 C_0 = y . \qquad (19)$$

Сопоставляя соотношения (2), (11), (18) и (19), имеем

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{\delta}{yL_1} = K_{\text{ЭМ}}^2 . \qquad (20)$$

Таким образом, при заданном наибольшая ширина полосы пропускания ЭМФ достигается при

$$yL_1 \to \max . \qquad (21)$$

Обозначим

$$R_i - R = R_i^* \qquad (22)$$

и найдем из соотношений (6), (7) величины y и $R_i^{'}$:

$$y = \frac{1}{x\left[1 + \left(\frac{R_i^*}{x}\right)^2\right]}, \qquad (23)$$

$$R_i^{'} = \frac{x^2}{R_i^*}\left[1 + \left(\frac{R_i^*}{x}\right)^2\right] = R_i^* + \frac{x^2}{R_i^*} . \qquad (24)$$

Выберем x так, чтобы $y = y_{\max}$.

Из (23) и (24) имеем:

$$y\big|_{x=R_i^*} = y_{\max} = \frac{1}{2R_i^*}, \qquad (25)$$

$$R_i^* = 2R_i^* . \qquad (26)$$

Из соотношения (20) с учетом (25) получаем

$$\delta_{\max} = K_{\text{ЭМ}}^2 \frac{L_1}{2R_i^*} . \qquad (27)$$

Таким образом, в случае $R = 0$, т. е. при равенстве механической добротности преобразователей и резонаторов (без учета электрической стороны), наилучшим (в смысле широкополосности ЭМФ) будет исходный прототип (с учетом (22)), в котором

$$\frac{R_i}{L_1} \to \min . \qquad (28)$$

Если первым реактивным элементом НЧ-прототипа является конденсатор C_1, то аналогичное рассмотрение приводит к

$$\frac{1}{C_1 R_1} \to \min . \qquad (29)$$

В случае выходных преобразователей ($R_H = 1$) вместо (28) и (29) получаем

$$\frac{1}{L_n} \to \min , \qquad (30)$$

$$\frac{1}{C_n} \to \min , \qquad (31)$$

где индекс n определяет порядок НЧ-прототипа.

Увеличение параметра R означает снижение механической добротности преобразователя.

С учетом (17) определим добротность преобразователя:

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{\rho_1}{R_1} = \frac{\rho_1}{R + \frac{\rho_1}{Q_p}} = \frac{1}{\frac{R}{\rho_1} + \frac{1}{Q_p}}$$

или, используя (11),

$$\frac{1}{Q_{\text{ПР}}} = \frac{R\delta}{L_1} + \frac{1}{Q_p},$$

т. е.

$$\frac{R}{L_1} = \frac{1}{\delta}\left(\frac{1}{Q_{\text{ПР}}} - \frac{1}{Q_p}\right). \qquad (32)$$

Соотношение (27) с учетом (22) и (32) может быть записано следующим образом:

$$\delta_{\max} = \frac{L_1 K_{\text{ЭМ}}^2}{2(R_i - R)} =$$

$$= \frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2\left[\frac{R_i}{L_i} - \frac{1}{\delta_{\max}}\left(\frac{1}{Q_{\text{ПР}}} - \frac{1}{Q_p}\right)\right]}$$

или

$$\frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2} = \delta_{\max}\frac{R_i}{L_1} - \left(\frac{1}{Q_{\text{ПР}}} - \frac{1}{Q_p}\right). \quad (33)$$

Если первым реактивным элементом НЧ-прототипа является конденсатор C_1, то аналогичное рассмотрение приводит к следующему:

$$\frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2} = \frac{\delta_{\max}}{R_i C_1} - \left(\frac{1}{Q_{\text{ПР}}} - \frac{1}{Q_p}\right). \quad (34)$$

Для выходных преобразователей соответственно получим

$$\frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2} = \frac{\delta_{\max}}{L_n} - \left(\frac{1}{Q_{\text{ПРвых}}} - \frac{1}{Q_p}\right) \quad (35)$$

и

$$\frac{K_{\text{ЭМ}}^2}{2} = \frac{\delta_{\max}}{C_n} - \left(\frac{1}{Q_{\text{ПРвых}}} - \frac{1}{Q_p}\right). \quad (36)$$

При заданных величинах $K_{\text{ЭМ}}$, Q_p, $Q_{\text{ПР}}$ и $Q_{\text{ПРвых}}$ наибольшая ширина полосы пропускания ЭМФ обеспечивается при выполнении условий (28) – (31). Формулы (33) – (36) дают возможность рассчитать параметры преобразователей-резонаторов фильтра по элементам его НЧ-аналога.

Список литературы

1. Лосев А.К. Теория и расчет электромеханических фильтров. М.: Связь, 1965. 263 с.

2. Соколов В.О., Шлыков В.А., Овчинников А.Л. Синтез микрополосковых СВЧ-фильтров с полюсами затухания на конечных частотах // Телекоммуникации. 2010. №5. С. 46–48.

3. Кантор В.М., Ланнэ А.А. Ограничения полосы пропускания электромеханических фильтров // Известия вузов. Серия «Радиоэлектроника». 1973. Т. XVI, №6. С. 66–72.

4. Филатов Г.А., Баев Е.Ф., Цымбалюк В.С. Малогабаритные низкочастотные механические фильтры. М.: Связь, 1974. 264 с.

5. Ультразвуковые преобразователи / под ред. Е. Кикучи. М.: Мир, 1972. 424 с.

6. Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.: Связь, 1971. Т. 1. 440 с.

Получено 29.08. 11

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712)58-71-12)

V.V. Didkovskij, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (tel.: 8-920-262-77-78)

V.O. Sokolov, Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sokolov_vlor@mail.ru)

SELECTION OF LOW-FREQUENCY PROTOTYPES OF WIDE-BAND ELECTROMECHANICAL FILTERS

This article is written by design procedure of wide-band electromechanical filters with a glance resonator and converter quality factor. Correlations, parameters of piezoelectric semiconductor transducer connecting with elements of low-frequency analog, developed. Methodic secure acquisition value coefficient electromechanical link converter by define characteristics elements low-frequency filters.

***Key words**: electromechanical filter, low-frequency analog, prototype of filters, resonator, converter.*

УДК 621.372.541

В.О. Соколов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 53-56-18)

Н.Е. Быковская, студентка, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: bikovski92@mail.ru)

М.Е. Резник, студент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: reznik93@gmail.com)

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ (ЭМФ), НЕ СОГЛАСОВАННЫЕ НА ВХОДЕ

С целью уменьшения числа активных элементов, используемых для расширения полосы пропускания ЭМФ, предлагается методика расчета фильтров, нагруженных и настраиваемых с одной стороны. Приведен пример 4 расчета настроечных параметров ЭМФ по элементам ФНЧ-аналога.

***Ключевые слова**: электромеханические фильтры, входной преобразователь, нормированное затухание, настроечные параметры.*

***

Использование ЭМФ в сочетании с активными *RC*-цепями дает разнообразные преимущества: можно обеспечить сравнительно широкие полосы пропускания за счет частичной или полной компенсации статической емкости пьезопреобразователей конверторными цепями и при помощи имитации настроечной индуктивности на основе гиратора; можно изменить постоянный уровень передачи; можно обеспечить монотонно нарастающее с расстройкой затухание оконечных звеньев для подавления паразитных полос пропускания и др.

Вместе с тем наличие активных элементов приводит к существенному усложнению ЭМФ и увеличению чувствительности их характеристик.

Уменьшение расхода питания и снижение чувствительности достигаются при максимальном сокращении числа активных элементов. В связи с этим может оказаться целесообразным использование рассогласованных на входе ЭМФ: имеется в виду их применение с источниками напряжения, внутреннее сопротивление которых много меньше сопротивления статической емкости преобразователей на центральной частоте полосы пропускания ЭМФ.

В рассматриваемом случае входной преобразователь остается высокодобротным, не происходит уменьшения уровня передачи по напряжению (наоборот, эффективность входного преобразователя увеличивается в два раза по сравнению с наилучшими вариантами согласования [2]), и полоса пропускания входного преобразователя не оказывает влияния на полосу пропускания ЭМФ.

Ширина полосы пропускания ЭМФ будет определяться параметрами выходного преобразователя [2]:

$$\frac{1}{L_n} \to \min\left(\text{или}\,\frac{1}{C_n} \to \min\right);$$

$$\delta_{0\ вых} = \frac{C_{1\text{вых}}}{2C_{0\text{вых}}} = \left[\frac{\delta}{L_n} + \frac{1}{Q_p} - \frac{1}{Q_{\text{пр}}}\right] \to min$$

или

$$\left(\frac{\delta}{L_n} + \frac{1}{Q_p} - \frac{1}{Q_{\text{пр}}}\right) \to min,$$

$$y_{\max} = \frac{1}{2(1-R_n)},\quad R_{\text{Н}} = 2(1-R_n),$$

$$x = 1 - R_n,$$

$$Q_{\text{пр}} = \frac{L_n}{\delta(R+R_{0)})}\ \text{или}\left(Q_{\text{пр}} = \frac{C_n}{\delta(R+R_0)}\right),$$

где наряду с обозначениями, принятыми в работе [2], использованы следующие:

$$R_0 = \frac{\rho_n}{Q_p}, \quad \rho_n = \frac{L_n}{\delta}\left(\text{или}\frac{C_n}{\delta}\right),$$

причем нагрузочное сопротивление фильтра-прототипа при расчетах принято равным единице.

В качестве примера рассмотрим расчет настроечных параметров пятирезонаторного ЭМФ с чебышевской характеристикой затухания [1], имеющего неравномерность рабочего затухания в полосе пропускания ΔF меньше 0,05 нп, относительную полосу пропускания $\delta = 0{,}0313$ и добротность резонаторов $Q_p = 800$.

Номинальное значение нормированного затухания

$$d = \frac{1}{\delta Q_p} = 0{,}04.$$

Параметры элементов соответствующего ФНЧ [3]:

$$R_i = 0;\ L_1 = 1{,}373;\ C_2 = 1{,}605;\ L_3 = 1{,}900;$$

$$C_4 = 1{,}496;\ L_5 = 0{,}9793;\ R_{\text{Н}} = 1.$$

Полосы связи между резонаторами и полосы пропускания преобразователей [4] находим следующим образом:

$$\Delta F_{\text{пр вх}} = d\Delta F = 0{,}04\Delta F;$$

$$\Delta F_{12} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_1 C_2}} = 0{,}67364\Delta F;$$

$$\Delta F_{23} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_3 C_2}} = 0{,}57264\Delta F;$$

$$\Delta F_{34} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_3 C_4}} = 0{,}59314\Delta F;$$

$$\Delta F_{45} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_5 C_4}} = 0{,}82618\Delta F;$$

$$\Delta F_{\text{пр вых}} = \frac{\Delta F}{L_5} = 1{,}02114\Delta F.$$

Список литературы

1. Лосев А.К. Теория и расчет электромеханических фильтров. М.: Связь, 1965. 263 с.

2. Титов В.С., Дидковский В.В. Соколов В.О. Выбор низкочастотных прототипов широкополосных электромеханических фильтров (ЭМФ) // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2011. №2. С. 35.

3. Собенин Я.А. Расчет полиномиальных фильтров. М.: Связь, 1963. 208 с.

4. Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.: Связь. 1971. Т. 1. 440 с.

Получено 12.09.11

V.O. Sokolov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 53-56-18)

N.E. Bykovskaya, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: bikovski92@mail.ru)

M.E. Reznik, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: reznik93@gmail.com)

ELECTROMECHANICAL FILTERS WHICH ARE NOT COORDINATED ON THE ENTRANCE

On purpose of decreasing the amount of active elements, which are used for expanding strips passing of electromechanical filters, the method of calculation of filters loaded and adjusted on the one hand is suggested. The following example of calculation the adjusting parameters of electromechanical filters on elements low-frequency filter analog.

***Key words**: electromechanical filters,entrance converter,rated attenuation,the adjusting parameters.*

УДК 621.372.541

В.О. Соколов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sokolov_lor@mail.ru)

А.Н. Кутуев, канд. техн. наук, старший преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kafedra.es@yandex.ru)

И.В. Ворначева, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: vornairina2008@yandex.ru)

СИНТЕЗ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ (ЭМФ) С УЗКОПОЛОСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Рассматривается синтез с помощью ЭВМ низкочастотных аналогов, которым соответствуют ЭМФ с требуемыми значениями добротности резонаторов, преобразователей и минимальными полосами пропускания преобразователей. Дан пример расчета.

***Ключевые слова**: электромеханические фильтры, низкочастотный прототип фильтра, функция качества, процедура глобального поиска.*

***

В работе [2] было показано, какими свойствами должен обладать низкочастотный аналог фильтра, чтобы при заданных значениях коэффи-циентов электромеханической связи ($K_{ЭМ}$) пьезопреобразователей, их добротности ($Q_{ПР}$) и добротности резонаторов ($Q_Р$) обеспечивалась наибольшая полоса пропускания ЭМФ:

$$\frac{R_i}{L_1} \to \min; \quad (1)$$

$$\frac{1}{R_i C_1} \to \min; \quad (2)$$

$$\frac{1}{L_n} \to \min, \quad (3)$$

$$\frac{1}{C_n} \to \min \quad (4)$$

так как соответственно:

$$\delta = \frac{L_1}{R_i}\left[\frac{K^2_{ЭМ\,ВХ}}{2} + \left(\frac{1}{Q_{ПР\,ВХ}} - \frac{1}{Q_P}\right)\right], \quad (5)$$

$$\delta = C_1 R_i\left[\frac{K^2_{ЭМ\,ВХ}}{2} + \left(\frac{1}{Q_{ПР\,ВХ}} - \frac{1}{Q_P}\right)\right], \quad (6)$$

$$\delta = L_n\left[\frac{K^2_{ЭМ\,ВЫХ}}{2} + \left(\frac{1}{Q_{ПР\,ВЫХ}} - \frac{1}{Q_P}\right)\right], \quad (7)$$

$$\delta = C_n\left[\frac{K^2_{ЭМ\,ВЫХ}}{2} + \left(\frac{1}{Q_{ПР\,ВЫХ}} - \frac{1}{Q_P}\right)\right], \quad (8)$$

где R_i – нормированное по нагрузочному сопротивлению внутреннее сопротивление источника;

L_1 или C_1 – первый реактивный элемент Т- или П-образного входа НЧ-прототипа;

L_n или C_n – последний реактивный элемент Т- или П-образного оконечного звена НЧ-прототипа, имеющего порядок n;

$\delta = \frac{\Delta F}{f_0}$ – относительная полоса пропускания ЭМФ [1];

ΔF – полоса пропускания ЭМФ;

f_0 – средняя частота полосы пропускания ЭМФ.

Задача синтеза НЧ-прототипа при требованиях, заданных в виде коридоров допустимых значений, на характеристику рабочего затухания [1] и при наличии добавочных условий (1) – (4) может быть формализована следующим образом [3, 4].

Требуется решить уравнение

$$Q(X) = 0. \quad (9)$$

Здесь

$$Q(X) = \sum_{i=1}^{M} qi \quad (i = 1, 2, ..., M),$$

$$X \in \bar{D},$$

$$x_1 x_1 \geq A, \qquad (10)$$

$$x_{n+1} \geq B, \qquad (11)$$

$$q_i\big|_{\Omega \leq 1} = \begin{cases} 0, \text{ если } a_{pi} < a'_{pi}, \\ \left(a_{pi} - a'_{pi}\right)^2 Wi, \text{ если } a_{pi} < a'_{pi}, \end{cases}$$

$$\Omega_i \in \bar{\Omega},$$

где $Q(X)$ – функция качества;

$X(x_1, x_2, \ldots, x_{n+1})$ – вектор неизвестных, компонентами которого являются значения элементов синтезируемого НЧ-прототипа;

$\bar{D}$ – допустимое множество значений элементов синтезируемой цепи;

W_i – весовые коэффициенты;

x_1 – проводимость источника $G_1 = \dfrac{1}{R_i}$;

x_2 – значение первого реактивного элемента (L_1 или C_1);

x_{n+1} – значение последнего реактивного элемента (L_n или C_n);

A, B – параметры, определяющие необходимую полосу пропускания ЭМФ (1–8, 10–11);

$\bar{\Omega}$ – множество нормированных частот, на котором заданы требования к характеристике рабочего затухания НЧ-прототипа;

a_{pi} – рабочее затухание цепи на частоте Ωi;

a'_{pi} – максимально допустимое в полосе пропускания ($\Omega_i \leq 1$) и минимально допустимое вне ее ($\Omega_i > 1$) рабочее затухание;

M – число элементов множества $\bar{\Omega}$.

Уравнение (9) решалось с помощью процедуры глобального поиска [4], суть которой состоит в постепенном целенаправленном изменении значений элементов НЧ-фильтра:

$$X_j = X_{j-1} + \Delta X,$$

где X_{j-1} – вектор неизвестных на (j – 1)-й итерации;

X_j – вектор неизвестных на j-й итерации;

ΔX – вектор приращений.

Правила определения вектора приращений ΔX определяются стратегией поиска [4]. Расчет рабочего затухания производился матричным методом [1].

В качестве примера рассмотрим расчет настроечных параметров полиномиального семирезонаторного ЭМФ, удовлетворяющего следующим требованиям:

а) неравномерность характеристики рабочего затухания в полосе пропускания не более 1,5 дБ;

б) рабочее затухание на нормированной частоте $\Omega_1 = 1{,}5$ не менее 40 дБ, а на частоте $\Omega_2 = 2{,}0$ не менее 65 дБ;

в) относительная полоса пропускания ЭМФ $\delta = 0{,}111111$;

г) A = B = 3,0;

д) добротность резонаторов фильтра $Q_P = 200$.

Структура НЧ-прототипа ЭМФ показана на рис. 1.

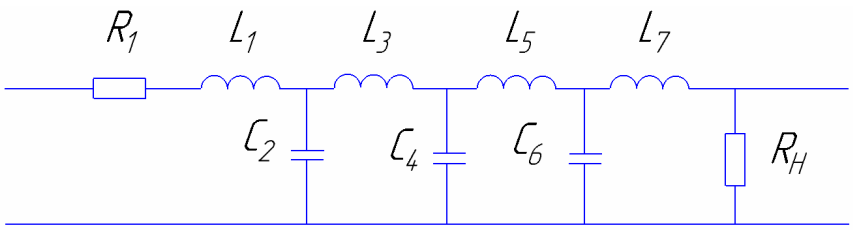

Рис. 1

Номинальные значения нормированного затухания и элементов ФНЧ:

$$d = \frac{1}{\delta Q_P} = 0,045\,;$$

$$R_i = 0,2108285;\ L_1 = 0,6330194;$$
$$C_2 = 3,7268120;\ L_3 = 1,0295880;$$
$$C_4 = 2,1948420;\ L_5 = 2,8301810;$$
$$C_6 = 0,8434156;\ L_7 = 3,0159570;$$
$$R_н = 1,0000000.$$

Характеристика рабочего затухания синтезированного фильтра изображена на рис. 2.

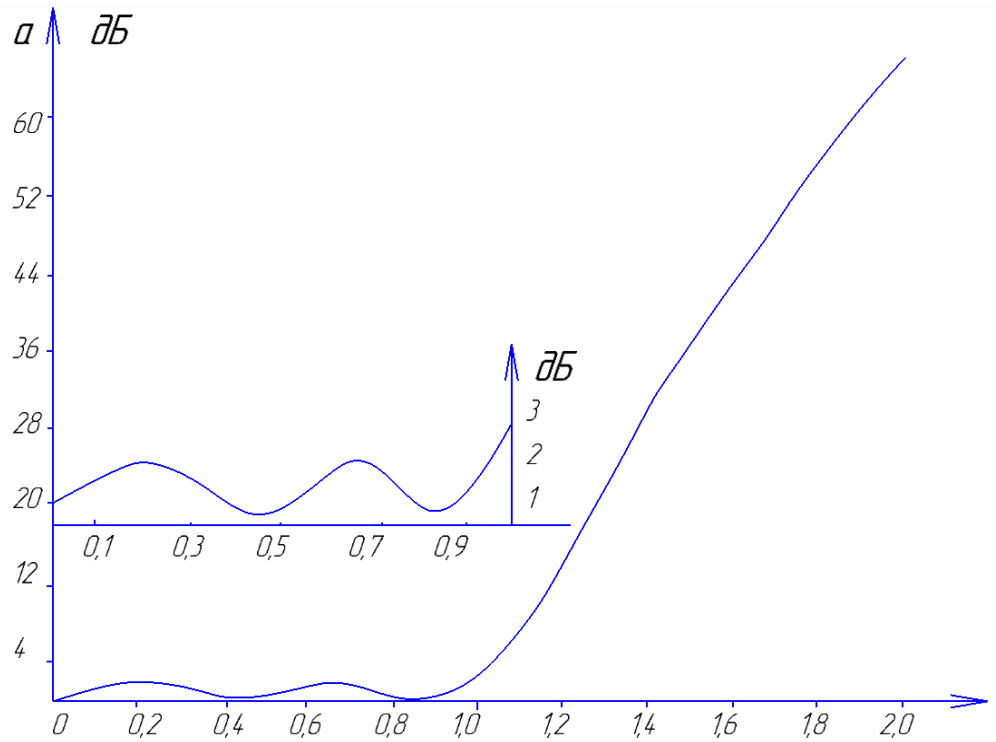

Рис. 2

Полосы связи и преобразователей [5] находим следующим образом:

$$\Delta F_{\text{пр вх}}\Big|_{Q_{\text{ПР ВХ}}=Q_P} = \frac{R_i}{L_1}\Delta F = 0,333052\Delta F;$$

$$\Delta F_{12} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_1 C_2}} = 0,651063\Delta F;$$

$$\Delta F_{23} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_3 C_2}} = 0,510504\Delta F;$$

$$\Delta F_{34} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_3 C_4}} = 0,665222\Delta F;$$

$$\Delta F_{45} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_5 C_4}} = 0,401228\Delta F;$$

$$\Delta F_{56} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_5 C_6}} = 0,594419\Delta F;$$

$$\Delta F_{67} = \frac{\Delta F}{\sqrt{L_7 C_6}} = 0,626999\Delta F;$$

$$\Delta F_{\text{пр вх}}\Big|_{Q_{\text{ПР ВХ}}=Q_P} = \frac{R_i}{L_7}\Delta F = 0,331570\Delta F.$$

Найдем необходимый коэффициент электромеханической связи входного, например, преобразователя (5):

$$K_{\text{ЭМ ВХ}} = \sqrt{2\delta\frac{R_i}{L_1}} = 0,27.$$

Меньший коэффициент электромеханической связи при заданных параметрах R_i, L_1, Q_P и δ можно получить, согласно (5), лишь при выборе $Q_{\text{пр}} < Q_P$.

Список литературы

1. Лосев А. К. Теория и расчет электромеханических фильтров. М.: Связь, 1965. 263 с.

2. Дидковский В.В., Соколов В.О., Титов В.С. Выбор низкочастотных прототипов широкополосных электромеханических фильтров (ЭМФ) // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2011. №2. С. 35.

3. Соколов В.О., Шлыков В.А., Овчинников А.Л. Синтез микрополосковых СВЧ-фильтров с полюсами затухания на конечных частотах // Телекоммуникации. 2010. №5. С. 46–48.

4. Соколов В.О., Шлыков В.А. Обобщенный метод синтеза максимально симметричных фильтров СВЧ с учетом диссипативных потерь // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика – 2009: сб. матер. Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2009. Ч. 1. С. 109–116.

Получено 12.09.11

V.O. Sokolov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sokolov_lor@mail.ru)

A.N. Kutuev, Candidate of Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kafedra.es @ yandex.ru)

I.V. Vornacheva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: vornairina2008@yandex.ru)

SYNTHESIS OF BROADBAND ELECTROMECHANICAL FILTERS (EMF) WITH NARROWBAND CONVERTERS

The synthesis of computer-assisted low-frequency counterparts, which correspond to the desired temperature EMF Q resonators, converters and minimal bandwidth transducers. The example of the calculation.

***Key words**: electromechanical filters, low-pass filter prototype, the function of quality, the procedure of global search.*

УДК 004.031

Е.А. Титенко, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: johntit@mail.ru)

А.В. Белокопытов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

Е.Б. Тутов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(тел.: 8 (4712) 50-49-09)

М.В. Урясьева, аспирантка, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: umv@mail.ru)

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ПРОДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

В статье описана модифицированная продукционная система на базе полусистемы ТУЭ для реализации параллельных выводов. Для организации безотступных вычислений в состав продукционной системы введены отношения линейного, равноправного и независимого выводов.

***Ключевые слова**: продукционная система, параллельный вывод, обработка символьной информации.*

***

Актуальность

Одним из приоритетных направлений развития современных медицинских систем поддержки принятия решений (СППР) являются теоретические и прикладные средства высокопроизводительной обработки информации на базе моделей и методов обработки знаний, прежде всего продукционных систем (ПС). Как известно, модели и методы обработки знаний ориентируются на решение слабо формализованных и проблемно-поисковых задач, среди которых существенную долю занимают задачи медицинской диагностики и распознавания. Отличительная особенность данного класса задач связывается с возможностью символьного представления предметной области и обработки символьной информации (ОСИ) на единых математических началах [1]. Другая объединяющая особенность связана с тем, что задачи ОСИ традиционно трактуются как задачи генерации и анализа создаваемых дискретных объектов на основе имеющегося набора исходных объектов (исходных слов) и набора правил преобразования, т.е. исчислений.

Символьная информация и вычисления над ними характеризуются огромными массивами разнородных полей данных со сложной внутренней логической структурой между ними, что обусловливает ряд специфических проблем, не свойственных числовой обработке и техническим средствам их поддержки. Среди перечня проблем ведущее положение занимает проблема эффективной по времени «интеллектуализированной» ОСИ [2], т.е. свободной от тотального перебора всего пространства состояний. В этом контексте решение задачи распознавания основывается на модели коллектива дискретных вычислителей, скоординированно ведущих направленный параллельный поиск и имеющих внутренние средства акселерации вывода.

Исходя из особенностей задач ОСИ, наиболее подходящими для задания параллельно выполняющихся ветвящихся процессов являются продукционные исчислительные системы. Исчислительная продукционная система (ПС) состоит из однородного по составу набора разрешительных продукций (правил). Она естественным образом ориентирована на параллелизм потока данных за счет возможности активации множества продукций, сопоставимых с текущими обрабатываемыми словами. Тем не менее удачных для практической реализации стратегий выводов в известных исчислительных системах (ассоциативные исчисления Туэ, нормальные исчисления Э. Поста, неограниченные грамматики Н. Хомского и др. [2]) не было создано. Основная проблема связана с отсутствием объективной информации о динамически изменяемых коэффициентах ветвления решаемой задачи ОСИ, что не позволяло применять безотступную технологию обработки символьной информации для задач медицинской диагностики.

Таким образом, существует объективная необходимость создания представительной по выразительным возможностям модели параллельных вычислений на основе аппарата исчислений.

Аппарат продукционных систем

Для эффективного решения проблемно-поисковых задач ОСИ в результате определена ассоциативная полусистема Туэ [3] как абстрактная система, имеющая возможность для детерминированной активации продукций и их недетерминированного срабатывания. Схема

детерминированной активации продукции по Маркову над обрабатываемым словом S в алфавите A приведена на рисунке.

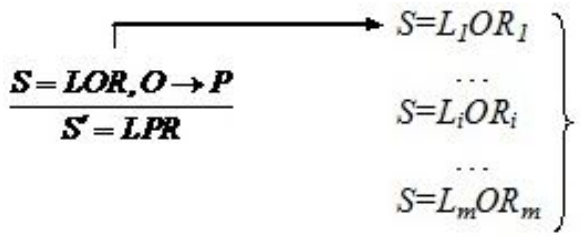

Рис. Схема детерминированной активации продукции над S: $O \to P$ – продукция; m – число вариантов разложения слова S, $L_1 \div L_m$ – упорядоченные по длине префиксы ($L_1 \subset \ldots L_i \ldots \subset L_m$); $R_1 \div R_m$ – упорядоченные по длине суффиксы ($R_m \subset \ldots R_i \ldots \subset R_1$); S' – слово-результат срабатывания продукции

Синтез модифицированной продукционной системы

Проблема безотступной генерации ветвящихся процессов в исчислительных ПС имеет собственные ограничения в организации параллельных вычислений, связанные с отсутствием информации о рациональном (оптимальном) количестве дискретных символьных преобразователей. Отсутствие информации не позволяет полностью использовать естественный параллелизм данных. В связи с этим возникает необходимость введения модифицированной ассоциативной полусистемы Туэ как исчислительной ПС со входом, имеющей встроенные средства оценки степени параллелизма, и организации безвозвратных символьных вычислений с параллельной генерацией динамического графа равноправно по множеству траекторий.

Предлагаемая модифицированная продукционная ПС понимается как объект вида

$$IPS = \{A, W, X, Y, \alpha, \beta, \Im, I\}, \qquad (1)$$

где A – рабочий алфавит;

$W = \{A^*\}$ – рабочая среда исчисления (язык допустимых слов);

X – язык входных слов в A;

Y – язык выходных слов в A;

α – процедура ввода входных слов в IPS ($W \supset \alpha(X)$);

β – процедура извлечения выходных слов ($W \supset \alpha(Y)$);

$\Im$ – определяющее множество продукций таких, что $\forall i (P = \{p_i\} | i = 1 \ldots n)$;

n – мощность $\Im$;

I – внутренний язык управляющих слов.

Скоординированная работа неединичного множества дискретных символьных преобразователей предлагаемой ПС обеспечивается использованием дополнительной информации в виде специальных управляющих слов из I, описывающих конфликтные ситуации, при параллельной обработке рабочих слов из X. Главная трудность реализации безвозвратных параллельных вычислений в ПС вида (1) заключается в том, что структура динамического графа задачи является неизвестной, что не позволяет вычислить нижнюю границу мощности неединичного множества преобразователей и без конфликтов распределять ветвящиеся процессы для равноправной генерации всех траекторий в графе.

Для системы (1) бинарное отношение непосредственной выводимости слова β из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \beta$. Оно обозначает, что слово β смежно со словом α, если существуют такие слова $L, R \in A^*$, что $\alpha = L^* O_k{}^* R \in A^*$, $\beta = L^* P_k{}^* R \in A^*$, и существует продукция $O_k \to P_k$.

Пусть $m \in \mathrm{N}$, α, β, α_0, α_1, ...α_{m-1}, $\alpha_m \in A^*$, $\Rightarrow^m$ – m-я степень бинарного отношения $\Rightarrow$, а $\Rightarrow^*$ – рефлексивное и

транзитивное замыкание бинарного отношения $\Rightarrow$. Тогда линейным выводом длины m слова β из слова α в исчислительной ПС называется последовательность слов α_0, α_1, ...α_{m-1}, α_m, для которых справедливо

$$\alpha_0=\alpha,\ \alpha \Rightarrow \alpha_1,\ \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2,\ .....$$
$$\alpha_{m-1} \Rightarrow \alpha_m,\ \alpha_m=\beta.$$

Слово β, выводимое из слова α за m шагов в модифицированной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \beta$. Слово β, выводимое из слова α в исчислительной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow {}^*\beta$.

Для описания, исследования и временной оптимизации ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС вводится p-значное отношения равноправной выводимости.

Пусть $p \in N$ и заданы слова α, β_1, ... β_{p-1}, $\beta_p \in A^*$. P-значное отношение непосредственной выводимости слов β_1, ... β_{p-1}, β_p из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \{\beta\}_p^1$. Оно означает, что слова β_1, ... β_{p-1}, β_p смежны со словом α, если существуют такие активационные продукции количеством p:

$$\begin{array}{c} O_{i_1} \to P_{i_1}, \\ O_{i_2} \to P_{i_2}, \\ ..... \\ O_{i_p} \to P_{i_p}, \end{array} \qquad (2)$$

и слова $L_{i_1}, R_{i_1} \in A^*$, $L_{i_2}, R_{i_2} \in A^*$,.... L_{i_p}, $R_{i_p} \in A^*$, что равноправно возможны следующие представления $\alpha=\{L_{i_k} {}^*O_{i_k} {}^*R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ и $\{\beta\}_p^1 = \{L_{i_k} {}^*R_{i_k} {}^*R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ для $k = 1 \div p$.

Ветвящимся выводом длины m множества слова $\beta_1, \beta_2 ... \beta_d$ из слова α в исчислительной ПС называется последовательность множеств слов α_0, $\{\alpha_1\}$, ... $\{\alpha_{m-1}\}$, $\{\alpha_m\}$, для которых справедливо

$$\alpha_0 = \alpha,\ \alpha \Rightarrow \{\alpha_1\}_{p_1}^1, ...$$
$$\alpha_1 \Rightarrow \{\alpha_2\}_{p_2}^1\ \alpha_2 \Rightarrow \{\alpha_3\}_{p_3}^1, ... \qquad (3)$$
$$\alpha_{m-1} \Rightarrow \{\alpha_m\}_{p_m}^1, ...$$
$$\{\alpha_m\}_{p_m}^1 = \beta_1, \beta_2, ... \beta_d.$$

Соответственно, множество слов $\beta_1, \beta_2 ... \beta_d$, выводимое из слова α за m шагов в исчислительной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \{\beta\}_d^1$. Множество слов $\beta_1, \beta_2 ... \beta_d$, выводимое из слова α в модифицированной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^* \{\beta\}_d^1$.

Для модифицированной ПС задаются отношения линейного и ветвящегося непосредственного следования слов, определяющие два типа преобразований:

1) преобразование единственного экземпляра исходного слова за m шагов вывода и получение одного выходного слова (линейная генерация);

2) преобразование необходимого количества копий исходного слова за m шагов вывода и получение множества выходных слов на равноправных началах (ветвящаяся генерация).

Для ускорения эффективной линейной генерации слов в модифицированной исчислительной ПС наряду со стандартным бинарным отношением $\alpha \Rightarrow \beta$ непосредственной выводимости слов вводится его модификация, обозначаемая как $\alpha \hat{\Rightarrow}_p \beta$ и понимаемая как p-значное отношение независимой выводимости на p независимых вхождениях. Данная модификация относится к множеству таких активационных продукций (3), что существуют слова $L, T_1, T_2, ... T_{p-2}, R \in A^*$ и возможен один из альтернативных вариантов представления смежных слов α и β:

$$\alpha = L^* O_{i_{k_j}} {}^* T_1^* O_{i_{k_j}} {}^* T_{p-2} {}^* O_{i_{k_j}} {}^* R \in A^*, \qquad (4)$$

и соответственно,

$$\beta = L^* P_{i_{k_j}}{}^* T_1^* P_{i_{k_j}}{}^* T_{p-2}{}^* P_{i_{k_j}}{}^* R \in A^*, \qquad (5)$$

где $k_j = \{1, 2, ... p\}$ – номера активационных продукций из множества (2).

Новизна вводимого p-значного отношения независимой выводимости определяется параллельным срабатыванием p независимых активационных продукций из $\mathfrak{I}$ на одном шаге вывода с формированием единственного выходного слова вида (2).

Таким образом, работа модифицированной ПС связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода (каждый рекурсивный вызов ПС) осуществляется путем реализации одного из трех отношений вывода:

1) отношение линейного вывода;

2) p-значное отношения равноправного вывода (ИЛИ-параллельный вывод);

3) p-значное отношения независимого вывода (И-параллельный вывод).

Равноправное и независимое срабатывание продукций из активационного набора приводит к возможности создания параллельных стратегий выводов с безотступной генерацией множества вариантов-решений. Основу данных стратегий составляет дополнительная информация о конфликтных ситуациях, выявляемых до начала генерации путем анализа структурных отношений между образцами в $\mathfrak{I}$. Дополнительная информация представляется в виде внутреннего языка I управляющих слов, являющихся характеристикой ПС.

Заключение

Эффективная генерация ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС основывается на получении количественных оценок ветвлений и определении максимального количества элементарных преобразователей для технологии безотступных вычислений, что прежде всего необходимо для задач распознавания образов и медицинской диагностики.

Модифицированная система имеет встроенные средства для естественной параллельной генерации ветвящихся продукционных процессов и анализа создаваемых дискретных объектов в виде набора взаимно дополняющих выводов, служащих основой стратегий параллельных выводов. Данные выводы имеют самостоятельную ценность для организации параллельных вычислений, если решаемая задача допускает однородное описание на основе модели вычислений, управляемых потоком данных [4].

Список литературы

1. Успенский В.А., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М.: Наука, 1987. 288 с.

2. Довгаль В.М., Титов В.С., Титенко Е.А. Стратегии быстрых символьных вычислений для исчислительной системы продукций // Известия вузов. Серия «Приборостроение». 2008. №2. С. 44–48.

3. Марков А.А. Избранные труды. Т. II. Теория алгоритмов и конструктивная математика, математическая логика, информатика и смежные вопросы. М.: МЦНМО, 2007. 650 с.

4. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектуры суперЭВМ: сб. статей / сост.: В.П. Торчигин, Ю.Н. Никольская, Ю.В. Никитин. М.: ТОРУС-ПРЕСС, 2006. 416 с.

Получено 15.07.11

E.A. Titenko, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

A.V. Belokopytov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

E.B. Tutov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (тел.: 8 (4712) 50-49-09)

M.V. Uraseva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: umv@mail.ru)

MODIFIED PRODUCTION SYSTEM TO SOLVE THE PROBLEM OF THE STRUCTURAL PATTERN RECOGNITION

This article describes a modified production system based Semi-Thue system for the implementation of parallel conclusions. For algorithms with no indentation of the product system introduced linear relationship, equal and independent conclusions.

***Key words**: production system, parallel output, processing symbolic information.*

УДК 681.3

С.С. Шевелев, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: schewelew@mail.ru)

Н.С. Кобелев, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv_kstu6@yandex.ru)

В.Н. Кобелев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: tgv_kstu6@yandex.ru)

УСТРОЙСТВО ВЫПОЛНЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Устройство выполнения логических операций вычисляет логические операции: конъюнкцию (И), дизъюнкцию (ИЛИ), отрицание (НЕ), исключающее ИЛИ, осуществляет операцию хранения результата в оперативном запоминающем устройстве.

***Ключевые слова**: логические операции, электронные ключи, блок конъюнкторов, блок дизъюнкторов, блок операции исключающее ИЛИ, блок инверторов.*

***

Свойство некоторого набора функций выражать через себя любую функцию называется свойством полноты этого набора. Такой полный набор называют логическим базисом. Функционально полными называют наборы логических элементов, пользуясь которыми можно реализовать любую двоичную функцию. Функционально полный набор может состоять и из одного элемента. Любая булева функция может быть представлена аналитически одной из нормальных форм: дизъюнктивной и конъюнктивной. Для этих форм такими функциями являются: конъюнкция, дизъюнкция, отрицание (инверсия). Существуют системы булевых функций, с помощью которых можно аналитически представить любую сколь угодно сложную булеву функцию. Функционально полной системой булевых функций называется совокупность таких булевых функций f1, f2, … , fn, что произвольная булева функция может быть записана в виде формы через функции этой совокупности. К функционально полной системой булевых функций следует отнести системы: логическая И, логическая ИЛИ, отрицание НЕ, исключающее ИЛИ, т.е. конъюнкция (&), дизъюнкция (V), инверсия (НЕ), исключающее ИЛИ [1].

С точки зрения практической реализации булевых функций функциональная полнота базисов показывает, что произвольная логическая сеть может быть построена из простых функциональных элементов, вплоть до случая элементов одного типа, например стрелки Пирса или штриха Шеффера.

Свойство полноты функции позволяет промышленности массово выпускать ограниченный набор логических элементов, из которых можно строить любые логические схемы.

Устройство выполнения логических операций выполняет логические операции: конъюнкцию (И), дизъюнкцию (ИЛИ), отрицание (НЕ), исключающее ИЛИ. В устройстве выполнения логических операций последовательность выполнения булевых функций определяется установкой управляющих сигналов на входах электронных ключей в единичное состояние. Тем самым отпираются соответствующие ключи, и через них значения переменных и ранее полученные результаты других блоков поступают на входы очередного блока устройства.

Устройство выполнения логических операций (рис. 1) содержит: систему электронных ключей СЭКУ, которая служит для разрешения подачи переменных и управляющих сигналов на входы блоков устройства, блок конъюнкторов БКОН (служит для выполнения логической операции И), блок дизъюнкторов БДИЗ (служит для выполнения логической операции ИЛИ), блок операции исключающее ИЛИ БИЛИ (служит для выполнения логической операции исключающее ИЛИ), блок инверторов БИНВ (служит для выполнения логической операции НЕ), электронные ключи конъюнкторов ЭККН (служат для разрешения передачи переменных в блок конъюнкторов), электронные ключи дизъюнкторов ЭКДЗ (служат для разрешения передачи переменных в блок дизъюнкторов), электронные ключи операции исключающее ИЛИ ЭКИЛИ (служат для разрешения передачи переменных в блок операции исключающее ИЛИ), электронные ключи инверторов ЭКИН (служат для разрешения передачи переменных в блок инверторов), блок хранения результатов БХР (служит для записи и хранения в нем результатов выполнения логических операций), блок управления БУ (служит для генерации управляющих сигналов устройства).

Работа устройства выполнения логических операций заключается в следующем.

Блок 1 системы электронных ключей устройства СЭКУ содержит систему логических элементов И с тремя высоко идемпотентными состояниями, выполненных на пороговых элементах. На вход системы электронных ключей поступают информационные сигналы: управления и значения булевых переменных. На входы пороговых элементов блока поступают информационные и управляющие сигналы, равные нулю или единице. Количество и значения булевых переменных задаются в блоке управления. Булевы переменные поступают на одни из входов пороговых элементов. На вторые входы этих же пороговых элементов поступают сигналы управления. При единичных значениях сигналов управления на выходах пороговых элементов будут генерироваться значения булевых переменных. Если сигналы управления равны нулевым значениям, то соответствующие логические схемы И блока будут заперты, что формирует режим отключения этих элементов от других блоков устройства.

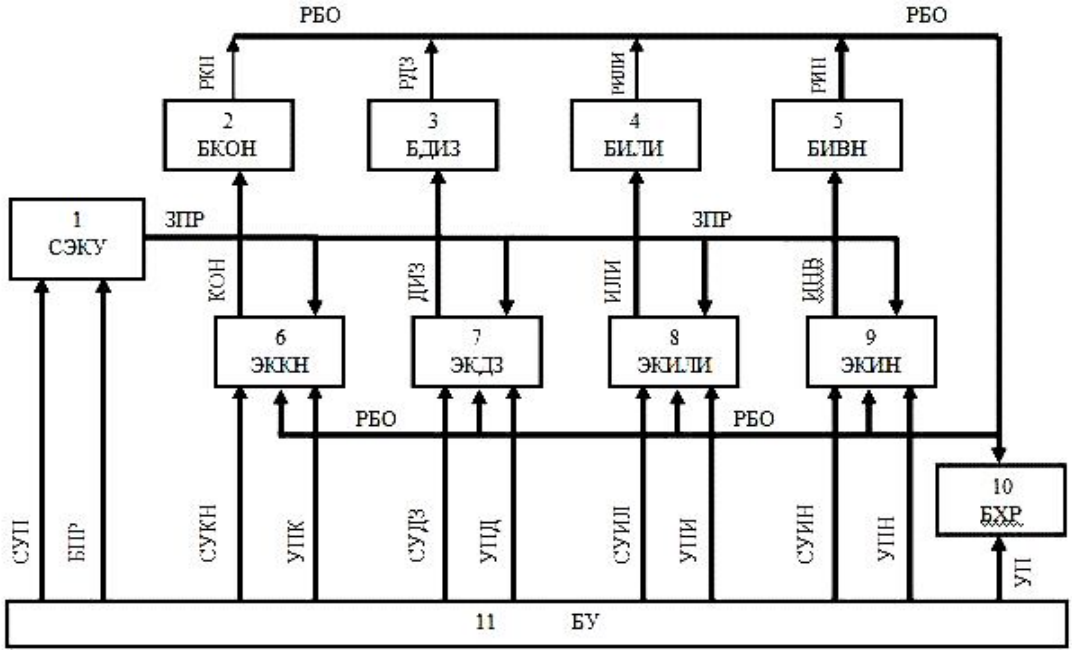

Рис. 1. Структурная схема устройства выполнения логических операций

Блок 2 конъюнкторов БКОН содержит **m** пороговых элементов. Входным сигналом блока является информационный сигнал КОН, который поступает с выхода блока 6 ЭККН (электронные ключи конъюнкторов). Блок 2 конъюнкторов имеет пирамидальную структуру. Входы $a_1 \ldots a_{3m}$ поступают на входы пороговых элементов. Выходным сигналом блока 2 конъюнкторов является результат конъюнкции, формирующийся с выхода порогового элемента.

Блок 3 дизъюнкторов – БДИЗ – содержит **k** пороговых элементов. Входным сигналом блока является информационный сигнал ДИЗ, который поступает с выхода блока 7 ЭКДЗ (электронные ключи дизъюнкторов). Блок 3 дизъюнкторов имеет пирамидальную структуру. Входы $b_1 \ldots b_{3k}$ поступают на входы пороговых элементов. Выходным сигналом блока 3 дизъюнкторов является результат дизъюнкции, формирующийся с выхода порогового элемента.

Блок 4 – исключающее ИЛИ–БИЛИ – содержит f нейронов. Входным сигналом блока является информационный сигнал ИЛИ, который поступает с выхода блока 8 ЭКИЛИ (электронные ключи операции исключающее ИЛИ). Блок 4 – исключающее ИЛИ – имеет пирамидальную структуру. Входы $c_1 \ldots c_{w+1}$ поступают на входы нейронов. Выходы этих нейронов поступают на входы последнего нейрона. Выходным сигналом блока 4 БИЛИ является результат выполнения операции «исключающее ИЛИ», полученный на выходе этого нейрона.

Блок 5 инверторов – БИНВ – содержит систему логических элементов НЕ-инверторов, выполненных на пороговых элементах. Этот блок служит для получения инверсных состояний входных переменных. Входным сигналом блока 5 является информационный сигнал ИНВ, поступающий с выхода блока 9 ЭКИН (электронные ключи инверторов). Каждая переменная поступает на вход соответствующего инвертора – схемы НЕ. На выходе каждого инвертора блока формируется инверсный сигнал. Выходным сигналом блока 5 инверторов является

информационный сигнал, инверсный по отношения к входному.

Блоки 6,7, 8 и 9 – ЭККН, ЭКДЗ, ЭКИЛИ и ЭКИН – электронные ключи конъюнкторов, дизъюнкторов, операции «исключающее ИЛИ», инверторов соответственно: содержат по две системы логических элементов И и по одной системе логических элементов ИЛИ, построенных на пороговых элементах. На информационные входы первых систем поступают значения булевых переменных. На управляющие входы этих электронных ключей поступают сигналы управления работой логических элементов. На информационные входы вторых систем логических элементов И поступают результаты выполнения логических операций других блоков. На управляющие входы этих системы поступают сигналы, управляющие работой электронных ключей. В блоки входит система логических элементов ИЛИ, выполненных на пороговых элементах, выполняющая собирательную функцию. Выходные сигналы с логических элементов И систем поступают на входы дизъюнкторов.

Блок 10 хранения результатов – БХР – содержит оперативное запоминающее устройство, двоичные счетчики, формирующие адреса столбцов и строк. Информационный сигнал, поступающий из блока управления, состоит из управляющих сигналов: установки в нулевое состояние двоичных счетчиков, прямоугольных импульсов, поступающих на суммирующие входы счетчиков и сигналов управления работой оперативного запоминающего устройства. Для формирования адресов строк и столбцов на входы счетчиков поступают прямоугольные импульсы. По этим адресам будут записаны результаты логических операций, которые поступают на вход оперативного запоминающего устройства. Сигналы управления оперативного запоминающего устройства выбора кристалла и считывания/запись соответственно при записи принимают нулевые значения.

Описание алгоритма работы устройства выполнения логических операций, представленного на рисунке 2:

Блок 1 алгоритма является начальным.

В блоке 2 алгоритма происходит установка сигнала – пуск в единичное значение ПУСК:=1. По этой команде все блоки устройства получают команду «Начало работы».

В блоке 3 алгоритма по команде СУПi:=1 происходит подача единичных значений на управляющие входы логических схем И для отпирания соответствующих электронных ключей. Количество управляющих сигналов СУПi зависит от числа введенных переменных в блоке управления. По команде БПРi:=ЗПР каждой булевой переменной присваивается значение, равное нулевому или единичному уровню.

В блоке 4 алгоритма анализируется признак работы устройства – сигнал РУС. Если устройство работает – выход ДА блока, то при этом осуществляется переход на блок 5 алгоритма. Если работа устройства завершена – выход НЕТ блока, осуществляется переход на конечный блок 17 алгоритма.

Блоки 5, 6 и 7 образуют цикл, в котором определяется количество переменных, а также присваиваются значения булевым переменным.

В блоке 5 алгоритма проверяется признак выполнения устройством логической операции конъюнкции КОН. Если устройство выполняет другую логиче-

скую функцию – выход НЕТ блока, то осуществляется переход на блок 8 алгоритма. Если выполняется логическая операция конъюнкция – выход ДА, то осуществляется переход на блок 6 алгоритма.

В блоке 6 алгоритма по команде КОНi:=(ЗПРi) ИЛИ (РБОi) происходит подача результата логической операции ИЛИ значений переменных ЗПР или результата выполнения другими блоками устройства сигнал РБО.

В блоке 7 алгоритма по команде РБО:=БКОН выходная шина устройства РБО принимает значение операции конъюнкции с выхода блока 2 конъюнкторов.

В блоке 8 алгоритма проверяется признак выполнения устройством логической операции дизъюнкции (ИЛИ) – ДИЗ. Если устройство выполняет другую функцию – выход НЕТ блока, то осуществляется переход на блок 11 алгоритма. Если устройством выполняется логическая операция дизъюнкция (ИЛИ) – выход ДА, то осуществляется переход на блок 9 алгоритма.

В блоке 9 алгоритма по команде ДИЗi:=(ЗПРi) ИЛИ (РБОi) происходит подача результата логической операции дизъюнкции значений переменных ЗПР или результата выполнения другими блоками устройства сигнал РБО.

В блоке 10 алгоритма по команде РБО:=БДИЗ выходной информационный сигнал устройства РБО принимает значение операции дизъюнкции с выхода блока 3 дизъюнкторов.

В блоке 11 алгоритма проверяется признак выполнения устройством логической операции «исключающее ИЛИ – ИИЛИ». Если устройство выполняет другую функцию – выход НЕТ блока, то осуществляется переход на блок 14 алгоритма. Если устройство выполняет логическую функцию «исключающее ИЛИ» – выход ДА, то осуществляется переход на блок 12 алгоритма.

В блоке 12 алгоритма по команде ИЛИi:=(ЗПРi) ИЛИ (РБОi) происходит подача результата логической операции «исключающее ИЛИ» значений переменных ЗПР или результата выполнения другими блоками устройства.

В блоке 13 алгоритма по команде РБО:=БИЛИ выходной информационный сигнал устройства РБО принимает полученный результат операции «исключающее ИЛИ» с выхода блока 4 операции «исключающее ИЛИ».

В блоке 14 алгоритма проверяется признак выполнения устройством логической операции инверсии (НЕ) ИНВ. Если устройство выполняет другую функцию – выход НЕТ блока, то осуществляется переход на блок 4 алгоритма. Если выполняется логическая операция инверсия (НЕ) – выход ДА, то осуществляется переход на блок 15 алгоритма.

В блоке 15 алгоритма по команде ИНВi:=(ЗПРi) ИЛИ (РБОi) происходит подача результата логической операции ИЛИ значений переменных ЗПР или результата выполнения другими блоками устройства сигнал РБО.

В блоке 16 алгоритма по команде РБО:=БИНВ выходная шина устройства РБО принимает значение операции инверсии с выхода блока 5 инверторов устройства. По выходу этого блока осуществляется переход на блок 14 алгоритма.

Блок 17 алгоритма является конечным.

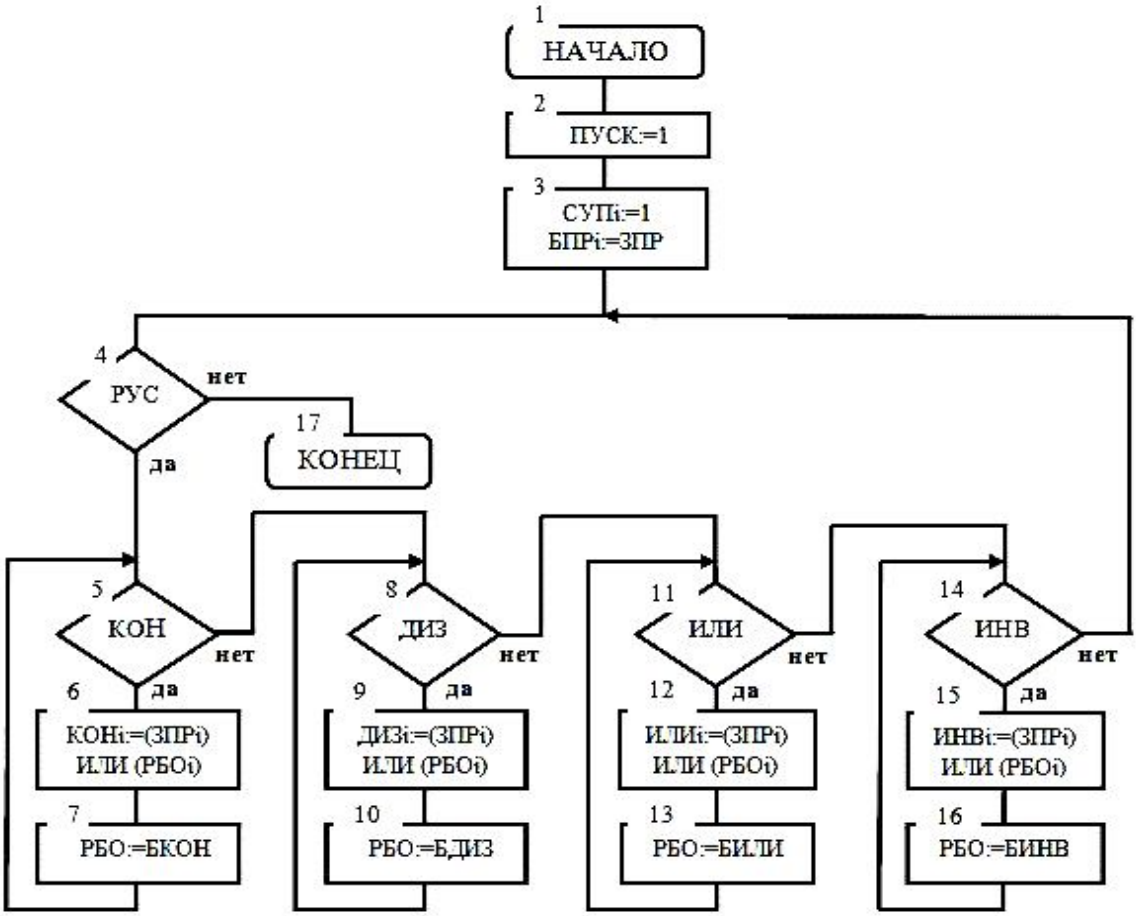

Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы устройства выполнения логических операций

Устройство выполнения логических операций разработано как специализированный модуль, который позволяет выполнить основные логические операции. Развитие специализированных устройств имеет ряд преимуществ, что позволяет по-новому подойти к решению целого ряда задач. Специализированные модули эффективно решают задачи по обработке и сортировке массивов, упорядочения данных, распределения ресурсов между локализованными центрами, ускоренное выполнение арифметических и логических операций.

Вычислительные специализированные процессоры не менее чем на порядок дешевле равномощного универсального устройства. Специализированная система обеспечивает максимальное быстродействие. Она не содержит аппаратурной избыточности, и каждый ее элемент работает в полную силу. Представленное устройство может решать только определенный круг задач, выполнять специализированные вычисления, оно имеет собственное запоминающее устройство. Устройство выполнения логических операций можно использовать в вычислительной системе, состоящей из специализированных модулей, объединенных через единый интерфейс.

1. Самофалов К.Г., Романкевич А.М., Валуйский В.Н. Прикладная теория цифровых автоматов. Киев: Высш. шк., 1987. 374 с.

Получено 26.07.11

S.S. Shevelev, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: schewelew@mail.ru)

N.S. Kobelev, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tgv_kstu6@yandex.ru)

V.N. Kobelev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tgv_kstu6@yandex.ru)

DEVICE OF THE EXECUTION LOGICAL OPERATION

The Device of the execution logical operation calculates the logical operations: conjunction (And), disjunction (OR), negation (NOT), excluding OR, realizes the operation of keeping result in operative rememberring device.

***Key words**: logical operations, electronic keys, block conjunction, block disjunction, block to operations excluding OR, block inverter.*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК, авторы (курсив), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул Microsoft Equation 3.0 (Вставка – Объект – Создание – Microsoft Equation) с размерами: обычный – 14 пт; крупный индекс 12 пт, мелкий индекс – 10 пт; крупный символ – 16 пт; мелкий символ – 10 пт.

Необходимо учитывать, что полоса набора – 75 мм. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – курсивом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF,JPEG,PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка – Рисунок – Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-14.

E-mail: rio_kursk@mail.ru.