

---

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕНЗЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

---



ISSN 2221-951X

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**XXI век: итоги прошлого  
и проблемы настоящего *плюс***

**Периодическое научное издание**

**03/2011**

**Пенза  
ПГТА  
2011**

---

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего <sub>плюс</sub>» :  
Периодическое научное издание. – Пенза : Изд-во Пенз. гос.  
технол. акад., 2011. – 198 с.



---

Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
Penza State Technological Academy

Scientific and methodological journal

"XXI century: resumes of the past  
and challenges of the present <sub>plus</sub>"

Scientific periodical

Penza  
PSTA  
2011

---

Scientific and methodological journal

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PSTA Publishing, 2011. – 198 c.

---

## Содержание

<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ .....</b>	<b>10</b>
<b>ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОТРЕБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА .....</b>	<b>10</b>
<i>И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ .....</b>	<b>18</b>
<i>С.Н. Борисова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Е.М. Боброва, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И УТИЛИТАРНЫЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОНОВ .....</b>	<b>24</b>
<i>В.В. Рыжяков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>М.В. Рыжяков, Московский физико-технический институт (государственный университет) (г. Долгопрудный, Московская обл., Россия)</i>	
<b>АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ .....</b>	<b>32</b>
<b>АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ КООРДИНАТ ОБНАРУЖЕННОГО ОБЪЕКТА .....</b>	<b>32</b>
<i>Н.А. Кочкин, ОАО “Центральный научно-исследовательский институт “Циклон” (г. Москва, Россия)</i>	
<b>АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛНЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ, ОРТОГОНАЛЬНОМУ ОСИ ОХРАНЯЕМОЙ ЗОНЫ .....</b>	<b>35</b>
<i>И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>М.Н. Чернышев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

---

<b>КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРОПУСКАНИЯ ПРИ ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛН НА НАРУШИТЕЛЕ .....</b>	<b>40</b>
<i>И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Н.И. Чернышев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>АЛГОРИТМ УДАЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ С ИЗОБРАЖЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ФОНА .....</b>	<b>45</b>
<i>А.В. Бурмистров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ .....</b>	<b>50</b>
<i>Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Д.А. Мокшанина, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>С.В. Романов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИЧНОСТИ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПЭВМ .....</b>	<b>54</b>
<i>С.Н. Борисова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ДАТЧИКАХ .....</b>	<b>60</b>
<i>Д.А. Матвеев, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (г. Саранск, Россия)</i>	
<b>МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....</b>	<b>67</b>
<b>ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>67</b>
<i>О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

---

<b>ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СТАНДАРТА РАДИОИНТЕРФЕЙСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>73</b>
<i>О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>А.Е. Дудров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>77</b>
<i>М.Н. Шмокин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ...</b>	<b>84</b>
<b>НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ .....</b>	<b>84</b>
<i>А.Б. Андреев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОМОРФИЗМА СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ .....</b>	<b>92</b>
<i>В.В. Пикулин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Ю.Е. Усачёв, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>СТРУКТУРА ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ ОБЗОРНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>97</b>
<i>В.А. Кочкин, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)</i>	
<i>Ю.Ф. Кутаев, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)</i>	
<i>Е.А. Рыбина, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)</i>	
<b>МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЁТА ОПТИМАЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ВИДЕОКАМЕР В СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА .....</b>	<b>100</b>
<i>В.А. Борисов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ .....</b>	<b>106</b>
<i>Р.М. Адилов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

---

<b>АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ .....</b>	<b>111</b>
<b>ДИСПЕТЧЕР ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ С АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ .....</b>	<b>111</b>
<i>Р.А. Бикташев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА “РАНДЕВУ” .....</b>	<b>115</b>
<i>Н.П. Вашкевич, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Р.А. Бикташев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ ПАМЯТИ С БУФЕРИЗАЦИЕЙ ТРАНЗАКЦИЙ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ .....</b>	<b>124</b>
<i>А.И. Мартышкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>УСТРОЙСТВО ОПТИМИЗАЦИИ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ ГРАФА НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ КОММИВОВАЖЁРА .....</b>	<b>132</b>
<i>Л.И. Федосеева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>АНАЛИЗ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ .....</b>	<b>138</b>
<i>В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ИНТЕРПОЛИРУЮЩИЙ ХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С СУБВЕНТИЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ .....</b>	<b>147</b>
<i>В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>И.В. Димов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>С.А. Нестеренко, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>СЕРВЕРНАЯ ПЛАТФОРМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ .....</b>	<b>151</b>
<i>Н.Н. Оглоблин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Д.А. Митрофанов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

---

<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ .....</b>	<b>155</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ .....</b>	<b>155</b>
<i>И.Ю. Сёмочкина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>О.В. Прокофьев, Всероссийский заочный финансово-экономический институт, филиал в г. Пензе (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРИБОРОВ .....</b>	<b>161</b>
<i>Е.Н. Калинин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Е.С. Дёмин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>С.Б. Дёмин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА .....</b>	<b>167</b>
<i>Э.В. Карпухин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА .....</b>	<b>174</b>
<i>Э.В. Карпухин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>В.С. Дятков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ .....</b>	<b>180</b>
<i>И.В. Ушенина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<b>ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА .....</b>	<b>183</b>
<i>Ю.Г. Бочкарева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>Н.И. Чижухина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

---

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

---

---

УДК: 004.89

ББК: 30

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОТРЕБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

© *И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

## DEVELOPMENT STAGES OF HUMAN INFORMATION NEEDS REALIZATION

© *I.I. Salnikov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Рассмотрены основные этапы развития средств реализации информационных потребностей человека – это развитие письменности, книгопечатания, телеграфа, телефона, радио, телевидения, сотовой связи, Интернета. Обсуждаются дальнейшие перспективы развития информационных технологий.

**Ключевые слова:** информация, информационная потребность человека, письменность, книгопечатание, телеграф, телефон, радио, телевидение, сотовая связь, Интернет.

The main stages of development of human information needs implementation are the development of writing, printing, telegraph, telephone, radio, television, cellular, the Internet. We discuss the prospects for further development of information technology.

**Key words:** information, human information need, writing, printing, telegraph, telephone, radio, television, cellular, the Internet.

E-mail: iis@pgta.ru

### Введение

Информация (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение, осведомлённость) – общенаучное понятие, связанное с объективными свойствами материи и их отражением в человеческом сознании. В настоящее время понятие информации трансформируется, расширяется и распространяется на всё новые области деятельности человека. Учитывая современное использование понятия информации, можно утверждать, что информация – это новое знание.

В настоящее время единого определения информации как научного термина еще не сформировалось. Теория информации – математическая теория, включающая в себя описание и оценки методов извлечения, передачи, хранения и классификации информации. Основы этой теории заложил американский ученый Э. Хартли в 1928 г., который определил меру количества информации для некоторых задач связи. Позднее, в 1948 г. тео-

рия была существенно развита американским учёным К. Шенноном, а в 50-е годы советскими учеными А.Н. Колмогоровым, В.М. Глушковым и др. В этих работах определена количественная мера информации – энтропия.

Среди разнообразных потребностей человека немаловажную роль играет информационная потребность, которую можно определить как потребность человека сообщать, получать, извлекать новые для себя знания о себе подобных и об окружающем мире. То есть информационная потребность человека заключается: в передаче информации, в приёме информации, извлечении информации из окружающей среды, преобразовании информации, хранении информации.

Информационная потребность у человека возникла сразу же вместе с его появлением в мире и она явилась основой развития человека, а в дальнейшем основой научно-технического прогресса.

Человеку всегда хотелось, он испытывал и испытывает потребность:

- общаться с себе подобными, обмениваясь при этом знаниями;
- преобразовывать знания, сочинять, модифицировать знания;
- извлекать новые знания из окружающего мира;
- получать новые знания, обобщать, познавать законы окружающего мира;
- хранить знания в различных формах.

Все эти потребности и составляют суть информационной потребности человека. На протяжении всего существования человечества информационная потребность человека привела к появлению совершенных информационных технологий, пройдя при этом колоссальный путь, который можно разделить на ряд этапов.

### **1 этап – РЕЧЬ**

Речь возникла как результат потребности людей сказать что-то друг другу. Речевое общение возникло как результат трудовой деятельности. Речь существует посредством языка. Язык – это система знаков, включающая: слова как набор знаков с их значениями; синтаксис – набор правил, по которым строятся предложения.

Развитие, изменение лексического состава языка, его грамматического и звукового строя возможно лишь при непрерывном изменении языковых структур в живой речи.

### **2 этап – ПИСЬМЕННОСТЬ**

Реализуя информационную потребность через речь человек задумывался над проблемой сохранения информации, передачи её на расстояние, чего не обеспечивала речь. Первые попытки решить эту проблему привели к реализации сообщений с помощью значков, развитие которых привело к появлению письменности. Современная письменность прошла достаточно длительный период становления. При этом выделяют следующие этапы её формирования: предметное письмо, пиктографическое письмо, иероглифическое письмо, слоговое письмо, алфавитное письмо. Алфавитное письмо в силу своей простоты быстро распространилось по всему миру (хотя в некоторых цивилизациях переход к нему не произошёл).

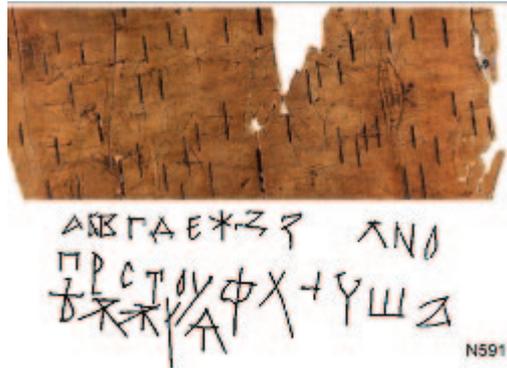


Рисунок 1 – Азбука кириллицы: новгородская берестяная грамота № 591 (1025 – 1050 гг.) и её прорисовка

Около 863 года братья Кирилл и Мефодий из Салоник по приказу византийского императора Михаила III упорядочили письменность для славянского языка. Появление кириллицы, воспроизводящей греческое уставное письмо, связывают с деятельностью болгарской школы книжников (после Кирилла и Мефодия). Благодаря деятельности братьев азбука получила широкое распространение в южнославянских землях. В конце X века кириллица становится языком церкви в Киевской Руси.

В 1708 – 1711 гг. Пётр I предпринял реформу русской письменности, устранив надстрочные знаки, упразднив несколько букв и узаконив другое (приближенное к латинским шрифтам того времени) начертание оставшихся – так называемый гражданский шрифт. Последняя крупная реформа русской письменности была проведена в 1917 – 1918 гг., в результате чего появился современный русский алфавит, состоящий из 33 букв. Этот алфавит также стал основой многих неславянских языков бывшего СССР.

Появление рукописных текстов было несомненно шагом вперед в реализации информационной потребности человека, однако переписывание текстов сопровождалось большим количеством ошибок, а также было весьма трудоёмким занятием.

### 3 этап – КНИГОПЕЧАТАНИЕ

Книгопечатание было изобретено дважды: в Китае и в средневековой Европе. По китайским источникам книгопечатание появилось между 936 и 993 гг. История книгопечатания в современном смысле этого слова начинается с наборного шрифта. В Европе наборный шрифт появился во второй трети XV века, и почти все исследователи приписывают его появление немцу Иоганну Гутенбергу в 1440 г.

В середине XVI в. в эпоху царствования Ивана Грозного книгопечатание проникает в Московское государство. Одновременно с расширением государственных границ шло расширение деятельности церкви. Во вновь завоёванные области посылали многочисленных православных проповедников-миссионеров, строили церкви и монастыри. Естественно, что для

новых церквей понадобились богослужебные книги в большем количестве, чем их могло дать рукописное производство.

Первая печатная русская книга – «Апостол» издана Иваном Фёдоровым в 1564 г. в Москве. Первпечатный «Апостол» – наивысшее достижение типографского искусства XVI в.

Разновидностью книгопечатания является газета, которая решала проблему оперативности информации. Свой современный облик газеты начали приобретать в XVI веке. Тогда и вошло в обиход само название “газета” – по наименованию мелкой итальянской монеты *gazzetta*, которую обычно платили за рукописный листок новостей в Венеции.

Первой российской печатной газетой стала появившаяся в 1702 году по указу императора Петра I газета “Ведомости о военных и иных делах, достойных знания и памяти, случившихся в Московском государстве и иных окрестных странах”. Пётр сам правил корректуру. Печатались Ведомости в количестве 1000 экземпляров. Продажная цена номера была 2 копейки.

Возникновение книгопечатания и появление газет свидетельствовало о начале развития СМИ, которые характеризуются оперативностью получения информации стремлением к массовости. На том уровне развития техники возникновение книгопечатания и появление газет явилось значительным шагом в реализации удовлетворения информационных потребностей человека. Но человеку требовались методы и способы оперативной передачи информации. Кроме того, книги и газеты являлись односторонними источниками информации, а человеку, кроме восприятия информации, всегда требовалось ещё и самому изложить новости – “поговорить” с кем-то. Этим условиям соответствовал следующий этап в развитии способов реализации информационной потребности человека – телеграф и телефон.

#### **4 этап – ПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ** (телеграф, телефон)

Первый электромагнитный телеграф создал российский учёный Павел Львович Шиллинг в 1832 году. Павел Шиллинг также разработал оригинальный код, в котором каждой букве алфавита соответствовала определённая комбинация символов, которая могла проявляться черными и белыми кружками на телеграфном аппарате. В США электромагнитный телеграф запатентовал в 1837 году С. Морзе, который известен ещё как изобретатель телеграфного кода, где буквы алфавита были представлены комбинацией точек и тире (код Морзе). Сети международного абонентского телеграфирования постоянно расширялись, и к 1970 году сеть *Telex* объединяла абонентов более чем 100 стран мира.

Телефон – устройство для передачи и приёма звука на расстоянии. Телефон был запатентован в США в 1876 году Александром Беллом. Первый коммерческий телефонный разговор между Нью-Йорком и Лондоном произошёл 7 января 1927 г. по трансатлантическому телефонному кабелю. СССР был подключён к Нью-Йорку через этот кабель 14 апреля 1936 года. Первый звонок состоялся между наркомом связи и дежурным телефонно-телеграфной компании Нью-Йорка. Несмотря на оперативность передачи информации с помощью телеграфа и телефона, недостатком явилась необхо-

димось проводных линий связи, что для СМИ являлось в ту пору существенным ограничением. Для расширения возможностей распространения информации требовалось средство распространения, не зависящее от наличия проводных сетей связи. И такое средство появилось – это радио.

### 5 этап – РАДИО

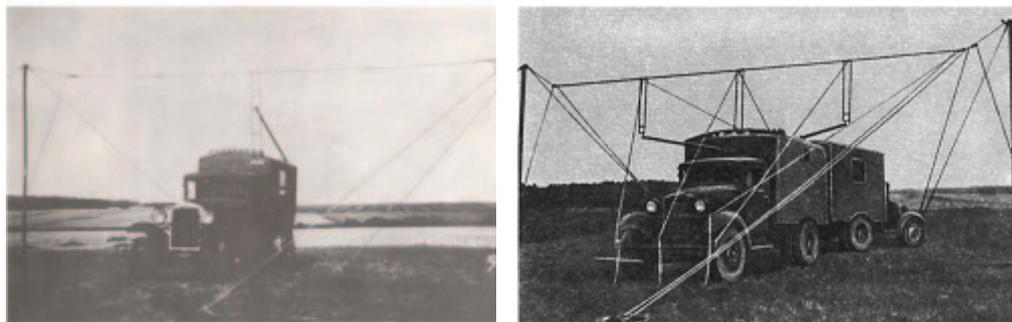
7 мая 1895 года российский учёный Александр Степанович Попов на заседании Русского физико-химического общества продемонстрировал прибор, названный им “грозоотметчик”, который был предназначен для регистрации электромагнитных волн (рис. 2). Этот прибор считается первым в мире аппаратом беспроводной телеграфии, радиоприёмником.



Рисунок 2 – А.С. Попов – изобретатель радио

Перед Второй мировой войной получило всемирное развитие радиолюбительство, позволившее в массовом порядке строить радиоприёмники и получать информацию. Наряду с радиосвязью в предвоенные годы развивалось направление в науке и технике по извлечению информации из принятых радиоволн о пространственном положении удалённых объектов – это радиолокация.

Эффект отражения радиоволн открыл А.С. Попов в 1897 году. Практические работы в области радиолокации начались в 30-х годах. Работы велись практически параллельно в СССР, Германии, Англии и Франции. Естественно, что разработки держались в секрете. Основной целью было обнаружение атак авиации. 3 января 1934 года в СССР был успешно проведён эксперимент по обнаружению самолёта радиолокационным методом. Самолёт, летящий на высоте 150 метров, был обнаружен на дальности 600 метров от приёмной установки. Первыми РЛС в СССР, принятыми на вооружение РККА и выпущенными серийно, были: РУС-1 – с 1939 года и РУС-2 – с 1940 года. Термин “радиолокация” пришёл с поставками американской техники в СССР, а первоначально эти системы назывались “радиоуправляемыми самолётами”. На рис. 3 показана станция РУС-1 непрерывного типа с разнесёнными передатчиком и приёмником на расстояние до 35 км.



Передатчик

Приёмник

Рисунок 3 – Станция РУС-1

Первые серийные радиолокационные станции были установлены вдоль советско-финской границы около Ленинграда. Станции применялись в советско-финской войне 1939 – 1940 годов. Перед Великой Отечественной войной РУС-1 также были развёрнуты под Ленинградом и под Москвой.

Более совершенной оказалась РЛС РУС-2, в которой был применён импульсный метод обнаружения и измерения дальности до цели. Для измерения азимута использовалось вращение антенны вместе с фургоном и операторами, находящимися внутри. Для излучения использовался генератор на лампах ИГ-8 мощностью 50 кВт на частоте 75 МГц (длина волны 4 м). Обнаруженные цели оператор наблюдал на экране ЭЛТ с горизонтальной развёрткой.

#### Этап 6 – ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Телевидение – система связи для трансляции и приёма движущегося изображения и звука на расстоянии. Технологии телевидения не были изобретены одним человеком и за один раз. В основе телевидения лежит открытие фотоэффекта в селене, сделанное Уиллоуби Смитом в 1873 году. Изобретение сканирующего диска Паулем Нипковым в 1884 году послужило толчком в развитии механического телевидения, которое пользовалось популярностью вплоть до 1930-х годов. Основой электронного телевидения послужила электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) как устройство, преобразующее электрические сигналы в изображение. В 1879 году Уильям Крукс создал прообраз электронной трубки, установил, что катодные лучи распространяются линейно, но могут отклоняться магнитным полем. Также он обнаружил, что при попадании катодных лучей на некоторые вещества, последние начинают светиться.

25 июля 1907 года российский ученый Б.Л. Розинг подал заявку на изобретение “Способ электрической передачи изображений на расстоянии”. Настоящим прорывом в чёткости изображения электронного телевидения, что решило в конце концов в его пользу спор с механическим телевидением, стал “икonosкоп”, изобретённый в 1923 году Владимиром Зворыкиным (он работал в то время для *Radio Corporation of America*) в США. Иконос-

коп – первая электронная передающая телевизионная трубка, позволившая начать массовое производство телевизионных приёмников. Первые регулярные передачи чёрно-белого телевидения были начаты в нацистской Германии, и велись они без звука с 1929 г.

Регулярное телевидение в СССР началось 10 марта 1939 года. В этот день московский телецентр на Шаболовке через передатчики, установленные на Шуховской башне, передал в эфир документальный фильм об открытии XVIII съезда ВКП(б). В дальнейшем передачи велись 4 раза в неделю по 2 часа. Весной 1939 года в Москве передачи принимали более 100 телевизоров “ТК-1”. 18 декабря 1953 года в США было начато первое в мире цветное телевидение в системе NTSC. Начало новой работы ТВ в СССР – 22 марта 1951 года, когда была создана центральная студия телевидения.

С точки зрения удовлетворения информационных потребностей человека телевидение сделало огромный шаг вперед, так как передаваемая информация уже заключалась не только в звуке, но и в изображении. До сих пор, несмотря на односторонний характер передач, телевидение имеет огромное влияние на человека. Другим недостатком обычного телевидения является ограничение дальности действия пределами прямой видимости телепередатчика. Это заставило покрыть сеть ТВ-центров всю Землю. Но в связи с появлением спутников возникла возможность “подвесить” ретранслятор над Земным шаром и существенно расширить область приёма ТВ-сигнала.

Спутниковое телевидение открыло новую эру в массовом применении телевидения.

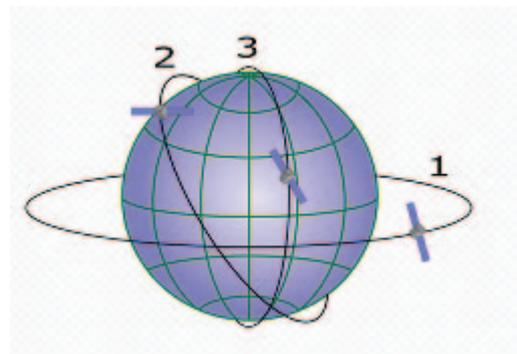


Рисунок 4 – Спутниковое телевидение

В 1965 г. в СССР была разработана ТВ-система “Орбита”, использующая наклонную орбиту спутника. Диаметр приёмной антенны 12 м, использовался ИСЗ “Молния-1” на высокоэллиптической орбите апогеем 40 тыс. км. (рис. 4.2). В настоящее время для спутникового телевидения используются геостационарная орбита (рис. 4.1), позволяющая использовать фиксированное положение приёмных антенн.

### **Этап 7 – СОТОВАЯ СВЯЗЬ**

Сотовая связь – один из видов мобильной радиосвязи, в основе которого лежит сотовая сеть. Ключевая особенность её заключается в том, что общая зона покрытия делится на ячейки (соты), определяющиеся зонами покрытия отдельных базовых станций (БС). На идеальной (ровной и без застройки) поверхности зона покрытия одной БС представляет собой круг, поэтому составленная из них сеть имеет вид сот с шестиугольными ячейками (сотами). Сеть составляют разнесённые в пространстве приёмопередатчики, работающие в одном и том же частотном диапазоне, и коммутирующее оборудование, позволяющее определять текущее местоположение подвижных абонентов и обеспечивать непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одного приёмопередатчика в зону действия другого.

Первый общественный подвижный радиотелефон появился в 1946 г. (Сент-Луис, США; фирма Bell Telephone Laboratories), в нём использовался диапазон 150 МГц. В СССР с 1963 г. эксплуатировалась система “Алтай”, а в 1970 г. система “Алтай” работала в 30 городах СССР и для неё был выделен диапазон 330 МГц. Использовалась она в основном в скорой помощи, у пожарных, в милиции. В 1978 г. в Чикаго начались испытания первой опытной системы сотовой связи на 2 тыс. абонентов, в Японии – с 1979 г., в Скандинавских странах (Дания, Норвегия, Швеция, Финляндия) – с 1981 г., в Испании и Англии – с 1982 г. В России сотовая связь начала внедряться с 1990 г. На 2007 год основные протоколы сотовой связи, используемые в России, – *GSM-900* и *GSM-1800*.

Сотовая связь оказалась весьма востребованным средством удовлетворения информационной потребности человека, так как она является индивидуальной, доступной и оперативной.

### **Этап 8 – ИНТЕРНЕТ**

В 1957 году Министерство обороны США посчитало, что на случай войны Америке нужна надёжная система передачи информации. Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA) предложило разработать для этого компьютерную сеть, которая была названа *ARPANET*, и в 1969 году в рамках проекта сеть объединила четыре научных учреждения. Все работы финансировались Министерством обороны США. Затем сеть *ARPANET* начала активно расти и развиваться, её начали использовать учёные из разных областей науки.

К концу 1970-х годов начали бурно развиваться протоколы передачи данных, которые были стандартизированы в 1982-83 годах. Активную роль в разработке и стандартизации сетевых протоколов играл Джон Постел. 1 января 1983 года сеть *ARPANET* перешла с протокола *NCP* на *TCP/IP*, который успешно применяется до сих пор для объединения (или, как ещё говорят, “наслоения”) сетей. Именно в 1983 году термин “Интернет” закрепился за сетью *ARPANET*. Интернет – всемирная система объединённых компьютерных сетей, построенная на использовании протокола *IP* и маршрутизации пакетов данных. К середине 2008 года число пользователей, регулярно использующих Интернет, составило около 1,5 млрд. человек (око-

ло четверти населения Земли). Вместе с подключенными к нему компьютерами Интернет служит основой для развития “информационного общества”. “Всемирная паутина” оказалась весьма востребованной современным обществом, так как в наибольшей степени удовлетворяет принципу информационной свободы человека.

### **Основные тенденции развития современных информационных технологий**

Отметим две основные тенденции из всего существующего на сегодняшний день многообразия:

– развитие технологии производства и изготовления интегральных схем. Внедряются технологии с разрешающей способностью 65 и 45 нм, осваиваются 32 и 18 нм, но это – пирамида, в основании которой лежит массовая технология с разрешающей способностью 1,5-0,5 мкм, которая является дешёвой и массовой. Технология производства ИС – это средство реализации научных и инженерных идей;

– интеграция информационных технологий на основе интернет-технологий, когда достижения в различных областях объединяются в единые пользовательские системы, объединяющие: сотовую связь, Интернет, компьютер, фотоаппарат, видеокамеру, аудиосистемы, управляющие системы и многие другие необходимые человеку функции.

**УДК: 681.3.067**

**ББК 30**

## **СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

© *С.Н. Борисова, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *Е.М. Боброва, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

## **STEGANOGRAPHIC METHODS OF EMBEDDING INFORMATION**

© *S.N. Borisova, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *E.M. Bobrova, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена важному направлению защиты информации при передаче в вычислительных сетях путём скрытного встраивания в мультимедийные файлы. При этом используются младшие разряды передаваемых кодов как во временной области, так и в частотной.

**Ключевые слова:** стеганография, мультимедийные файлы, сокрытие информации, частотный спектр.

## СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

This article is devoted to an important area of information security, which is the transfer of data through computer networks by embedding into media files. It uses low-order bits transmitted codes in both time domain and frequency.

**Key words:** steganography, multimedia files, hiding information, frequency spectrum.

E-mail: snl\_simona@mail.ru

### Введение

О необходимости и важности сохранения информации в тайне задумывались уже с древних времен, с появлением письменности, когда появилась опасность прочтения секретных посланий нежелательными лицами. Исторически сложились три способа защиты информации [3]:

1) физический способ защиты – защита самого носителя информации от перехвата или доступа: применение труднодоступных для перехвата сообщений каналов связи, уничтожение носителя информации при перехвате, охрана носителя информации;

2) стеганографический способ защиты – скрытие самого факта передачи тайного сообщения;

3) криптографический способ защиты – преобразование открытого текста в хаотический набор знаков.

Стеганография появилась раньше криптографии, но не получила такого развития, как последняя. Слово “стеганография” имеет греческие корни (στυγανος – “скрытый” и γραφω – “пишу”, буквально “тайнопись”). Тайнопись могла быть реализована различными способами. Общим признаком этих способов является то, что скрываемое сообщение встраивается в другой объект, не привлекающий внимания. Затем этот объект открыто передаётся получателю. Преимущество стеганографии перед криптографией в этом случае в том, что наличие скрытой связи остаётся незаметным, тогда как передаваемое шифрованное сообщение само по себе привлекает внимание противника.

Интерес к стеганографии возродился в последнее время в связи с развитием средств вычислительной техники и широким распространением мультимедийных технологий. Развитие вычислительной техники повлекло за собой появление новых каналов передачи информации, новых способов хранения данных, а следовательно, и новых типов контейнеров – объектов для встраивания. Стеганография стала находить новые области применения – не только скрытая передача информации, но и её защита от несанкционированного копирования и использования, защита авторских прав, поиск информации в базах данных и т.п.

**Модель стеганографической системы.** На рис. 1 показаны основные направления использования и развития стеганографии.

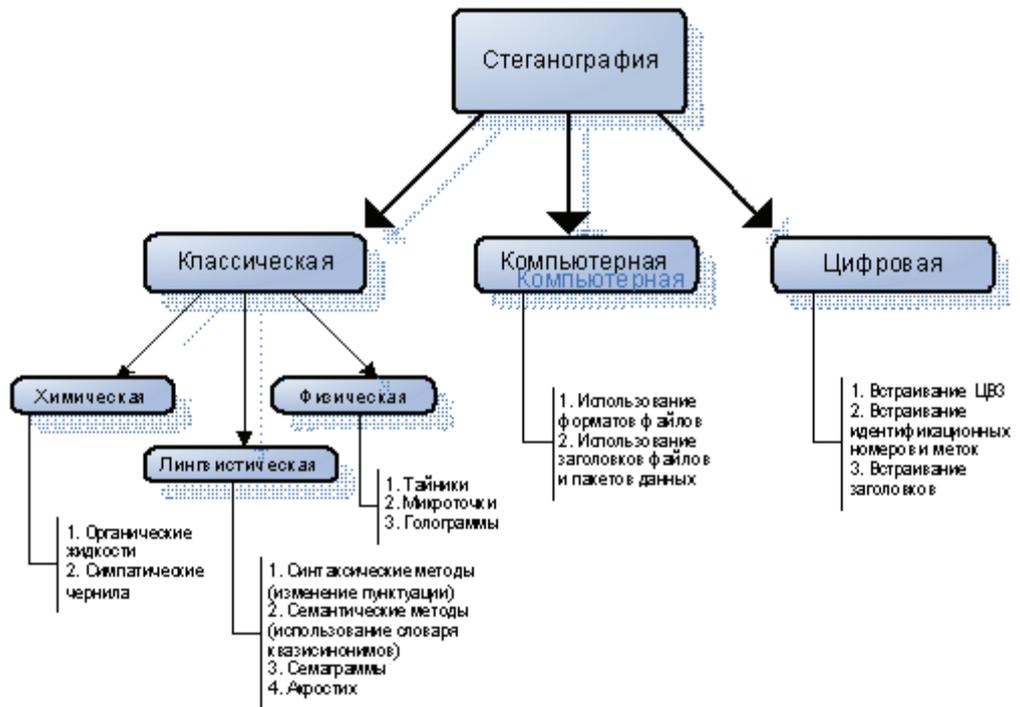


Рисунок 1 – Направления стеганографии

На рис. 2 представлена модель стегосистемы, которая выполняет задачу встраивания и извлечения сообщений из других информационных объектов (контейнеров). Стегосистемой называют совокупность средств и методов, которые используются для формирования скрытого канала передачи информации. Её основными компонентами являются стеганокодер и стеганодекодер, выполняющие соответственно функции встраивания и извлечения сообщений из контейнера. При необходимости предварительной подготовки встраиваемого сообщения используется прекодер. Для увеличения секретности встраивания предварительная обработка довольно часто выполняется с использованием ключа.

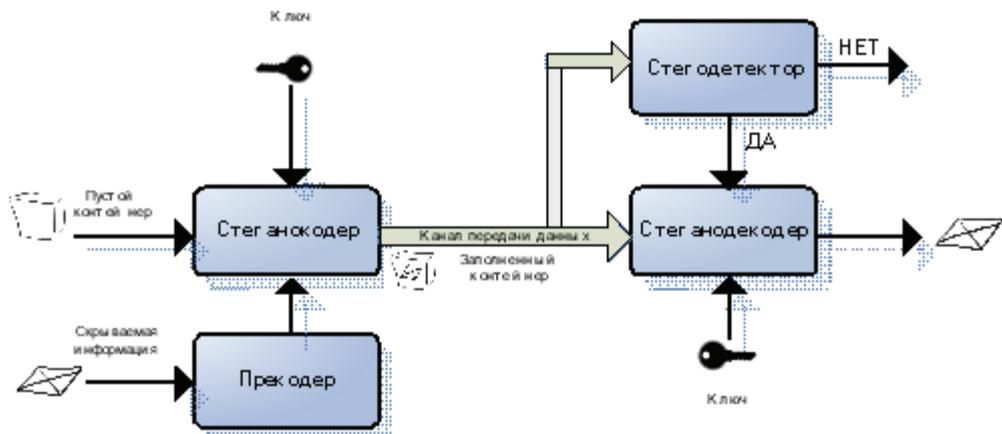


Рисунок 2 – Модель стегосистемы

По используемому методу скрытия методы цифровой стеганографии делятся на 2 класса: методы непосредственной замены, заключающиеся в замене малозначащей части контейнера битами скрываемого сообщения, и спектральные методы замены, использующие спектральные представления элементов среды, в которую встраиваются скрываемые данные (например, в разные коэффициенты массивов дискретно-косинусных преобразований, преобразований Фурье).

Значительная часть исследований в области стеганографии посвящена встраиванию конфиденциальных сообщений и цифровых водяных знаков в файлы изображений. Это связано с практической необходимостью защиты авторских прав, хорошо разработанными методами обработки цифровых изображений, слабой чувствительностью человеческого глаза к незначительным изменениям яркости, контрастности, изменению цветов изображения.

Один из методов первого класса, применяемый для скрытия текстовых сообщений в файлах мультимедиа – метод *LSB (Least Significant Bit*, наименьший значащий бит (НЗБ)) – суть этого метода заключается в замене последних значащих битов в контейнере (изображения, аудио или видеозаписи) на биты скрываемого сообщения [1]. Младший значащий бит изображения несёт в себе меньше всего информации. Известно, что человек в большинстве случаев не способен заметить изменений в этом бите. Фактически, НЗБ – это шум. При этом для изображения в градациях серого объём встроенных данных может составлять 1/8 от общего объёма контейнера. Например, в изображение размером 512x512 можно встроить около 32 кбит информации [1].

Кроме метода НЗБ, к методам скрытия информации в пространственной области изображения относятся: метод псевдослучайного интервала, метод псевдослучайной перестановки, метод блочного скрытия, метод цветовой палитры, описанные подробно в [1].

Однако стеганографические методы скрытия данных в пространственной области изображения являются нестойкими к большинству из известных видов искажений. Так, например, использование операции компрессии с потерями (относительно изображения это может быть JPEG-компрессия) приводит к частичному или, что более вероятно, полному уничтожению встроенной в контейнер информации. Более стойкими к разнообразным искажениям, в том числе и компрессии, являются методы, использующие для скрытия данных не пространственную область контейнера, а частотную [1]. Один из наиболее распространённых на сегодня методов скрытия конфиденциальной информации в частотной области изображения заключается в относительной замене величин коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП), который в своё время описали Кох (E. Koch) и Жао (J. Zhao). В ДКП картинка рассматривается как совокупность пространственных волн, для которых оси X и Y проводятся параллельно продольной и поперечной осям картинке, а по оси Z откладывается значение цвета соответствующего пикселя изображения.

ДКП преобразует полученную на предыдущем этапе рабочую матрицу в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера. В матрице

коэффициентов высокочастотные элементы концентрируются в левом верхнем углу, а низкочастотные – в правом нижнем. Большинство графических образов на экране компьютера состоит из низкочастотной информации, поэтому высокочастотные элементы получившейся матрицы можно отбросить.

На начальном этапе первичное изображение разбивается на блоки размерностью  $8 \times 8$  пикселей. ДКП применяется по формуле (1) к каждому блоку, в результате чего получают матрицы  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП. Каждый блок при этом предназначен для скрытия одного бита данных. Во время организации секретного канала абоненты должны предварительно договориться о двух конкретных коэффициентах ДКП из каждого блока, которые будут использоваться для скрытия данных. Данные коэффициенты задаются их координатами в массивах коэффициентов ДКП.

$$\Omega(u, v) = \frac{\zeta(u) \cdot \zeta(v)}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(x, y) \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N} \right] \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N} \right], \quad (1)$$

где  $C(x, y)$  – элементы оригинального изображения (рис. 2,а) размерностью  $N \times N$ ;  $x$  и  $y$  – пространственные координаты пикселей изображения;  $\Omega(u, v)$  – массив коэффициентов ДКП;  $u, v$  – координаты в частотной области;

$$\zeta(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \text{ если } v = 0 \text{ и } \zeta(v) = 1, \text{ если } v > 0.$$

Непосредственно процесс скрытия начинается со случайного выбора блока  $C_b$  изображения, предназначенного для кодирования  $b$ -го бита сообщения. Встраивание информации осуществляется следующим образом: для передачи бита “0” стремятся, чтобы разница абсолютных значений коэффициентов ДКП превышала некоторую положительную величину, а для передачи бита “1” эта разница делается меньшей по сравнению с некоторой отрицательной величиной.

$$\begin{cases} |\Omega_b(u_1, v_1)| - |\Omega_b(u_2, v_2)| > P, \text{ при } m_b = 0; \\ |\Omega_b(u_1, v_1)| - |\Omega_b(u_2, v_2)| < -P, \text{ при } m_b = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, первичное изображение искажается за счёт внесения изменений в коэффициенты ДКП, если их относительная величина не отвечает скрываемому биту. Чем больше значение  $P$ , тем стеганосистема, созданная на основе данного метода, является более стойкой к компрессии, однако качество изображения при этом значительно ухудшается.

После соответствующего внесения коррекции в значения коэффициентов, которые должны удовлетворять неравенству (2), проводится обратное ДКП:

$$S(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \zeta(u) \cdot \zeta(v) \cdot \Omega(u, v) \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N} \right] \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N} \right]. \quad (3)$$

Для извлечения данных в декодере выполняется аналогичная процедура выбора коэффициентов, а решение о переданном бите принимается в соответствии со следующим правилом:

$$\begin{cases} m^*_b = 0, \text{ при } |\Omega^*_b(v_1, v_1)| > |\Omega^*_b(v_2, v_2)|; \\ m^*_b = 1, \text{ при } |\Omega^*_b(v_1, v_1)| < |\Omega^*_b(v_2, v_2)|. \end{cases} \quad (4)$$

При моделировании метода в программе MathCAD для скрытия секретного сообщения будет использоваться массив  $B$ , в связи с низкой чувствительностью ЗСЧ к каналу синего цвета и возможным при определённых обстоятельствах довольно значительным искажением контейнера при встраивании.

### Заключение

Стеганография, появившаяся тысячелетия назад, а затем уступившая место криптографии, с развитием вычислительной техники обрела новое дыхание. Она не может составлять конкуренцию криптографическим средствам защиты, однако одно из её развитых направлений – цифровая стеганография – завоевало свою нишу в области защиты информационных данных. Разработаны десятки способов встраивания информации в объекты-контейнеры различного типа [1]. Области применения стеганографии представлены на рис. 3.



Рисунок 3 – Области применения стеганографии

С развитием информационных технологий возможно появление новых областей использования стеганографии, а также новых методов встраивания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. *Компьютерная стеганография. Теория и практика.* – М.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. *Цифровая стеганография.* – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
3. Бабаиш А.В., Шанкин Г.П. *История криптографии. Часть I.* – М.: Гелиос, 2002.

УДК 510.22

ББК 30

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И УТИЛИТАРНЫЕ МЕТОДИКИ  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ  
НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
И ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОНОВ**

© *В.В. Рыжаков, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *М.В. Рыжаков, Московский физико-технический институт  
(государственный университет) (г. Долгопрудный, Московская обл., Россия)*

**ALGORITHMIC AND UTILITARIAN TECHNIQUES  
OF DIAGNOSING OBJECTS' STATE ON THE BASIS OF FUZZY  
INFORMATION AND ARTIFICIAL NEURONS' ELEMENTS**

© *V.V. Ryzhakov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *M.V. Ryzhakov, Moscow Physical-Technical Institute (State University)  
(Dolgoprudny, Moscow reg., Russia)*

В статье предлагаются алгоритмические и утилитарные методики получения и обобщения нечёткой информации. Первая методики строится с использованием элементов искусственных нейронов, а вторая излагается с использованием конкретных матриц данных и алгоритмов дефаззификации. Приложение методик иллюстрируется численным экспериментом.

**Ключевые слова:** алгоритмическая и утилитарная методики, нечёткая информация, искусственный нейрон, дефаззификация.

The article proposes utilitarian and algorithmic techniques obtaining and generalizing fuzzy information. The first technique is built with using artificial neurons' elements, and the second one is presented with using specific algorithms and data matrix of defuzzification. The application of the techniques is illustrated by the numerical experiment.

**Key words:** algorithmic and utilitarian techniques, fuzzy information, artificial neuron, defuzzification.

E-mail: [rvv@pgta.ru](mailto:rvv@pgta.ru); [mryzhakov@applmech.mipt.ru](mailto:mryzhakov@applmech.mipt.ru)

**Введение**

Настоящая работа посвящена развитию методологии диагностирования состояния объектов, которые характеризуются рядом трудно контролируемых параметров. К их числу можно отнести, например, концентрацию составляющих окружающей атмосферы, её температуру, влажность, давление, а также технические характеристики самого объекта. В ряде случаев точно измерить указанные параметры невозможно по техническим причинам или по причине неблагоприятных обстоятельств. Это приводит к нечёткому характеру информации, получаемой экспертным путем, или другими приближенными способами. В работе [1] авторы рассмотрели принци-

пиальные измерения нечёткой информации на основе условных шкал, а в [2] – вопросы адаптации к семантике диагностируемых параметров объектов универсальных шкал и, соответственно, условных алгебр-шкал, предназначенных для измерения нечёткой информации. В связи с потребностью одновременного учёта и обработки различных потоков нечёткой информации возникает необходимость развивать соответствующие методы и средства. К их числу авторы относят методы (технологии), основанные на использовании элементов искусственных нейронов, которые и позволяют обобщить потоки нечёткой информации в виде нечётких ситуаций.

**Особенности искусственного нейрона.**

Рассмотрим кратко особенности искусственного нейрона. На рис. 1 представлена общая структурная схема искусственного нейрона, в которой цифрами  $1, \dots, n$  обозначены синапсы, осуществляющие “умножение” входного текущего сигнала  $x_t^i$  на числа  $g_i$ , которые характеризуют степень связи – веса синапса. Здесь индекс  $i$  выражает номер входного сигнала (параметра) с диагностируемого объекта,  $t$  – индекс времени (текущего сигнала).

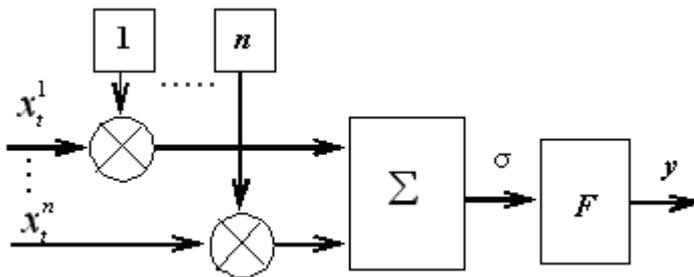


Рисунок 1 – Структурная схема искусственного нейрона

Сумматор  $\Sigma$  выполняет функции сложения сигналов, поступающих по синапсическим связям. Преобразователь  $F$  образует функцию выходного сигнала  $\sigma$  сумматора. В общем виде можно записать скалярную функцию векторного аргумента  $\{x^i\}$  как

$$\sigma = \sum_{i=1}^n g_i \cdot x^i + \sigma_0, \tag{1}$$

где  $\sigma_0$  – сигнал на выходе сумматора  $\Sigma$  при отсутствии воздействий  $\{x^i\}$ . Ставится задача диагностирования состояния объекта, который характеризуется  $n$  параметрами, значения которых в контролируемый момент ( $t$ ) образуют текущую ситуацию. Процесс диагностирования будет заключаться в сравнении текущей ситуации с рядом типовых (эталонных) ситуаций,

которые заранее сформулированы (заданы), и выделения из их числа наиболее адекватной текущей ситуации. Последнее можно осуществить на основе сравнения функций принадлежности значений параметров, характеризующих (определяющих) текущую и типовые ситуации.

Операции сравнения целесообразно выполнить путём оценивания нечётких включений или нечётких равенств, общие правила их выполнения на основе использования условных алгебр-шкал изложены в [1]. Указанное положение означает, что в алгоритме (1) веса  $g_i$  следует заменить значениями функций принадлежности сигнала  $x^i$  во всех термах, сформированных на базовом множестве  $X_g^i$ . Эта задача весьма сложная, и при оперативном диагностировании и принятии решений необходимо иметь достаточную (гарантированную) скорость решения. Это обстоятельство требует подвергать нейрон соответствующему обучению: нейрон должен запомнить все типовые ситуации, по значениям  $x^i$  определять соответствующие функции принадлежности, производить вычисления нечётких включений (равенств) и дефазификацию нечёткой информации, а также выдавать рекомендации по выбору соответствующих реакций на состояние диагностируемого объекта.

Особенности нейрона должны быть таковы [3]. Синапсы должны обладать памятью, хранящей функции принадлежности термов нечётких множеств по каждому параметру ( $x^i$ ) ситуации. Функции принадлежности при этом должны быть такими, чтобы в них нашли отражения все существенные параметра нечётких множеств (термов). Этому условию соответствует выражение [1, 2]

$$\mu_{x_{j_i}^i}(x^i) = \exp \left[ \left( \left| x_{j_i}^i - x^i \right| \frac{2J_i}{X_g^i} \right)^{g_0^{j_i}} \cdot \ln t_n \right], \quad (2)$$

где  $x_{j_i}^i = x^i(t)$  – текущее значение  $i$ -го ( $x^i$ ) выходного сигнала синапса (диагностируемого параметра объекта),  $x_{j_i}^i$  – типовой представитель  $j_i$ -го терма  $x^i$  параметра,  $X_g^i$  – базовое множество параметра  $x^i$ ,  $j_i \in \{0; 1; \dots; J_i\}$ ,  $g_0^{j_i}$  – коэффициент, выражающий степень нарушения комплементарности нечётких множеств (термов) сигнала  $x^i$  на базовом множестве  $X_g^i$ ,  $t_n$  – порог нечёткого включения. В общем случае  $t_n \in (0, 5; 1)$ .

Методика выбора значения  $t_n$ , предложенная в [2], заключается в следующем. Пара значений  $x_t^i$  и  $\mu_{x_{j_i}^i}(x_t^i)$  образует одну из координат (так её назовем) текущей ситуации по параметру  $x^i$ . На основе этого сумматор  $\Sigma$  (рис. 1) воспринимает все координаты по каждому терму и образует текущую ситуацию (нечёткую) по всем параметрам. Аналитически нечёткая ситуация представится в сжатой форме как

$$\tilde{S}_t = \left\{ \mu_{x_1^i}(x_t^i)/x_t^i; \dots; \mu_{x_{j_i}^i}(x_t^i)/x_t^i \right\}, \quad (3)$$

где  $i = \{1, \dots, n\}$ . Пробегая все значения  $i$ , выражение ситуации можно записать в развернутом виде: в виде набора строк, подобных (2).

Теперь следует определить (как вариант) число типовых ситуаций, следуя, например, правилу: берётся по одному представителю из множеств (термов) с индексами  $\{0; \dots; J_1\}, \dots, \{0; \dots; J_n\}$ . Тогда число  $N$  типовых нечётких ситуаций будет равно произведению

$$N = (J_1 + 1)(J_2 + 1) \dots (J_n + 1), \quad (4)$$

а номер ситуации  $f$  будет принадлежать множеству

$$f \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (5)$$

С учётом сказанного типовая нечёткая ситуация запишется в виде

$$\tilde{S}_f^* = \left\{ \mu_{x_{j_i}^i}(x_{j_i}^i)/x_{j_i}^i; \dots; \mu_{x_{j_i}^i}(x_{j_i}^i)/x_{j_i}^i \right\}. \quad (6)$$

В конкретизированном виде для случая, когда для каждого параметра принято значение, равное типовому представителю, например, нулевых термов, т.е.  $x^1 \sim x_0^1; x^2 \sim x_0^2; \dots; x^n \sim x_0^n$ , первая типовая ситуация запишется как

$$\tilde{S}^* = \left\{ \mu_{x_0^1}(x_{j_1}^1)/x_{j_1}^1; \dots; \mu_{x_0^1}(x_0^1)/x_0^1 \right\},$$

.....

$$\left\{ \mu_{x_0^n}(x_0^n)/x_0^n; \dots; \mu_{x_{j_n}^n}/x_0^n \right\}. \quad (7)$$

Таким образом, на первом этапе диагностирования объекта сумматор  $\Sigma$  производит накопление текущих нечётких ситуаций, если моментов контроля несколько, и содержит (хранит) в памяти все типовые ситуации  $\{\tilde{S}_f^*\}$ .

На следующем этапе диагностирования сумматор осуществляет сравнение всех текущих ситуаций с типовыми на предмет оценивания нечётко-

го включения  $\nu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_f^*)$  или равенства  $\mu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_f^*)$ . Нечёткие включения и равенства выражаются через операторы импликаций. В качестве последних можно выбрать оператор Лукасевича, Клини – Динса, Гёделя, Ягера, Мамдани, Л. Заде и др. Наиболее часто используется второй из названных операторов. Его конкретный вид в приложении к нечёткому включению запишется как

$$\nu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_f^*) = \& \underset{i \ j_i}{\vee} \left( \mu_{\tilde{S}_t} \rightarrow \mu_{\tilde{S}_f^*} \right) = \& \underset{i \ j_i}{\vee} \left( 1 - \mu_{\tilde{S}_t}, \mu_{\tilde{S}_f^*} \right), \quad (8)$$

где  $\mu_{\tilde{S}_t}, \mu_{\tilde{S}_f^*}$  – совокупность значений функций принадлежности значений параметров  $(i)$  текущих, соответствующих времени  $t_i$ , и типовых ситуаций, соответствующих номеру  $f_{j_i}$ ,  $i$  – номер параметра,  $j_i$  – номер терма.

Далее сложную символику  $t_i$  и  $f_{j_i}$  упростим и перейдем к  $t$  и  $j_i$  соответственно. Значение  $\nu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_f^*)$  или  $\mu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_f^*)$  (сигнала, обозначенного на рис. 1 символом  $\sigma$ ) передаётся на преобразователь  $F$ . Этот преобразователь, также играющий роль синапса по правилам

$$* \underset{\{i,j\}}{\vee} \left\{ \nu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_{j_i}^*) \right\}, \quad (9)$$

или

$$* \underset{\{i,j\}}{\vee} \left\{ \mu(\tilde{S}_t, \tilde{S}_{j_i}^*) \right\}, \quad (10)$$

определяет веса текущих ситуаций. Из их числа на основе (9) и (10) определяется максимум, т.е. реализуется операция взятия  $\max(\vee)$ . В выражениях (9) и (10) индексы  $* \{i, j\}$  определяют всю совокупность типовых ситуаций.

После разрешения операции  $\vee$  определяется типовая ситуация, наиболее адекватная текущей (обозначим ее  $\{i, j\}^*$ ), и производится оценивание сигнала в виде кода ситуаций  $\{i, j\}^*$  и дефаззификация нечёткой информации, а также определяются действия оператора (как реакция) на полученный результат. В коде результата  $\{i, j\}^*$  звездочка переставлена: было  $* \{i, j\}$ . Дефаззификация нечёткой информации  $\{i, j\}^*$  осуществляется на основе использования алгоритма, подробные пояснения к которому даны в [4]

$$\bar{x}_{t_k}^i = \frac{\sum_{j_i=0}^{J_i} \mu_{x_{j_i}^i} \left( x_{t_k}^i \right) \cdot x_{j_i}^i}{\sum_{j_i=0}^{J_i} \mu_{x_{j_i}^i} \left( x_{t_k}^i \right)}, \quad (11)$$

где  $t_k$  – момент контроля диагностируемого параметра (объекта). Дефаззификация производится по всем  $x^i$  параметрам.

**Результаты численного эксперимента.** В качестве численного эксперимента, позволяющего проследить основные процедуры диагностирования, рассмотрим оценивание  $\nu_f \left( \tilde{S}_t, \tilde{S}_{j_i}^* \right)$  или  $\mu_{j_i} \left( \tilde{S}_t, \tilde{S}_{j_i}^* \right)$ . Для случая, когда условные алгебры-шкалы [1] для трёх параметров диагностирования  $x^1, x^2, x^3$  адаптированы на универсальные с тремя термами  $\left( \gamma^j : j \in \{1, 2, 3\}; j_i \in \{0, 1, 2\} \right)$  со следующими типовыми представителями термов, представленных в виде матрицы (12)

$$\begin{pmatrix} 0; & 0,5; & 1 \\ 0; & 0,65; & 1 \\ 0; & 0,35; & 1 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где первая строка матрицы относится к первому параметру  $x^1(\gamma^1)$ ; вторая – к  $x^2(\gamma^2)$ ; третья – к  $x^3(\gamma^3)$ .

При замене предметных шкал  $(x^i)$  на универсальные  $(\delta^i)$  адаптированные  $(\gamma^j)$  функции принадлежности изменяются по правилам, рассмотренным в [2, 4]. С учётом этих изменений, данных (12) и правил, соответствующих (4), (5) и (6), составляется матрица типовых ситуаций (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица типовых ситуаций

$M_{ts}(:,1,1,1)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,2,1,1)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,3,1,1)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0
$M_{ts}(:,1,2,1)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,2,2,1)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,3,2,1)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0
$M_{ts}(:,1,1,2)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,2,1,2)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,3,1,2)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35
$M_{ts}(:,1,2,2)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,2,2,2)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,3,2,2)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35
$M_{ts}(:,1,3,1)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,2,3,1)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0	$M_{ts}(:,3,3,1)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0
$M_{ts}(:,1,1,3)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,2,1,3)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,3,1,3)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0
$M_{ts}(:,1,2,3)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,2,2,3)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35	$M_{ts}(:,3,2,3)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.35 1.0/0.35 0.2358/0.35
$M_{ts}(:,1,3,2)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,2,3,2)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,3,3,2)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0
$M_{ts}(:,1,3,3)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,2,3,3)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,3,3,3)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.2358/0.65 1.0/0.65 0.2358/0.65 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0
$M_{ts}(:,1,1,3)$ 1.0/0 0.2358/0 0.0168/0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,2,1,3)$ 0.2358/0.5 1.0/0.5 0.2358/0.5 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0	$M_{ts}(:,3,1,3)$ 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0 0.0168/1.0 0.2358/1.0 1.0/1.0

Далее зададимся текущей ситуацией (предполагаемые значения –  $\gamma_i^1 = 0,3; \gamma_i^2 = 0,4; \gamma_i^3 = 0,7$ ).

$$\begin{aligned} \tilde{S}_t = & \\ = & \left\{ \left[ \mu_{\gamma_0^1} \left( \gamma_i^1 = \gamma_i^1 \left( \delta_t^1 \right) = \gamma_i^1 \left( 0,3 \right) \right) / 0,3; \mu_{\gamma_1^1} \left( \gamma_i^1 \left( 0,3 \right) \right) / 0,3; \mu_{\gamma_2^1} \left( \gamma_i^1 \left( 0,3 \right) \right) / 0,3 \right] \right. \\ & \left[ \mu_{\gamma_0^2} \left( \gamma_i^2 = \gamma_i^2 \left( \delta_t^2 \right) = \gamma_i^2 \left( 0,4 \right) \right) / 0,4; \mu_{\gamma_1^2} \left( \gamma_i^2 \left( 0,4 \right) \right) / 0,4; \mu_{\gamma_2^2} \left( \gamma_i^2 \left( 0,4 \right) \right) / 0,4 \right] \\ & \left. \left[ \mu_{\gamma_0^3} \left( \gamma_i^3 = \gamma_i^3 \left( \delta_t^3 \right) = \gamma_i^3 \left( 0,7 \right) \right) / 0,7; \mu_{\gamma_1^3} \left( \gamma_i^3 \left( 0,7 \right) \right) / 0,7; \mu_{\gamma_2^3} \left( \gamma_i^3 \left( 0,7 \right) \right) / 0,7 \right] \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

и проведём оценивание  $\nu_f \left( \tilde{S}_t; \tilde{S}_{j_i}^* \right)$ . Из совокупности данных  $\nu_f$ ,  $f$  – порядковый номер типовой ситуации  $\nu$ ,  $f \in \{1, \dots, 27\}$ , представленных матрицей (14), выбираем  $\max_f \nu_f$ :  $\nu_f = 0,4383$ , соответствующего типовой ситуации

(0,5; 0; 1) или (2; 1; 3) (в обозначениях матрицы (14)) и произведём дефаззификацию полученного результата по всем (трём) контролируемым параметрам с учётом (11)

$$\begin{aligned}
 &v(1,1,1) = 0,3062; \quad v(2,1,1) = 0,3248; \quad v(3,1,1) = 0,3062; \\
 &v(1,2,1) = 0,3062; \quad v(2,2,1) = 0,3248; \quad v(3,2,1) = 0,3062; \\
 &v(1,3,1) = 0,3062; \quad v(2,3,1) = 0,3248; \quad v(3,3,1) = 0,3062; \\
 \\
 &v(1,1,2) = 0,3062; \quad v(2,1,2) = 0,3248; \quad v(3,1,2) = 0,3062; \\
 &v(1,2,2) = 0,3062; \quad v(2,2,2) = 0,3248; \quad v(3,2,2) = 0,3062; \\
 &v(1,3,2) = 0,3062; \quad v(2,3,2) = 0,3248; \quad v(3,3,2) = 0,3062; \\
 \\
 &v(1,1,3) = 0,3062; \quad \mathbf{v(2,1,3) = 0,4383}; \quad v(3,1,3) = 0,3062; \\
 &v(1,2,3) = 0,3062; \quad v(2,2,3) = 0,3609; \quad v(3,2,3) = 0,3062; \\
 &v(1,3,3) = 0,3062; \quad v(2,3,3) = 0,3609; \quad v(3,3,3) = 0,3062;
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$\bar{y}_t^1 = \frac{0,5109 \cdot 0 + 0,6938 \cdot 0,5 + 0,0913 \cdot 1}{0,5109 + 0,6938 + 0,0913} = 0,3381;$$

$$\bar{y}_t^2 = \frac{0,6391 \cdot 0 + 0,5617 \cdot 0,65 + 0,0629 \cdot 1}{0,6391 + 0,5617 + 0,0629} = 0,3387;$$

$$\bar{y}_t^3 = \frac{0,0567 \cdot 0 + 0,5279 \cdot 0,35 + 0,6752 \cdot 1}{0,0567 + 0,5279 + 0,6752} = 0,6826.$$

По первому и второму параметрам имеем значительные, по третьему менее значительные расхождения с предполагаемыми значениями: соответственно ошибка предположения составляет 12, 15, 2,5 %. Этот факт следует учитывать при диагностировании состояния объектов.

Изложенный процесс дефаззификации – итерационный.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. *Оценивание нечёткой информации на основе условных шкал // Метрология (приложение к научно-техническому журналу "Измерительная техника"). – 2009. – № 8. – С. 3 – 11.*
2. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. *Прикладная метрология на основе представлений нечётких множеств. Основы диагностирования в условиях чрезвычайных ситуаций : Монография. – М. : МФТИ, 2009. – 143 с.*
3. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В., Рыжаков К.В. *Прогнозирование процессов на основе искусственных нейронов и нечётких ситуаций : Монография. – М. : РАН ВИНТИ. – № 1320-В, 14.10.05. – 52 с.*
4. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. *Аналитические положения диагностирования объектов на основе нечёткой информации с использованием искусственных нейронов : Монография. – М. : МФТИ, 2010. – 112 с.*

---

# АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

---

---

УДК: 621.397

ББК: 34

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ КООРДИНАТ ОБНАРУЖЕННОГО ОБЪЕКТА

© *Н.А. Кочкин, ОАО “Центральный научно-исследовательский институт  
“Циклон” (г. Москва, Россия)*

## ADAPTIVE ALGORITHM FOR DETERMINING AND IMAGING OF CURRENT REFERENCE DETECTED OBJECTS

© *N.A. Kochkin, JSC “Central Research Institute «Cyclone»” (Moscow, Russia)*

Статья посвящена задаче определения координат удалённых объектов с помощью лазерных локационных систем. Рассмотрен комплексный подход к наведению и измерению дальности до объекта. При этом предварительное наведение линии визирования на объект осуществляется оператором в ручном режиме, а для точного выставления системы по направлению на объект используется операция электронного масштабирования центральной части поля зрения.

**Ключевые слова:** лазерный дальномер, формирование изображения, контрастирование, бинарное изображение.

Article is devoted to the problem of determining the origin of remote objects using laser radar systems. We consider an integrated approach to guidance and measurement of distance to the object. In this preliminary guidance line of sight to the object carried by the operator in manual mode, but for accurate billing system in the direction of an object using electronic zoom operation is the central part of the visual field.

**Key words:** laser range finder, image formation, contrast, binary image.

E-mail: bak-1960@mail.ru

### Введение

Точность решения задачи определения координат объектов в оптико-электронных информационных локационных системах (ИЛС) является одной из ключевых технических характеристик. Одним из перспективных способов построения малогабаритных оптико-электронных ИЛС является комплексирование пассивных средств обнаружения и определения угловых координат объектов с активными средствами дальнометрии – лазерными дальномерами (ЛД). В таких системах функции обнаружения объекта и наведения линии визирования ЛД на объект осуществляются оператором в ручном режиме.

Преимуществами данного способа комплексирования оптико-электронных и лазерных средств являются повышенная скрытность функционирования и существенно больший, чем у активно-импульсных систем, энергетический потенциал.

Наиболее распространённым способом комплексирования данных средств является предварительная выставка ЛД в направлении, соответствующее центру поля зрения пассивной оптико-электронной системы (ОЭС). Дальнейший рост энергетического потенциала ИЛС связан с уменьшением ширины диаграммы направленности ЛД и, соответственно, с необходимостью повышения точности наведения линии визирования (ЛВ) ИЛС на обнаруженный объект. Для этого предлагается использовать операцию электронного масштабирования (ЭМ) центральной части поля зрения ОЭС с масштабом  $N$ . ЭМ, применяемое к зарегистрированному изображению помехо-сигнальной обстановки (ПСО), направлено на улучшение зрительного восприятия анализируемого изображения ПСО оператором и потенциально позволяет более точно выставить ЛВ ЛД в направлении обнаруженного объекта. Достижение потенциальной точности наведения ограничивается влиянием низкочастотных колебаний текущего положения линии визирования, связанных с ручным наведением и невозможностью фиксации момента отсутствия случайных смещений ЛВ в момент работы ЛД.

#### Адаптивный алгоритм формирования изображения

В работе предложен адаптивный алгоритм формирования изображения и определения текущих координат обнаруженного объекта для наведения ЛВ ОЭС, обеспечивающий работу ЛД только при точном наведении ЛВ на обнаруженный объект. Предложенный алгоритм является многоэтапным и обеспечивает работу в реальном масштабе времени.

Для повышения вероятности обнаружения объекта и наведения линии визирования ОЭС (и ИЛС) на объект необходимо повысить контрастность формируемой ПСО, для чего над центральным сегментом  $S$  ПСО

$F = \{f_{IJ}\}_{I, J \in S}$  последовательно осуществляются операции:

$$\text{фильтрации пространственных шумов } F_1 = F \otimes H_{СГЛ} \quad (1)$$

$$\text{и контрастирования } F_2 = \alpha F_1 \otimes H_{ДИФФ}^{ГН} + \beta F_1 \otimes H_{ДИФФ}^{ВН}, \quad (2)$$

где  $H_{СГЛ}$ ,  $H_{ДИФФ}^{ГН}$ ,  $H_{ДИФФ}^{ВН}$  – операторы низкочастотной фильтрации, операторы Собеля дифференцирования в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно;  $\alpha$ ,  $\beta$  – коэффициенты, учитывающие возможность анизотропии контраста в изображении ПСО ( $\alpha + \beta = 1$ ).

В отличие от известного алгоритма контрастирования Канни [1], требующего выполнения над изображением ПСО нелинейной операции определения векторного поля локальных градиентов  $\vec{G} = \text{grad}(F_1)$ , в предложенном алгоритме используется линейная операция (2), позволяющая сформировать

ровать эквивалентный оператор фильтрации (например, для одного из наиболее часто используемых операторов сглаживания [2] представлен ниже):

$$H_{\Phi} = H_{СГЛ} \otimes (\alpha N_{ДИФ\Phi}^{ГН} + \beta N_{ДИФ\Phi}^{ВН}) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 & 2\beta & \beta - \alpha \\ 2\alpha & 0 & -2\alpha \\ \alpha - \beta & -2\beta & -1 \end{bmatrix}.$$

Для отфильтрованного изображения  $F_2 = F \otimes H_{\Phi}$  строится гистограмма яркости  $h(I) = hist(F_2)$ , определяется её размах и анализируются величины локальных максимумов. Максимальный по величине локальный максимум  $h^{\max}$  гистограммы соответствует максимальным яркостным перепадам в изображении ПСО. Отфильтрованное изображение подвергается бинаризации с адаптивным порогом  $f_{ПОР} \in [h^{\min}, h^{\max}]$ , где  $h^{\min}$  – максимальный по амплитуде локальный минимум гистограммы, не превышающий величину  $h^{\max}$ .

Адаптация величины порога  $f_{ПОР}$  осуществляется путём итерационной процедуры как максимальная величина порога, при которой контур объекта представляет собой замкнутую область  $S_{ОБ}$ , включающую в себя центр поля зрения ОЭС (центр сегмента  $S$  ПСО). Одновременно определяются размеры данной области в вертикальном и горизонтальном направлениях  $\{L^{ВН}, L^{ГН}\}$  и формируется строб объекта  $S_{\bar{t}}$  как описанный вокруг области  $S_{ОБ}$  прямоугольник с размерами  $L^{ВН} \times L^{ГН}$ . Для устранения влияния разрывов контурных линий в процессе проведения данной процедуры осуществляется операция фильтрации по связности.

Бинаризованное изображение

$$F_{\bar{B}} = \{f_{BJ}\}_{I, J \in S_{\bar{t}}} = \begin{cases} 1 & , f_{2J} \geq f_{ПОР} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

представляет собой замкнутый контур объекта, локализованного в центральной области сегмента  $S$  ПСО и совокупность линий контуров фрагментов фоновых образований, имеющих сравнительно высокий контраст. Селекция  $F_{\bar{B}}$  по связности позволяет выделить контур  $F_{КОНТ}$  замкнутой области  $S_{ОБ}$ , соответствующей объекту.

В результате выполнения данных операций выделяется изображение объекта  $F_{ОБ} = F_2 \cap S_{ОБ}$ , определяются координаты его энергетического центра относительно центра поля зрения сегмента ПСО  $\vec{R}_{Ц}$ .

Для визуального отображения сегмента ПСО операция ЭМ проводится отдельно над изображениями  $F_2$  и  $F_{\text{КОНТ}}$ . При этом масштабированный контур  $F_{\text{КОНТ}}^{\text{ЭМ}}$  подвергается операции скелетизации с коэффициентом, близким к коэффициенту масштабирования  $N$  для формирования тонкого контура объекта на визуализированном масштабированном изображении ПСО:  $F_C = (1 - \gamma)F_2^{\text{ЭМ}} + \gamma F_{\text{КОНТ}}^{\text{ЭМ}}$ , где коэффициент  $\gamma$  (0,25...0,5) характеризует степень выделения контура объекта на суммарном изображении.

Рассмотренные выше операции (кроме выбора адаптивного порога и коэффициентов  $\alpha, \beta$ ) повторяются для всех текущих изображений ПСО.

Текущие координаты энергетического центра объекта  $\vec{R}_{Ц}(t_{\text{ТЕК}})$  сравниваются с размером объекта и шириной диаграммы направленности излучения  $\Theta$  ЛД, выраженной в линейной мере ( $R_{\text{ЛД}} = \theta f_{\text{ОЭС}}$ ) и при выполнении условия  $|\vec{R}_{Ц}(t_{\text{ТЕК}})| < \frac{1}{2} \cdot \min\{L^{\text{ВН}}, L^{\text{ГН}}\} - R_{\text{ЛД}}$  формируется сигнал на работу ЛД, обеспечивая измерения дальности только в момент совпадения ЛВ ЛД с направлением на объект.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Canny J.F. A computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans/ Pattern Recognition and Machine Intelligence. vol. 8, #6, 1986, pp/ 679-698.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М. : Мир, 1982.

УДК: 621.396

ББК: 30

#### АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛНЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ, ОРТОГОНАЛЬНОМУ ОСИ ОХРАНЯЕМОЙ ЗОНЫ

© *И.И. Сальников*, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© *М.Н. Чернышёв*, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

#### ANALYSIS OF SPATIAL RESULTS OF EM WAVES DIFFRACTION ALONG THE DIRECTION ORTHOGONAL TO THE AXIS OF PROTECTED AREAS

© *I.I. Salnikov*, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© *M.N. Chernyshev*, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В статье показано, что для двухпозиционной радиолучевой технической системы охраны необходимо регистрировать пространственное распределение комплексной амплитуды электромагнитной волны как результат дифракции на нарушителе. При этом можно обнаружить факт появления нарушителя, определить дальность по результатам измерения ширины главного лепестка “тени” и определить скорость движения объекта.

**Ключевые слова:** электромагнитные волны, дифракция, обнаружение, техническая система охраны.

The paper shows that for bi-static radio beam technical protection systems it is necessary to register HN-spatial distribution of the complex amplitude of the electromagnetic wave as a result of diffraction on the intruder. It gives the opportunity to discover the fact of the intruder's appearance, to determine the distance by measuring the width of the “shadow” main lobe and to determine the velocity of the object.

**Key words:** electromagnetic waves, diffraction, detection, technical protection system.

E-mail: iis@pgta.ru

### Введение

В работе [1] представлены результаты исследования дифракции электромагнитных (ЭМ) волн на нарушителе (Н) в двухпозиционной радиолучевой технической системе охраны (РЛТСО). Получено общее выражение для пространственного распределения комплексной амплитуды ЭМ-волны в плоскости приёма (ПРМ) на основе использования интеграла Кирхгофа [2]. В [3] приведены результаты расчётов с использованием в программной среде *Mathcad* значений комплексной амплитуды  $|\vec{E}(x_R)|$  ЭМ-волны по ортогональному оси охранной зоны (ОЗ) направлению  $0x$ .

### Анализ пространственного распределения комплексной амплитуды ЭМ-волны

На рис. 1,а показана структура пространственного распределения вектора электрической составляющей ЭМ-волны  $E(x_R, t)$  по оси  $0x_R$  (высокочастотное заполнение отражено серым фоном), а также модуль комплексной амплитуды (рис. 1,б).

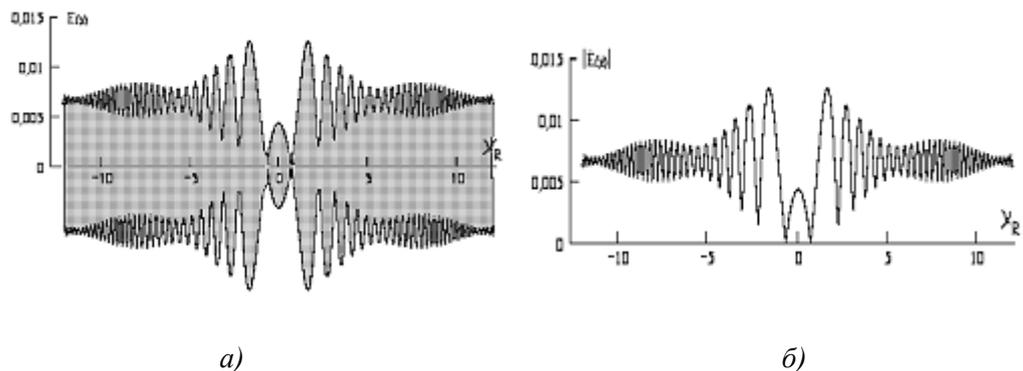


Рисунок 1 – Интерференция прямой и дифрагированной волны:  
а) электрическая составляющая ЭМ-волны;  
б) модуль комплексной амплитуды

Полученный результат позволяет проанализировать пространственное распределение комплексной амплитуды ЭМ-волны в различных плоскостях, при различных значениях пространственных параметров Н.

На рис. 2 приведены результаты дифракции ЭМ-волн на Н, находящимся на расстояниях  $R_H = 10\text{м}$  (а) и  $R_H = 140\text{м}$  (б) при ширине  $H \alpha = 0,25\text{м}$ , расстоянии между антеннами передатчика (ПРД) и ПРМ  $R_m = 150\text{м}$  и длины волны СВЧ-излучения ПРД  $\lambda = 0,016\text{ м}$ .

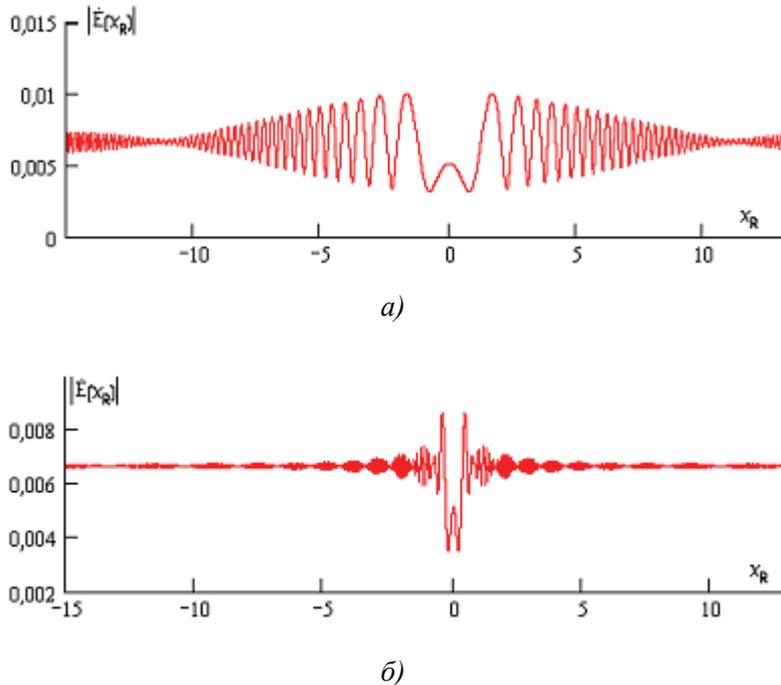


Рисунок 2 – Результат дифракции ЭМ-волн: а)  $R_H = 10\text{ м}$ ; б)  $R_H = 140\text{ м}$

Из результатов расчёта дифракции по направлению ориентации ПРМ видно, что чем ближе Н находится к ПРМ, тем заметнее проявляется эффект “тени” от Н. Определим количественно зависимость ширины “тени” по направлению ПРМ от расстояния  $R_H$  до Н. Полученные графики (рис. 2,а, б) невозможно использовать для количественных расчётов, так как на них заметно влияние дискретизации системы визуализации результата. Поэтому для расчёта пространственных параметров воспользуемся результатами, приведёнными в [4], для разности хода для направления от ПРД  $\rightarrow$  Н  $\rightarrow x_R$  по отношению к направлению оси ОЗ. Для получения зависимости  $\Delta x_R(R_H)$  ширины “тени” от расстояния  $R_H$  используем  $x_H = 0$  и получим выражение для разности хода, преобразованное в фазовый сдвиг:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{x_R^2}{2(R_0 - R_H)} \quad (1)$$

Из графиков (рис. 2,а, б) видно, что ширина “тени” определяется шириной главного максимума интерференционного множителя, описываемого косинусоидальной функцией вида  $\cos(\Delta\varphi)$ , которая симметрична относительно  $\Delta\varphi = 0$ . Определим ширину функции вида  $\cos(\Delta\varphi)$  по 0-значениям при  $\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ , тогда с учётом (1) получим

$$\Delta x_R = 2\sqrt{\frac{\lambda(R_0 - R_H)}{2}}. \quad (2)$$

На рис. 3 представлены графики зависимости  $\Delta x_R(R_H)$ , из которых следуют значения ширины “тени” для двух случаев, представленных на рис. 2,а, б:  $\Delta x_H = 2,1$  м;  $\Delta x_H = 0,56$  м, соответственно.

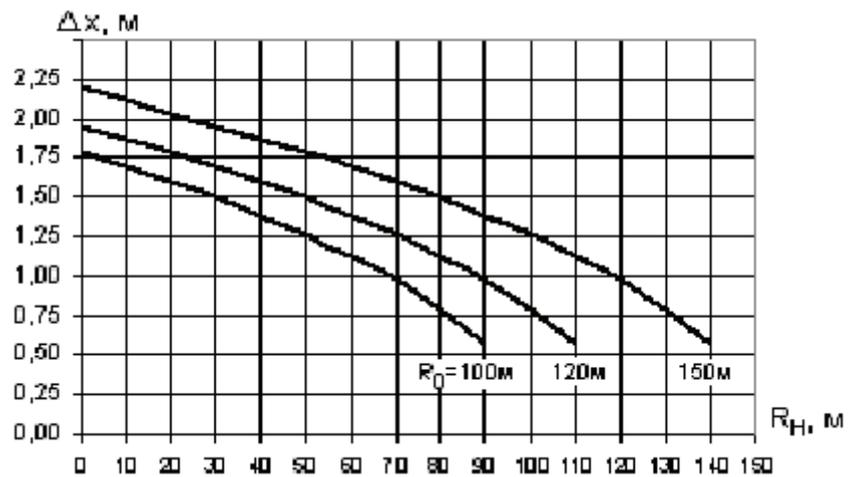


Рисунок 3 – Зависимость ширины “тени” от расстояния до H

Из анализа графиков следует вполне удовлетворительное совпадение результатов, что свидетельствует о правильности используемых моделей дифракции. Таким образом, зарегистрировав по оси  $0x_R$  модуль комплексной амплитуды ЭМ-волны  $|\dot{E}(x_R)|$  можно определить дальность до H. Более точно ширину “тени” пространственного распределения  $|\dot{E}(x_R)|$  можно определить по максимальным значениям интерференционного множителя вблизи главного максимума при  $\Delta\varphi = \pm \pi$ :

$$\Delta x_{R,\max} = 2\sqrt{\lambda(R_0 - R_H)}, \quad (3)$$

из которого следует, что ширина “тени”, измеренная по максимальным значениям интерференционного множителя  $\Delta x_{R,\max}$ , больше ширины “тени”, измеренной по нулевым значениям интерференционного множителя  $\Delta x_R$ , в  $\sqrt{2}$  раз.

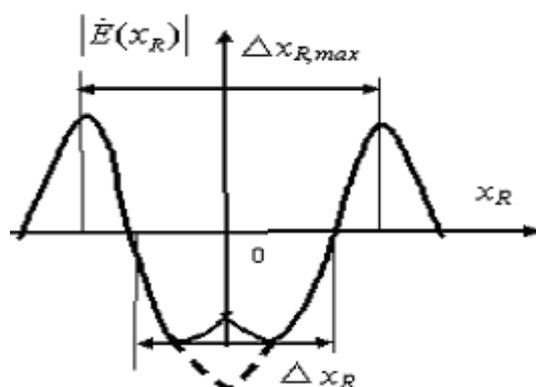


Рисунок 4 – Определение ширины “тени”

Таким образом, зарегистрировав пространственное распределение комплексной амплитуды ЭМ-волны как результат дифракции на Н, можно:

- определить факт появления Н в ОЗ, применив для этого пороговое обнаружение;
- определить дальность до Н по результатам измерения ширины главного лепестка “тени”;
- определить скорость движения Н по результатам измерения изменений координаты главного минимума во времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И., Чернышёв М.Н. Интеграл Френеля – Кирхгофа при моделировании нарушителя в виде эллиптического цилиндра в двухпозиционных РЛТСО // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. научн. трудов. – Пенза : ПДЗ, 2007. – Вып. 5. – С. 28 – 33.
2. Юу Ф.Т.С. Введение в теорию дифракции, обработку информации и голографию. – М. : Советское радио, 1979. – 304 с.
3. Сальников И.И., Чернышёв М.Н. Результаты программного моделирования сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. научн. трудов. – Пенза : ПДЗ, 2007. – Вып. 5. – С. 33 – 35.
4. Сальников И.И. Лучевая модель сигналообразования в двухпозиционных РЛТСО // Проблемы объектовой охраны : сб. науч. трудов. – Пенза : ИИЦ ПГУ, 2002. – Вып. 3. – С. 16 – 19.

УДК 621.396.9

ББК 32

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРОПУСКАНИЯ  
ПРИ ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛН НА НАРУШИТЕЛЕ**

© *И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *Н.И. Чернышёв, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

**ASSESSMENT OF QUALITY RESTORATION  
OF TRANSMISSION FUNCTION OF ELECTROMAGNETIC  
WAVES DIFFRACTION ON THE INTRUDER**

© *I.I. Salnikov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *N.I. Chernyshov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье выполнена оценка отношения сигнал-шум при восстановлении функции пропускания нарушителя в двухпозиционных радиолокационных системах охраны. Показано, что использование дополнительной обработки принимаемого сигнала на основе интеграла Кирхгофа в несколько раз улучшает отношение сигнал/шум, что позволяет при использовании бинарного обнаружения существенно улучшить его характеристики. Кроме того, появляется возможность по результату восстановления функции пропускания измерить поперечные размеры нарушителя. Это даёт дополнительный признак для различения человека-нарушителя и других объектов.

**Ключевые слова:** дифракция, обнаружение нарушителя, радиолокационная система охраны, функция пропускания, интеграл Кирхгофа.

The paper deals with the estimation of signal-to-noise ratio while restoring the function of intruder's passing through in two-position radar protection systems. It is shown that applying additional processing of the received signal, which is based on Kirchhoff integral, improves the signal-to-noise ratio several times, which makes binary detection performance significantly better. In addition, it is possible to estimate intruder's transverse size using the results of transmission function restoration. This provides an additional feature to distinguish between a human intruder and objects.

**Key words:** diffraction, intruder detection, radar protection system, the transmission function, Kirchhoff integral.

E-mail: iis@pgta.ru

В работе [1] было получено выражение для восстановления вида двумерной функции пропускания объекта в двухпозиционных РЛТСО, основанное на интеграле Кирхгофа:

$$\beta_{\text{пр}}(x) = -\frac{jA}{2\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{E}(P, x_0) \frac{\exp[-jk(r(x_0) + s(x_0))]}{r(x_0)s(x_0)} [\cos(\vec{n}, \vec{r}) - \cos(\vec{n}, \vec{s})] dx_0. \quad (1)$$

Выражение (1) получено по аналогии с обратными преобразованиями Фурье и Френеля, заменой в интеграле дифракции ЭМ-волн [2] функ-

ции пропускания объекта  $\beta_{\text{пр}}(x)$  на результат дифракции  $\dot{E}(P, x_0)$  и показателя степени в экспоненте на комплексно сопряжённый. Такой подход позволил получить более точное восстановление функции пропускания для получения радиоизображения объекта в двухпозиционных РЛТСО. В данной работе были получены ряд функций пропускания при различных параметрах расположения Н в двухпозиционных РЛТСО. На рис. 1 справа приведены два характерных результата. Для количественной оценки качества восстановления функции пропускания  $\beta_{\text{пр}}(x)$  использован метод оценки отношения сигнал/шум, в котором за сигнал принято максимальное значение отклонения функции пропускания  $\Delta\beta_{\text{пр,max}}$  от среднего уровня  $\beta_{\text{пр,0}}$ , который соответствует прямой волне, не прошедшей дифракцию. За шум  $\sigma_{\beta,\text{ш}}$  принято среднеквадратическое отклонение значений функции пропускания  $\beta_{\text{пр},i}$  от  $\beta_{\text{пр,0}}$ :

$$N_{\text{СШ}} = \frac{\Delta\beta_{\text{пр,max}}}{\sigma_{\beta,\text{ш}}} = \frac{\Delta\beta_{\text{пр,max}}}{\sqrt{\frac{1}{I} \sum_i (\beta_{\text{пр},i} - \beta_{\text{пр,0}})^2}}. \quad (2)$$

Результаты вычислений сведены в табл. 1, в которой приведены значения коэффициента масштабного преобразования  $K_{\text{м}} = \beta_{\text{пр},i} / l_i$ , связывающего линейные размеры графиков  $l_i$  и значения отсчётов  $\beta_{\text{пр},i}$ .

Таблица 1– Количественные характеристики функции пропускания

№	$I$	$\beta_{\text{пр},0} \cdot 10^{-5}$	$K_{\text{м}} \cdot 10^{-3}, 1/\text{м}$	$\Delta\beta_{\text{пр,max}} \cdot 10^{-5}$	$\sigma_{\beta,\text{ш}} \cdot 10^{-5}$	$N_{\text{СШ}}$
1	54	0	1,56	7,5	0,192	39,1
2	54	0	1,56	7,5	0,196	38,3
3	54	0	1,56	7,5	0,204	36,8
4	54	0	1,56	7,5	0,237	31,6
5	60	6,5	3,61	5,4	0,393	13,7
6	58	7,5	3,41	6,9	0,341	20,2
7	58	12	3,43	10,3	0,32	32,2
8	56	12	3,33	9,2	0,47	19,6
9	74	12	3,33	9,2	1,1	8,36

Из табл. 1 следует, что использование дополнительной обработки принимаемого сигнала на основе интеграла Кирхгофа (1) в несколько раз улучшает отношение сигнал/шум, что позволяет при использовании бинарного обнаружения существенно улучшить его характеристики. Кроме того, появляется возможность по результату восстановления функции пропускания

$\beta_{\text{гр}}(x)$  измерить поперечные размеры  $H$ , тем самым использовать дополнительный признак для различения человека-нарушителя и других объектов.

Дополнительной проверкой сделанных при выводе преобразования (1) предположений и применимости его для восстановления функции пропускания трёхмерных объектов могут послужить результаты восстановления  $\beta_{\text{гр}}(x)$  с помощью обратного преобразования Френеля [2]:

$$f(\xi) = \pi_0 \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(x_0) \exp[-j\pi_0^2 (\xi - x_0)^2] dx_0, \quad (3)$$

где  $f(\xi)$  – функция переменной  $\xi$ , а  $\Phi(x_0)$  – её френелевский образ.

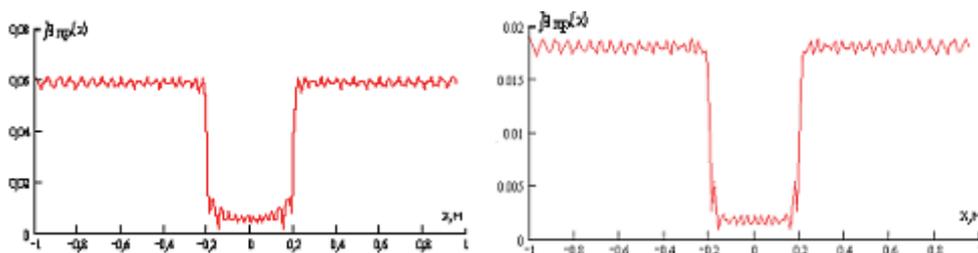
Преобразование Френеля применимо при условиях, ограничивающих минимальные значения расстояний до нарушителя ( $H$ )  $R_H$  и  $R_m - R_H$  соответственно от передающей и приёмной антенн РЛТСО по сравнению с координатой  $x_0$   $H$  и его размерами по оси  $0x$ . При пересечении нарушителем охраняемой зоны ОЗ РЛТСО вблизи антенн передатчика (ПРД) и приёмника (ПРМ) восстановление функции пропускания с использованием преобразования Френеля может оказаться неудовлетворительным. Вместе с этим, на преобразование (1) накладываются только ограничения применимости дифракционной формулы Кирхгофа [2]:

$$\lambda \ll 2a \ll r_{\min}(x_0) \text{ и } \lambda \ll 2a \ll s_{\min}(x_0), \quad (4)$$

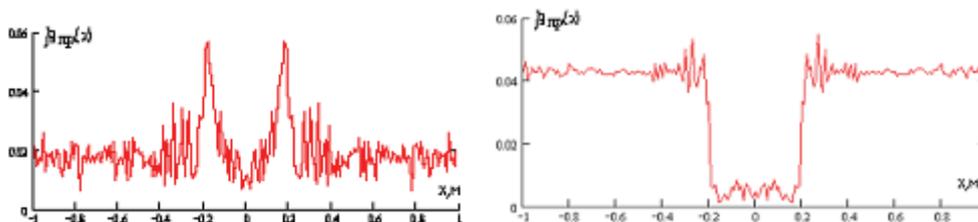
где  $r_{\min}(x_0)$  и  $s_{\min}(x_0)$  – минимально допустимые значения расстояний  $H$  от ПРД и ПРМ. Очевидно, что последние ограничения более слабые.

На рис. 1 слева приведены результаты восстановления функции пропускания нарушителя  $\beta_{\text{гр}}(x)$  с помощью обратного преобразования Френеля (3) при поперечных размерах  $H$   $a = 0,2$  м и расстоянии между ПРД и ПРМ  $R_m = 150$  м, а справа приведены результаты восстановления с помощью выражения (1).

Графики восстановленных функций пропускания с помощью обоих преобразований практически одинаковы в диапазоне изменения  $R_H$  от 75 до 145 м. При  $R_H = 145$  м качество восстановления с помощью обратного преобразования Френеля ухудшается и при  $R_H \geq 146$  м оно становится неприемлемым. Вместе с этим восстановление функции пропускания нарушителя по формуле (1) даёт хорошие результаты и при проходе  $H$  в непосредственной близости от антенны ПРМ.



а)  $R_H = 75 \text{ м}$



б)  $R_H = 146 \text{ м}$

Рисунок 1 – Результаты восстановления функции пропускания с помощью обратного преобразования Френеля (слева) и по выражению (1) (справа)

Так как дифракционный интеграл Кирхгофа и выражение (1) симметричны относительно векторов  $\vec{r}$  и  $\vec{z}$ , а также их модулей, то результаты восстановления функции пропускания при расстоянии между антеннами  $R_m = 150 \text{ м}$  для  $R_H = 4 \text{ м}$  не будут отличаться от приведённых на рис. 1. В работе было определено, что проход Н вблизи антенн ПРД и ПРМ сказывается на качестве восстановления по формуле (1) только в непосредственной близости от антенн, когда  $R_H < 0,03R_0$  или  $R_0 > R_H \geq 0,97R_0$ .

Для количественного сравнения качества восстановления функции пропускания  $\beta_{\text{пр}}(x)$  с использованием преобразования Френеля (3) и с использованием дифракционного интеграла Кирхгофа (1) был проанализирован набор графиков для различных значений  $R_H = 1 \div 149 \text{ м}$  при  $R_m = 150 \text{ м}$ . Для каждого графика было определено максимальное значение отклонения функции пропускания  $\Delta\beta_{\text{пр,мах}}$  от среднего уровня  $\beta_{\text{пр,0}}$ , а также  $\sigma_{\beta_{\text{пр}}}$  – среднеквадратическое отклонение значений функции пропускания  $\beta_{\text{пр},i}$  от  $\beta_{\text{пр,0}}$ . Используя выражение (2), рассчитали  $N_{\text{СШ}}$ , которое и было принято за количественную оценку качества восстановления функции пропускания

$\beta_{\text{гф}}(x)$ . Результаты данного анализа представлены на графиках  $N_{\text{СШ}}(R_{\text{H}})$  рис. 2, из которых следует, что полученное преобразование на основе использования дифракционного интеграла Кирхгофа (1) имеет лучшее качество восстановления и удовлетворительно работает при проходе Н вблизи антенн ПРД и ПРМ при  $R_{\text{H}} < 0,03R_0$  или  $R_0 > R_{\text{H}} \geq 0,97R_0$ .

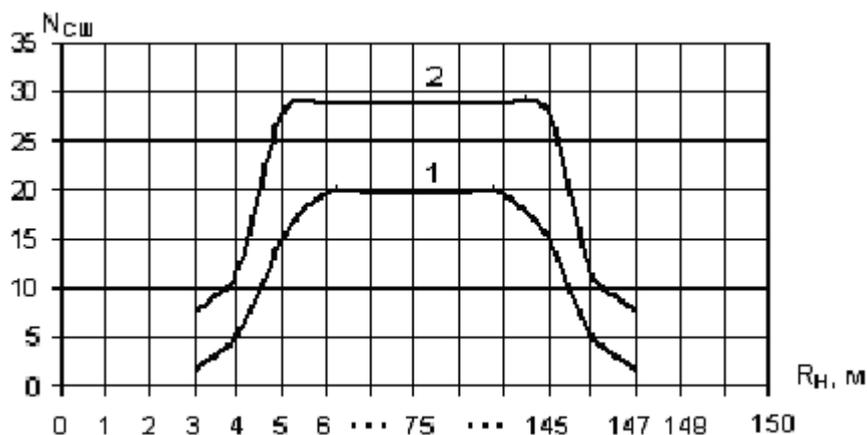


Рисунок 2 – Отношение сигнал/шум для различных методов восстановления функции пропускания: 1) на основе преобразования Френеля; 2) на основе дифракционного интеграла Кирхгофа

В связи с приведёнными результатами преобразование (1) оказывается более предпочтительным, так как его использование позволяет уменьшить размеры “мёртвых” зон вблизи антенн ПРД и ПРМ по сравнению с обратным преобразованием Френеля. Вместе с этим более сложный алгоритм преобразования предъявляет повышенные требования к производительности вычислений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И., Чернышёв М.Н., Чернышёв Н.И. Восстановление вида двумерной функции пропускания объекта в двухпозиционных РЛТСО // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. научн. трудов. – Пенза : ПДЗ, 2009. – Вып. 7. – С. 20 – 24.
2. Юу Ф.Т.С. Введение в теорию дифракции, обработку информации и голографию. – М. : Сов. радио, 1979. – 304 с.

УДК: 681.518

ББК: 34

## АЛГОРИТМ УДАЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ С ИЗОБРАЖЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ФОНА

© *А.В. Бурмистров, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

### REMOVAL ALGORITHM OF COLOR AREAS WITH FLORAL BACKGROUND IMAGE

© *A.V. Burmistrov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен алгоритм удаления изображений растительного фона с аэрофотоснимков сельской местности при формировании электронной карты. Показано, что для определения примитивов и объектов необходимо выполнить предварительную обработку с целью уменьшения помех и удаления участков, на которых нет изображений полезных объектов.

**Ключевые слова:** аэрофотоснимки, электронная карта, растительный фон, границы объектов.

The paper considers the algorithm of removal of background images from countryside airphotos while creating an electronic map. It is shown that the differentiation between entities and objects requires performing pre-processing to reduce interference and to remove the parcels with no images of useful objects.

**Key words:** aerial photographs, electronic map, floral background, the edges of objects.

E-mail: bibika@pgta.ru

#### Введение

Получить полезную информацию из аэрофотоснимков в виде топографической карты можно только после процесса распознавания, который является сложным и продолжительным. Чтобы определение примитивов и объектов было проще и точнее, необходимо выполнить предварительную обработку с целью уменьшения помех и по возможности удаления участков, на которых нет изображений полезных объектов (ИПО). Вокруг ИПО, как правило, располагается изображение растительного фона (ИРФ), которое отличается от ИПО по ряду характеристик:

- ИПО обладает правильными формами и чёткими границами;
- часть ИПО или ИПО целиком чаще имеет большую яркость, чем окружающее его ИРФ;
- ИПО и окружающее его ИРФ значительно отличаются по цвету.

Описанные выше характеристики наглядно показывает сечение яркости, представленное на рис. 1, на котором две линии “*a*” и “*b*” определяют границы двускатной крыши дома, а линия “*c*” показывает среднее значение яркости окружающего растительного фона.

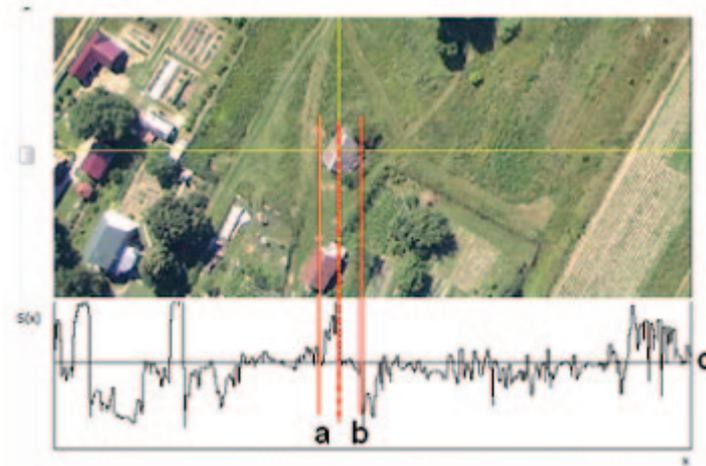


Рисунок 1 – Сечение яркости двускатной крыши дома

Распознать такой объект крайне сложно, т.к. яркость тёмной стороны крыши совпадает с яркостью окружающего растительного фона. Поэтому прежде чем приступать к этапу распознавания, на котором учитывается яркость и форма ИПО, необходимо выполнить предварительную обработку, которая будет учитывать цветовые характеристики объекта и окружающего его фона.

**Цветовые характеристики объекта.** Характеристики одной точки – это значение уровня красного, зеленого и синего в пределах уровня квантования. ИРФ или ИПО не имеют однородного цвета, а состоят из множества разноцветных точек, которые в пределах области с ИПО или ИРФ имеют схожие цветовые характеристики. Указать цветовые характеристики областей с ИПО или ИРФ можно по-разному.

Первый подход заключается в следующем: определяется цвет точки  $S_X^{(j)}(i, j)$ , которая встречается чаще всего в области и указывается допустимое отклонение  $\Delta x$  (по всем слоям), тем самым задавая диапазон цветов, входящих в область. Используя такой подход, можно указать цветовые характеристики области с точностью, определяемой отклонением  $\Delta x$ .

Во втором подходе, как и в первом, определяется цвет точки, которая встречается чаще всего в области и указывается допустимое отклонение, но значение указывается в процентах, причем за 100 процентов берётся максимальное значение уровня цвета одного из слоев.

Используя первый подход, можно точно указать область, учитывая цвет точки  $S_X^{(j)}(i, j)$ , диапазон  $\Delta x$  и среднюю яркость области. Указав цвет наиболее вероятной точки, можно вычислить её яркость, это и будет средней яркостью области. Второй подход учитывает только цвет точки и диапазон, тем самым можно указать области с одинаковыми цветовыми характеристиками, но различными по средней яркости.

Указав область с ИРФ, используя первый или второй подход, цвет этой области можно сделать чёрным, с нулевым значением яркости для всех составляющих цветов.

Определение цветовых характеристик областей вручную занимает много времени и основано на подборе ряда значений. Упростить этот процесс можно, анализируя статистические характеристики изображения, такие как математическое ожидание  $M\{S_K^{(R,G,B)}(i,j)\}$  и дисперсию  $D[S_K^{(R,G,B)}(i,j)]$ . Математическое ожидание и дисперсия, рассчитанные для всего изображения, не смогут точно указать на цветовые характеристики ИРФ по двум причинам:

- при расчёте статистических характеристик для всего изображения будут учитываться значения не только точек с ИРФ, но и точек с ИПО;
- на изображении может располагаться несколько областей с ИРФ, различных по своим цветовым характеристикам.

Упростить процесс определения цветовых характеристик ИРФ, используя статистические данные, и сделать его автоматическим возможно благодаря особенностям аэрофотоснимков сельской местности. Изображение состоит из нескольких ИПО или ИРФ с различными цветовыми характеристиками. Учитывая это, его можно разбить на цветовые области (ЦО), состоящие из точек с похожими цветовыми характеристиками. Одна ЦО может включать в себя точки, принадлежащие ИПО или ИРФ, т.е. для каждой группы точек со схожими цветами характеристиками определяется своя ЦО. Отсюда вытекают два алгоритма: алгоритм определения цветовой области и алгоритм использования цветовых областей для удаления ИРФ.

**Алгоритм определения областей:**

1. На изображении выбирается рабочая точка.
2. Для рабочей точки необходимо определить, принадлежит она равномерной области или нет. Под равномерной областью понимается группа расположенных рядом точек, цветовые характеристики которых отличаются не больше чем на  $\Delta x$ .

Один из способов, позволяющих определить, принадлежит точка равномерной области или нет, заключается в следующем. Для окна 3x3 или 5x5, в центре которого расположена рабочая точка, рассчитываются статистические характеристики. Анализируя дисперсию, можно определить отклонение цветовых характеристик от их среднего значения – это и будет критерием принятия решения.

3. Выполняется поиск ЦО, цветовые характеристики которой не сильно отличаются от цветовых характеристик рабочей точки. Если такая область найдена, тогда рабочую точку присоединяют к этой ЦО, в противном случае создается новая ЦО с цветовыми характеристиками рабочей точки. Вероятность появления точки суммируется с вероятностью появления области (изначально вероятность появления области равна нулю).

4. Выбирается следующая рабочая точка.

### Алгоритм удаления изображения растительного фона

На рис. 2 представлены цветовые преобразования исходного изображения (рис. 2,а):

1. Точки, принадлежащие равномерным областям, распределяются по ЦО с учётом их цветовых характеристик (рис. 2,б).
2. Цветовые области со схожими характеристиками объединяются в одну ЦО (рис. 2,в).
3. Выбираются области с наибольшей вероятностью (частота появления точек в этой области велика), что связано с особенностью аэрофотоснимков сельской местности – преобладание площади ИРФ над ИПО.

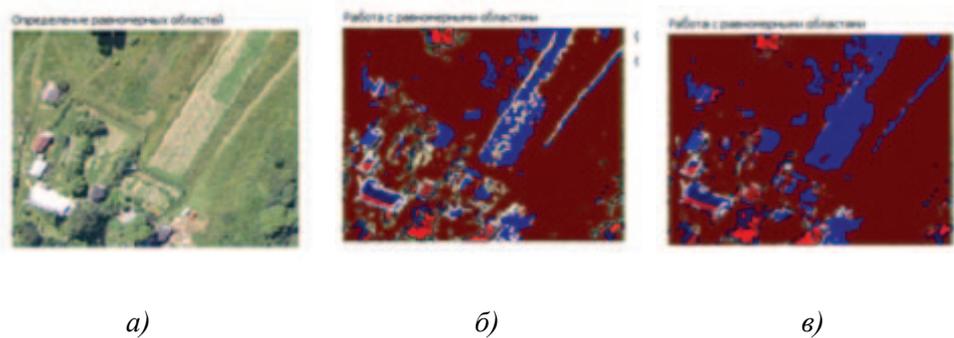


Рисунок 2 – Определение цветных областей на изображении

Наглядно посмотреть, какие области выбираются для определения ИРФ, можно построив график, показывающий зависимость яркости области от частоты её появления. Правильно было бы построить зависимость цвета области от частоты её появления, но выбрана зависимость ”яркость-частота” по двум причинам: во-первых, яркость показывает усреднённое значение цвета, во-вторых, для отличия тёмного фона от ярких полезных объектов можно использовать порог яркости для ЦО.

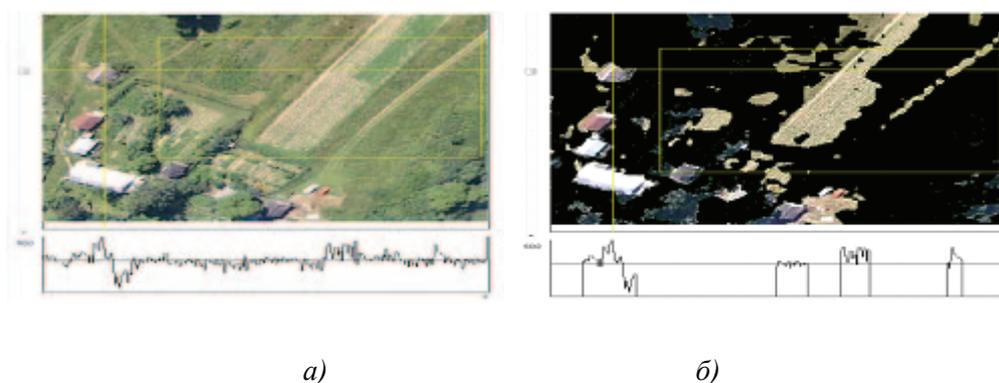
4. Несколько раз выполняется процесс удаления диапазона цветов, определяющих цветовые характеристики ИРФ (процесс выполняется столько раз, сколько выбрано областей с наибольшей вероятностью). Диапазон цветов определяется цветовыми характеристиками выбранных ЦО. Объективно оценить эффективность работы описанного выше алгоритма можно, построив сечение уровней яркости и посчитав отношение сигнал-помеха, которое покажет, на сколько объект стал ”заметнее”.

На рис. 3 представлено сечение яркости изображения до (рис. 3,а) и после обработки (рис. 3,б). На сечении яркости до обработки видно, что яркость объекта не на много выше яркости окружающего фона, зато после обработки, когда удаляются участки фона с ИРФ, объект становится значительно заметнее.

Помимо сечения, на рис. 3 для исходного и обработанного изображения рассчитано отношение сигнал-помеха ( $R_{SN}$ ) на примере объекта в виде

двускатной крыши дома. Для этого на исходном и результирующем изображении выбрана яркая точка на объекте  $R_S$  и указана область с ИРФ, для которой рассчитана средняя яркость  $R_N$ . Отношение сигнал-помеха определяется по формуле  $R_{SN} = \frac{R_S}{R_N}$ , которое для исходного изображения

$R_{SN} = 1,3404$ , а для результирующего  $R_{SN} = 5,3027$ . Учитывая, что на объекте выбрана самая яркая точка, а отношение сигнал-помеха при этом  $R_{SN} = 1,3404$ , распознать такой объект целиком сложно, а иногда невозможно без потерь некоторых его частей. После обработки  $R_{SN} = 5,3027$ , следовательно, объект стал заметнее в четыре раза, значит распознать его целиком стало значительно проще.



*Рисунок 3 – Результат удаления диапазона цветов, характерных изображению растительного фона*

Исходя из изложенного выше, можно сделать вывод, что описанный алгоритм автоматического определения и удаления изображения растительного фона позволяет упростить и ускорить процесс предварительной обработки, а дальнейший процесс распознавания – сделать более точным и, следовательно, эффективным.

УДК: 004.93

ББК: 30

**ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

© *Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

© *Д.А. Мокишанина, Пензенский государственный университет  
(г. Пенза, Россия)*

© *С.В. Романов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

**USE OF TRACE-TRANSFORMATION FOR ANALYSIS  
GRAYSCALE IMAGES WITH ULTRASOUND**

© *N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)*

© *D.A. Mokshanina, Penza State University (Penza, Russia)*

© *S.V. Romanov, Penza State University (Penza, Russia)*

В статье рассматривается анализ полутоновых изображений ультразвуковых исследований с позиции стохастической геометрии и функционального анализа.

**Ключевые слова:** изображение, ультразвуковые исследования, стохастическая геометрия, признак распознавания.

The article deals with the analysis of gray-scale images of ultrasound from a position of stochastic geometry and functional analysis.

**Key words:** image, ultrasound, stochastic geometry, the sign of recognition.

E-mail: fedotov@pnzgu.ru

**Введение**

Множество достоинств ультразвуковых исследований, таких как безболезненность, низкая стоимость исследования и т.д., обеспечили их широчайшее применение, но для диагностики ряда заболеваний, например опухолей щитовидной железы, необходимо повышение точности данного метода исследований. Работы по повышению точности ультразвуковых исследований ведутся в следующих направлениях:

- увеличение разрешения получаемого изображения;
- получение дополнительной информации, например скорости кровотока, на основе эффекта Доплера;
- представление результатов исследований в трёхмерном виде.

Все перечисленные направления предполагают совершенствование аппаратной части системы. Повышение точности исследований возможно не только путём улучшения технических характеристик системы, но и благодаря более глубокому анализу получаемых данных.

**Интеллектуальные методы анализа**

Возможно, обработка серии ультразвуковых исследований позволит выявить скрытые закономерности и новые информативные составляющие ультразвуковых изображений.

Интеллектуальные методы анализа данных применимы только в том случае, когда информация представлена в виде численных данных, которые являются количественной или качественной характеристикой объектов. Таким образом, необходимо преобразовать изображение ультразвукового исследования в форму, подходящую для дальнейшей обработки.

Получение численных характеристик объектов изображения основано на анализе изображения. Существующие методы анализа изображений и распознавания образов предполагают использование лишь небольшого количества признаков, характеризующих исследуемый объект. Метод анализа изображений, основанный на аппарате стохастической геометрии, позволяет в режиме автоматической генерации получить действительно большое число признаков, которые могут достаточно полно описать изображение в целом и отдельные его объекты.

### Трейс-преобразование

Ключевым элементом теории распознавания, основанной на стохастической геометрии, является применение нового класса признаков с характерной структурой в виде последовательной композиции трёх функционалов – триплетных признаков [1]. Их формирование начинается с реализации нового геометрического преобразования изображений, связанного со сканированием по сложным траекториям, – трейс-преобразованием (от английского слова *trace* – “след”). Изображение  $F$  на входной сетчатке распознающей системы сканируется решёткой параллельных прямых  $l(p, \theta)$  с расстоянием  $\Delta p$  между линиями. Параметры  $p$  и  $\theta$  являются нормальными координатами линии  $l$ .

Взаимное положение изображения  $F$  и каждой сканирующей линии  $l$  характеризуют числом  $g$ , вычисляемым по некоторому правилу  $T: g = T(F \cap l)$ . В качестве указанной характеристики могут выступать число пересечений прямой с изображением, длина части прямой, лежащая внутри изображения, или свойства окрестности такого сечения и т. п. Отображение  $T$  является функционалом (трейс-функционалом) и обладает свойством полной инвариантности (не зависит от начального положения и поворота объекта).

Затем сканирование производится для нового значения угла, получившего дискретное приращение  $\Delta\theta$ , решёткой линий с тем же шагом  $\Delta p$ . Результат вычислений  $T$ -функционала зависит от двух параметров прямой  $p$  и  $\theta$ , поэтому получаемое в результате сканирования множество чисел  $g = T(F \cap l(p, \theta))$  является трейс-трансформантой. При численном анализе результат трейс-преобразования принято представлять в виде трейс-матрицы, у которой ось  $0\theta$  направлена горизонтально, а ось  $0p$  – вертикально. Каждый столбец матрицы содержит значения, вычисляемые по всем прямым при одинаковом значении угла  $\theta$ . Если прямая  $l$  не пересекает изображение, то  $T(F \cap l)$  полагают равным заданному числу (например, нулю).

Согласно рассматриваемой теории, после заполнения трейс-матрицы продолжается формирование триплетного признака. С помощью диаметрального функционала  $P$  обрабатываются столбцы трейс-матрицы. Его можно за-

дать, например, так: число пересечений изображения  $g(\rho, \theta)$  прямой  $\theta = \theta_0$ . Результатом этой обработки является появление набора чисел – вектор значений, непрерывным аналогом которого будет  $2\pi$ -периодическая кривая. После этого к полученному набору чисел применяют круговой функционал  $\Theta$ , что приводит к появлению некоторого числа – признака изображения  $\Pi(F)$ . Его можно задать, например, как максимум функционала  $P$  по переменной  $\theta$ :

$$\Pi(F) = \Theta(P(g(\theta, \rho))) = \max_{\theta} P(g(\theta, \rho)).$$

Таким образом, признак исследуемого изображения обладает структурой в виде композиции трёх функционалов  $\Pi(F) = \Theta \circ P \circ T(F \cap l(\rho, \theta))$ . Благодаря такой структуре признаков в рамках описанного подхода возможно получение большого числа новых конструктивных признаков распознавания, причём их формирование осуществляется в режиме автоматической компьютерной генерации.

### Двойственное трейс-преобразование

Опишем теперь двойственное трейс-преобразование, основанное на описанном выше трейс-преобразовании и позволяющее выполнять этап предобработки изображения и формирования его признаков в одной технике. Это до настоящего момента практически не встречалось и позволяет заметно экономить на вычислительных затратах.

Пусть  $F(x, y)$  – функция изображения на плоскости  $(x, y)$ . Определим на плоскости сканирующую прямую  $l(\theta, \rho, t)$ :

$$x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = \rho, \quad (1)$$

где параметр  $t$  задает точку на прямой. Преобразуем выражение:

$$\sqrt{x^2 + y^2} \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \cos \theta + \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \sin \theta \right) = \rho \Rightarrow A \cos(\varphi - \theta) = \rho, \quad (2)$$

где  $A = \sqrt{x^2 + y^2}$  и  $\varphi = \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ .

Первоначальному изображению  $F$  соответствует новое изображение, которое можно трактовать как результат действия функционала  $T$ . К этому промежуточному образу можно вновь применить трейс-преобразование.

На основании (1) можно говорить, что значение функции  $F(x, y)$  в точке  $(x, y)$  порождает значения функции  $g$  на синусоиде (2) в плоскости  $(\theta, \rho)$ . Рассмотрим функционал  $T'(g \cap s(x, y, t))$ , где  $s(x, y, t)$  – синусоида (2), определяемая параметрами  $x$  и  $y$ , а  $t$  определяет точку на синусоиде. Определим функцию двух аргументов  $F'(x, y) = T'(g \cap s(x, y, t))$  как результат действия функционала  $T'$  при фиксированных  $x$  и  $y$ . Преобразование  $T'$  назовём двойственным трейс-преобразованием в силу двойственности соотношений (1) и (2). Если последовательно выполнить прямое, а за-

тем двойственное трейс-преобразование, то получим преобразование функции изображения  $F(x, y)$  в функцию изображения  $F'(x, y)$ :  $F' = T'(T(F \cap l(\theta, \rho, t)) \cap s(x, y, t))$ .

Выбор конкретных реализаций функционалов  $T$  и  $T'$  позволяет получить преобразование с заданными свойствами. В зависимости от вида прямого и двойственного трейс-преобразования возможно осуществить предварительную обработку изображений с целью уменьшения зашумленности, сглаживания, полигональной аппроксимации и выделения контура или выпуклой оболочки. Аналогично получаем признак исследуемого изображения в виде композиции трёх функционалов  $\Pi(F') = \Theta \circ P \circ T'(F' \cap l(\rho, \theta))$ .

С помощью двойственного трейс-преобразования можно выполнить нелинейную фильтрацию изображений с целью уменьшения зашумленности, сегментации, квантования и получения геометрических характеристик на основе триплетных признаков.

### Триплетные признаки

Применение нового класса признаков изображений – триплетных признаков, которые имеют структуру в виде композиции трёх функционалов [1]:

$$\Pi(F) = \Theta \circ P \circ T(F \cap l(\theta, \rho)),$$

где  $\theta, \rho$  – полярные координаты сканирующей прямой  $l(\theta, \rho)$ , с которыми связаны функционалы  $\Theta$  и  $P$  соответственно; функционал  $T$  связан с параметром  $t$ , задающим точку на сканирующей прямой  $l(\theta, \rho)$ ;  $F(x, y)$  – функция изображения на плоскости  $(x, y)$ .

Сканирование изображения производится прямыми  $l(\theta, \rho) = \{(x, y) | x \cos \theta + y \sin \theta = \rho\}$ , где параметры  $\theta$  и  $\rho$  – её полярные координаты. Параметры прямой  $l(\theta, \rho)$  меняются в диапазонах  $\theta \in [0, \pi]$  и  $\rho \in [-R, R]$ , где  $R$  – радиус окружности  $\omega(O, R)$ , описанной около исследуемого изображения. Результат пересечения каждой сканирующей прямой  $l(\theta, \rho)$  с изображением  $F$  отражает функция  $f(\theta, \rho, t)$ , зависящая от параметра  $t$ .

Для полутоновых текстур принадлежность точек сканирующей прямой  $l(\theta, \rho)$  пересечению  $F \cap l(\theta, \rho)$  не столь однозначна, как для бинарных изображений. Можно применить следующий алгоритм обнаружения границ однородных по яркости отрезков сканирующей прямой, пересекающей полутоновую текстуру:

1) сканирующая прямая пересекает сетчатку в двух точках с координатами  $t_1$  и  $t_m$ ,  $t_1 < t_m$ . Точка, координата которой  $t_1$ , есть начало первого однородного по яркости отрезка;

2) пусть  $I_1$  – значение яркости в точке  $t_1$ . Точка  $t_n$  сканирующей прямой, значение яркости в которой  $I_n \geq I_1 + \Delta I$ , является концом первого отрезка;

3) если средняя яркость выделенного отрезка не превышает 140, то любая его точка  $t \in F \cap l$ ;

4) последняя точка предыдущего отрезка считается началом следующего однородного по яркости отрезка, относительно которого проводятся аналогичные п. 2 и 3 рассуждения.

Выбранный алгоритм позволяет с достаточной точностью определять границы однородных по яркости отрезков сканирующей прямой. Таким образом, теория триплетных признаков может быть применена и к распознаванию полутоновых изображений ультразвуковых исследований.

В заключение хотелось бы отметить, что процедура автоматической генерации признаков является очень эффективным инструментом для анализа изображений и разработки систем распознавания образов.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 09-07-00089.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М. : Физматлит, 2009. – 304 с.

**УДК: 004.9**

**ББК: 32**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИЧНОСТИ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПЭВМ**

© *С.Н. Борисова, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

### **APPLYING BIOMETRIC PARAMETERS OF PERSON FOR COMPUTER USERS AUTHENTICATION**

© *S.N. Borisova, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В данной статье описываются основные требования, предъявляемые к биометрическим системам аутентификации. Дается сравнительный анализ систем, построенных на основе различных биометрических характеристик личности по ряду параметров. Описаны возможные способы построения системы аутентификации по клавиатурному почерку. Приведены результаты тестирования системы аутентификации по клавиатурному почерку.

**Ключевые слова:** аутентификация, биометрия, динамика нажатия клавиш, решающее правило.

The article describes the basic requirements for authentication biometric systems. The comparative analysis of the systems constructed on the basis of various biometric characteristics of a person on a number of parameters is given. Possible ways of creating authentication system based on keystroke pattern are described. The results of testing an authentication system using keystroke pattern are presented.

**Key words:** Authentication; biometry; keystroke dynamics; decision rule.

E-mail: snl\_simona@mail.ru

### Введение

Задача идентификации и аутентификации пользователей является ключевой задачей системы защиты от несанкционированного доступа в любой информационной системе (ИС), так как доступ к ресурсам ИС производится на основе разграничительной политики доступа посредством задания прав доступа для пользователей. Биометрическая аутентификационная система должна гарантировать безопасность, которая предполагает высокую точность идентификации, и одновременно быть удобной для пользователей. Требования к точности аутентификационной системы обычно выражаются с помощью количественных параметров таких, как уровень ошибок, который, конечно, должен быть как можно более низким. Но есть ещё и качественные требования: уровень безопасности, удобство и конфиденциальность, которые также должны быть удовлетворены. На рис. 1 представлены сравнительные оценки некоторых биометрических параметров по следующим критериям: универсальность, уникальность (индивидуальность), постоянство (стабильность) и собираемость (удобство снятия параметров).

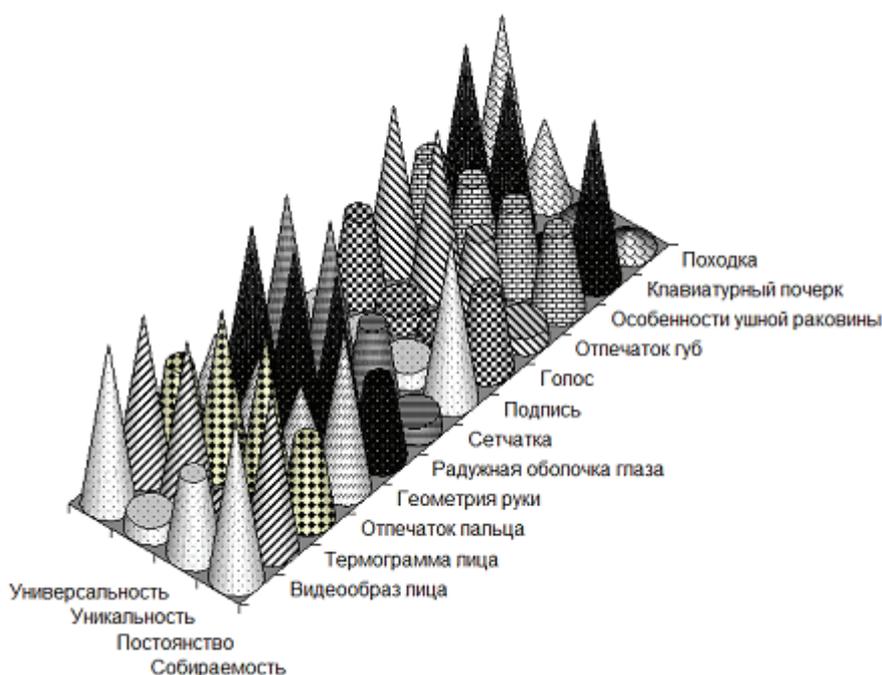


Рисунок 1 – Оценка качественных свойств биометрических параметров

Поэтому выбор конкретного биометрического параметра должен определяться условиями применения систем идентификации – их назначением, степенью ответственности при принятии решений, степенью защиты от несанкционированного доступа к системе, степенью защиты от взлома системы.

В качестве измеряемых биометрических параметров выделено множество характеристик личности пользователей. Условно их разделяют на две группы: физиологические или поведенческие. Физиологические биометрические

параметры, такие, как отпечатки пальцев или геометрия руки, являются физическими характеристиками, которые обычно измеряются в определённый момент времени. Поведенческие биометрические параметры, например подпись или голос, представляют собой последовательность шагов, характерных для подсознательных движений в процессе воспроизведения какого-либо действия.

**Клавиатурный почерк.** Проведём анализ одного из биометрических параметров – клавиатурного почерка пользователя (темпа набора текста на клавиатуре). Для проведения биометрической аутентификации для данного класса параметров характерна определённая последовательность действий. В первую очередь производится регистрация пользователя и формирование для него в базе данных биометрического эталона. Затем производится аутентификация пользователя при каждом запросе доступа к требуемым ресурсам.

На этапе регистрации по нескольким измерениям со считывающего биометрического устройства формируется цифровое представление (шаблон или модель) биометрической характеристики, соответствующей регистрируемому пользователю. Иначе говоря, формируется биометрическая база данных пользователей. Этот этап называют ещё этапом обучения системы. В данном случае в качестве биометрического сенсора служит клавиатура, а биометрическим параметром будет служить темп набора текста на клавиатуре, а именно временные интервалы удержания клавиш и временные интервалы между нажатиями двух клавиш (рис. 2).

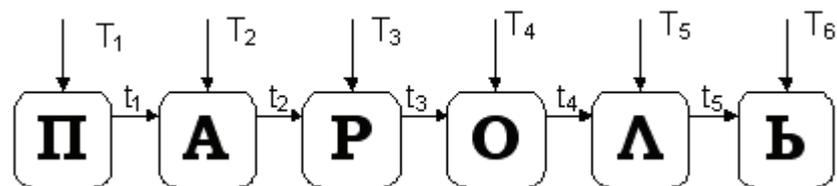


Рисунок 2 – Параметры клавиатурного почерка пользователя

Отметим два способа исследования клавиатурного почерка:

1) аутентификация производится по фиксированной фразе, тогда снимаются параметры  $T_i$  и  $t_i$  для каждой пары клавиш (рис. 2);

2) аутентификация производится по свободному тексту, в таком случае измерение параметров  $T_i$  и  $t_i$  для каждой пары клавиш приведёт к формированию большого массива параметров, содержащего избыточную информацию.

Уменьшение количества исходных параметров возможно несколькими способами:

а) деление клавиатуры на поля, содержащие по 2, 3, 4 соседние клавиши, и измерение временных интервалов нажатия клавиш между разными полями. Данный способ подробно описан в работе [1];

б) измерение временных интервалов между нажатиями клавиш в наиболее часто встречающихся биграмах русского языка. Частота биграмм представлена на рис. 3.

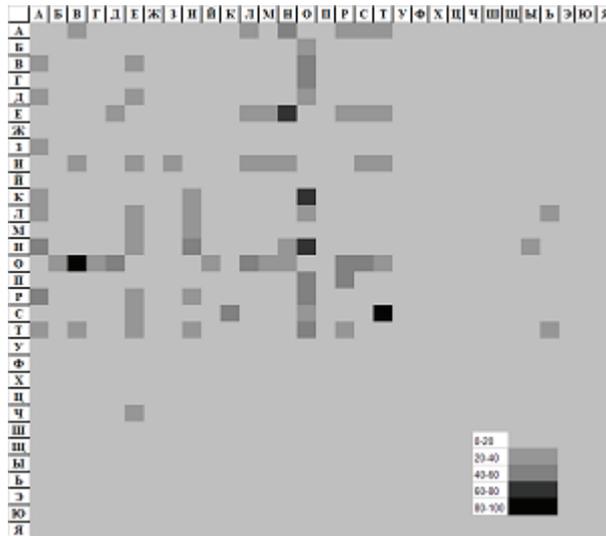


Рисунок 3 – График частот использования пар букв русского алфавита

Наиболее часто встречающиеся биграммы отмечены самым тёмным цветом, наиболее редкие – самым светлым. Для выбранных биграмм вычисляются интервалы  $T_k$  и  $t_k$  (рисунок 3). Таким образом, несмотря на длину вводимого текста количество измеряемых параметров постоянно и ограничено. Во всем остальном, кроме способа измерения временных интервалов, работа систем аутентификации по клавиатурному почерку для первого и второго способа идентичны.

При обучении поведенческих систем производится несколько считываний параметров с биометрического сенсора, т.к. обучение строится на вычислении среднестатистических характеристик (для аутентификации по произвольной фразе статистике составит число появления биграмм в тексте). В итоге, для определения эталонных характеристик пользователя необходимо после определения временных интервалов между нажатиями клавиш рассчитать и запомнить величины математического ожидания  $M(T_i)$ , дисперсии  $D(T_i)$  для измеренных временных интервалов, рассчитываемых по формулам:

$$M(T_i) = \frac{\sum_{n=1}^N T_{in}}{N}; \quad D(T_i) = \frac{\sum_{n=1}^N (T_{in} - M(T_i))^2}{N},$$

где  $N$  – количество обучений.

На этапе регистрации и обучения вычисляются также весовые коэффициенты  $l_i$ , отражающие стабильность параметров (интервалов времени). Необходимость вычисления коэффициентов  $l_i$  обусловлена тем, что ошибки аутентификации существенно могут зависеть от того, как пользователь

набирает парольную фразу. В работе [2] предложена следующая оценка стабильности биометрического параметра:

$$\lambda_i = \frac{1}{\sigma(T_i)},$$

где  $\sigma_i$  – среднеквадратическое отклонение  $i$ -го параметра клавиатурного почерка пользователя. Применение данного критерия позволит выявить пользователей с нестабильным клавиатурным почерком. Для таких лиц рекомендуется использовать более длинные парольные фразы.

После регистрации пользователя и формирования для него биометрического эталона в БД при запросе доступа к требуемым ресурсам пользователь должен проходить процедуру биометрической аутентификации, которая включает следующие действия: измерение биометрического параметра, сравнение биометрических данных с одним параметром из БД по заданному номеру, принятие решения о том, насколько близки друг другу сравниваемые биометрические параметры, формирование результата аутентификации.

Принятие решения о предоставлении доступа должно производиться в соответствии с каким-либо решающим правилом. Принцип решающего правила заключается в сравнении некоторого вектора индивидуальных биометрических параметров с вектором параметров эталона. В работе [3] описаны несколько видов решающих правил: мера Хемминга, Евклидова мера близости и др.

**Мера Хемминга.** При принятии решения с помощью меры Хемминга выбирается интервал изменения параметра  $t_j$  [ $\min(t_j)$ ,  $\max(t_j)$ ]:

$$M(t_j) - 3 \cdot \sigma(t_j) \leq t_j \leq M(t_j) + 3 \cdot \sigma(t_j).$$

При попадании параметра в интервал мере присваивается значение 0, а при выпадении параметра из интервала – значение 1. Таким образом получаем вектор Хемминга. Для “своего” этот вектор должен состоять практически из одних нулей. Для “чужого”, предъявляющего иные биометрические параметры, вектор Хемминга будет иметь много несовпадений (много единиц). Однако если вектор Хемминга будет содержать одни нули, можно получить высокий КЛЮД при минимальном КЛД, так как эти параметры взаимозависимы. Таким образом, для вектора Хемминга необходимо определить порог – процент допустимых единиц в векторе “свой” и допустимых “нулей” в векторе “чужой” для получения требуемых значений параметров КЛЮД и КЛД. Для исследования эксплуатационных характеристик системы аутентификации по клавиатурному почерку (КЛЮД, КЛД) было создано программное обеспечение. При тестировании были задействованы 2 пользователя, для которых был создан биометрический эталон. Затем пользователи последовательно проходили аутентификацию за себя и за другого пользователя 20 раз. По результатам тестирования построены графики зависимости КЛЮД от выбранного уровня порога для двух параметров (рис. 4).

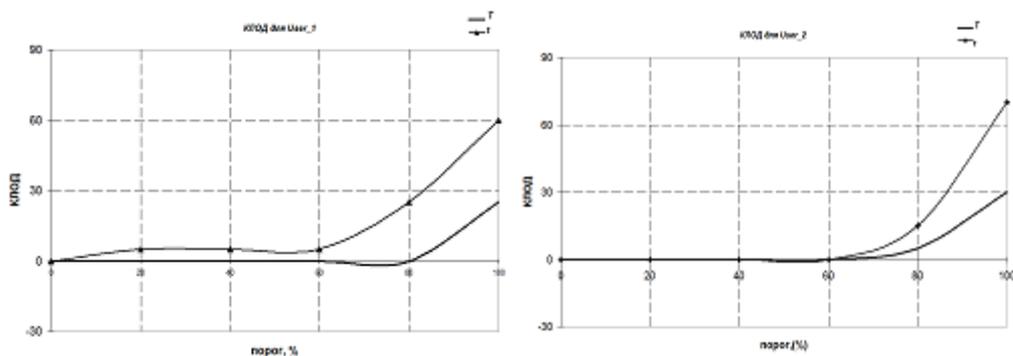


Рисунок 4 – КЛОД для двух пользователей

Таким же образом производилась оценка влияния порога на ошибку и КЛД. Только фиксировалось количество входов для “чужого” пользователя. “Чужой” пользователь пытался пройти аутентификацию за другого. Количество попыток – 20. Результаты испытаний представлены в виде графиков зависимости КЛД от выбранного уровня порога для двух параметров (рис. 5).

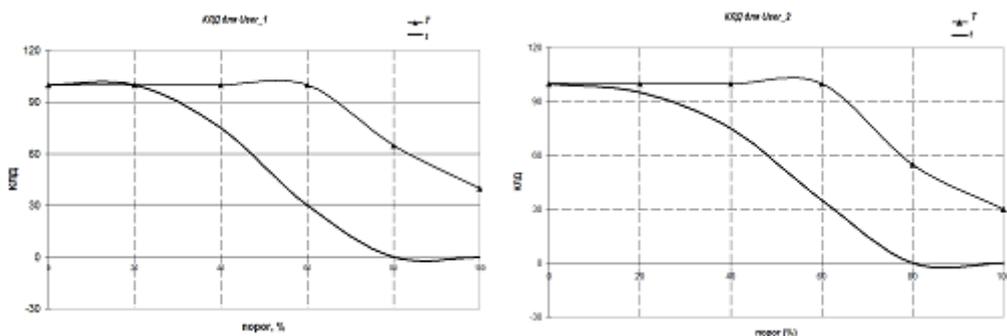


Рисунок 5 – КЛД для двух пользователей

Как показывают графики на рис. 5, 6, для КЛОД порог для временного интервала между нажатиями клавиш  $T$  должен быть выбран ниже, чем для параметра, определяющего длительность нажатия клавиши –  $t$ . Для временного параметра  $t$  будет достаточен порог – 70-80 %. Для временного параметра  $T$  порог должен быть не менее 60 %, иначе величина КЛОД будет составлять около 15 – 25 %. Порог для временного интервала между нажатиями клавиш  $T$  должен быть выбран ниже, чем для параметра, определяющего длительность нажатия клавиши –  $t$ . Для временного параметра  $t$  даже при пороге 100 % величина ошибки составляет 25 %. Для временного параметра  $T$  порог должен быть не менее 80 %, иначе величина КЛД будет составлять 15-25 % (при пороге 60 %) и выше.

Из проведённых исследований можно сделать следующий вывод: порог попадания клавиш в интервал допустимых значений должен выбираться разный для двух параметров –  $t$ ,  $T$ . При соотношении порога (для параметра  $t$

порог 80 %, для параметра T 60 %) было получено значение КЛЮД – 5 % при нулевом значении КЛД. Это достаточно большая величина для данной ошибки. Однако точность идентификации пользователя во многом зависит от стабильности почерка и количества знаков, использованных в формировании ключевой фразы. К тому же для получения более точной оценки КЛЮД и КЛД необходимо провести порядка 100 опытов для каждого пользователя.

Полученная точность может быть улучшена следующими способами: предварительной оценкой клавиатурного почерка пользователя и выбором оптимальной по длине ключевой фразы, увеличением процента погрешности при применении решающего правила. Так как параметр КЛД составляет 0 %, можно снизить порог попадания параметров в интервал допустимых значений, на этапе обучения увеличить количество циклов набора ключевой фразы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Расторгуев С.П. Программные методы защиты информации в компьютерах и сетях.* – М. : Издательство агентства “Яхтсмен”, 1993. – 188 с.
2. *Рыбченко Д.Е. Критерии устойчивости и индивидуальности клавиатурного почерка при вводе ключевых фраз // Специальная техника средств связи. Серия “Системы, сети и технические средства конфиденциальной связи”.* – Пенза : ПНИЭИ, 1997. – Вып. № 2. – С. 104–107.
3. *Иванов А.И. Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений.* – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 188 с.

УДК: 681.58:681.32

ББК: 34

### АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ДАТЧИКАХ

© *Д.А. Матвеев, Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва (г. Саранск, Россия)*

### ALGORITHMS OF INTRUDER'S MOTION DETECTION IN INTELLECTUAL TELEVISION SENSORS

© *D.A. Matveev, Mordovia State University im. N.P. Ogarev (Saransk, Russia)*

В статье анализируются способы выделения объектов в поле телевизионного кадра. Рассмотрены методы обработки изображения в системах технического зрения с малой или ограниченной вычислительной мощностью. Рассматриваются способы упрощения вычислительной нагрузки алгоритмов с учётом аппаратных особенностей интеллектуальных телевизионных датчиков.

**Ключевые слова:** опорный кадр, разностный кадр, вычитание фона, датчик изображения, программируемые логические интегральные схемы.

The paper analyzes the techniques of objects selection in the television frame. The methods of image processing in machine vision systems with small or limited computing power are considered. The methods of simplifying algorithms computational load taking into account hardware features of intelligent television sensors are described.

**Key words:** reference frame, difference frame, background subtraction, image sensor, programmable logic integrated circuits.

E-mail: dimitry88@mail.ru

## Введение

Устройства автоматизированного обнаружения объектов прикладными телевизионными системами на сегодняшний день получили широкое распространение как в технологическом оборудовании на производстве, так и в системах безопасности. На данный момент разработанные алгоритмы позволяют успешно решать задачи по обработке потока кадров, а также выделения объектов в поле изображения. Как правило, реализация этих алгоритмов весьма сложна, требует производительной вычислительной системы, а также минимальный массив памяти, пропорциональный квадрату разрешения изображения, выраженной в байтах. Именно поэтому значительная часть подобных задач решается или на основе платформ, построенных на базе современных x86 процессоров, имеющих набор команд MMX, или 32-разрядных процессоров цифровой обработки сигналов с модулем математического сопроцессора. Описанные выше особенности ограничивают применение функций обработки изображения в мобильных и автономных средствах телевизионного контроля, так как данный класс устройств предъявляет повышенные требования к параметрам энергопотребления, энергоэффективности, а также массогабаритным показателям. В связи с этим возникает необходимость изыскания упрощённых алгоритмов обработки потока кадров, позволяющих осуществить их реализацию в мобильных приложениях на системах с минимально достаточной производительностью. Рассмотрим основные алгоритмы выделения объекта в поле кадра, а также проблемы, возникающие при их применении.

### Алгоритм вычисления кадровой разности

Одним из наиболее простых алгоритмов выделения движущегося объекта является нахождение кадровой разности. В частности, для изображения, представленного в формате RGB, вычисление производится по следующей схеме:

$$R_{cur}^i = |R_1^i - R_2^i|; \quad G_{cur}^i = |G_1^i - G_2^i|; \quad B_{cur}^i = |B_1^i - B_2^i|,$$

где  $RGB_{cur}^i$  – цветовые компоненты результирующего разностного кадра ( $i$  – порядковый номер пикселя в поле кадра);  $R_1^i G_1^i B_1^i$  – цветовые компоненты исходного кадра;  $R_2^i G_2^i B_2^i$  – цветовые компоненты опорного кадра.

Если обработка каждого из цветовых компонент не требуется, то производится переход к представлению изображения в уровнях градации серого:

$$F_{b\backslash w}^i = (R_{cur}^i + G_{cur}^i + B_{cur}^i).$$

В результате обработки изображения неизменная часть фона потока кадров становится затемнённой, а области изменения в кадре имеют выветленный характер. В работе реализован данный алгоритм на примере двух кадров с одинаковым фоном, сделанных через случайный промежуток времени более 2 секунд. Получено, что вычитание одинаковых с виду изображений **не даёт абсолютно затемненного кадра** ( $F_{b\backslash w}^i \neq 0$ ) вследствие ряда паразитных факторов:

1. Аддитивный шум аппаратуры. Может быть представлен следующим выражением:  $\xi_{ns}^i = \xi_{BC}^i + \xi_{BPS}^i + \xi_{AMP}^i + \xi_{DN}^i$ , где  $\xi_{BC}^i$  – темновой ток пикселя матрицы датчика изображения,  $\xi_{BPS}^i$  – шум квантования,  $\xi_{AMP}^i$  – шум усилителя видеосигнала,  $\xi_{DN}^i$  – дробовой шум. Такая модель хорошо описывает флуктуационное воздействие шума в трактах электронных систем при рассмотрении сигнала как суммы полезной и шумовой составляющей. Наиболее весомый вклад в модель аддитивного шума вносит шум усилителя видеосигнала, а также темновой ток матрицы в условиях недостаточной освещённости.

2. Импульсный шум. Характерен для цифровых систем обработки потока кадров и представляется в виде случайно расположенных контрастных одиночных пикселей, компоненты данного шума образуются, как правило, в результате переполнения разрядной сетки при обработке блока данных или ошибках в логике алгоритма обработки изображения. Данный тип шума присущ цифровым датчикам изображения, содержащим на кристалле встроенный видеопроцессор предварительной обработки потока данных матрицы.

3. Механический шум. Действие шума сказывается в геометрическом смещении текущего поля кадра относительно предыдущего положения в связи с изменением положения датчика изображения в пространстве:

$$F_{b\backslash w}^{(x,y)} = F_{b\backslash w} \left( x \pm INT\left(a_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot N \cdot \frac{1}{f}\right)\right), y \pm INT\left(a_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot N \cdot \frac{1}{f}\right)\right) \right),$$

где  $INT$  – целочисленная функция,  $a_{1,2}$  – амплитуда колебания по горизонтали и вертикали,  $T$  – период колебания,  $N$  – номер кадра,  $f$  – частота смены кадров.

Возникает в случае недостаточно прочного закрепления датчика изображения на подвесе, или воздействия на него внешней силы, например, порывистого ветра.

4. Шум подстилающего фона. Источниками данного шума служат объекты фона, случайно изменяющие своё пространственное положение в некоторых пределах  $x$  с течением времени. Наиболее распространённым шумовым воздействием данного типа являются раскачивающиеся деревья,

провода и т.д. Воздействие данного вида шума в поле кадра аналогично механическому шуму, но носит локальный характер:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{b/w}^{(x,y)} = F_{b/w} \left( x \pm \text{ПМГ} \left( a_1 \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{T} \cdot N \cdot \frac{1}{f} \right) \right), y \pm \text{ПМГ} \left( a_2 \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{T} \cdot N \cdot \frac{1}{f} \right) \right) \right) \\ x_1 < x < x_2 \\ y_1 < y < y_2 \end{array} \right. ,$$

где  $(x_1, x_2), (y_1, y_2)$  – диапазон, определяющий область шумового воздействия.

Дальнейшая обработка разностного кадра с целью формирования битовой маски осуществляется пороговой функцией ( $T$ ):

$$F_{bit}^i = \begin{cases} 0, F_{b/w}^i < T \\ 1, F_{b/w}^i \geq T \end{cases} ,$$

где  $T$  – порог, нормированный к единице.

В результате обработки данной функцией пиксели с уровнем яркости выше пороговой сохраняются в поле изображения. Из полученных результатов получено, что выделяется не только объект возмущающего воздействия в поле кадра, но и паразитные контуры элементов фона. Отсюда вытекает существенный недостаток данного метода, а именно невозможность его корректного применения в условиях динамического фона. При этом динамический фон может быть вызван как раскачиванием деревьев в поле кадра, так и недостаточно прочным закреплением телевизионной камеры.

#### Алгоритм вычитания фона с контрастированием

Здесь, как и в первом примере, применяется метод вычитания фона, за тем исключением, что на этот раз только одно из изображений содержит возмущающее воздействие. Результат вычитания фона в первом случае подвергается операции контрастирования и дальнейшей бинаризации (нахождение битовой маски) с уровнем порога  $T = 0,5$ . Контрастирование выполняется в соответствии со следующими правилами:

- 1) пиксели, имеющие яркости ниже установленного нижнего порога, присваивают минимально возможное значение яркости;
- 2) пиксели, имеющие яркость выше установленного высшего порога, присваивают максимально возможное значение яркости;
- 3) пиксели, имеющие яркость в установленном диапазоне, подвергаются масштабированию.

$$F_{b/w}^{x,y} = \begin{cases} a, F_{b/w}^{x,y} < c \\ (F_{b/w}^{x,y} - c) \cdot \left( \frac{b-a}{d-c} \right) + a, c < F_{b/w}^{x,y} < d \\ b, F_{b/w}^{x,y} > d \end{cases},$$

где  $a$  – минимально возможная яркость,  $b$  – максимально возможная яркость,  $c$  – минимальное значение яркости среди массива пикселей,  $d$  – максимально возможное значение яркости среди массива пикселей.

Второй случай заключается в том, что исходный разностный кадр подвергается непосредственной бинаризации с уровнем  $T = 0,5$ . В обоих случаях результат непригоден для дальнейшего анализа, т.к. либо имеет низкое отношение сигнал/шум (первый случай) или же на изображении вовсе отсутствует возмущающее воздействие, как во втором случае. Рассмотренные примеры приводят к необходимости улучшения метода вычитания фона, введения дополнительных мер по компенсации шумовой составляющей.

#### Методы уменьшения шумовой составляющей

1. Усреднение фона по нескольким кадрам. Основная идея данного способа заключается в моделировании фона усреднённой последовательностью  $N$  кадров.

$$F_{b/w}^i = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I (F_n^i)}{N},$$

где  $N$  – число кадров,  $I$  – число пикселей в кадре,  $F_n^i$  – пиксель  $I$ -го кадра  $n$ ,

$F_{b/w}^i$  – пиксель усреднённого кадра.

Метод позволяет адаптироваться к медленно меняющемуся фону. Недостатками являются увеличение разрядной сетки ячеек памяти (т.к. происходит суммирование яркостей  $N$  кадров), наличие операции деления при нахождении усреднённого кадра фона, а также необходимость обучения, при котором перед камерой не должно быть никакого движения.

2. Использование рекурсивного инкрементного фильтра. Данный способ предполагает плавное изменение модели фона, смешивая модель фона с текущим кадром, умноженным на весовой коэффициент, после чего применяется фильтр низких частот отдельно для каждого пикселя результирующего изображения. Метод позволяет адаптироваться к плавному изменению освещённости, но не решает проблемы динамического подстилающего фона.

$$F_n^i = \alpha \cdot F_{b/w}^i + (1 - \alpha) \cdot F_{n-1}^i,$$

где  $F_n^i$  – пиксель опорного кадра,  $F_{b/w}^i$  – пиксель текущего кадра,  $F_{n-1}^i$  – пиксель предыдущего опорного кадра,  $\alpha$  – коэффициент смешивания.

3. Использование изображений с малым межкадровым интервалом. При анализе большого количества кадров экспериментально выявлено, что свойство колебаний элементов динамического фона (см. шум подстилающего фона) носит низкочастотный характер ( $f_{\text{кадр}} > \frac{1}{T_m}$ ) относительно частоты кадровой развертки, следовательно, за время одного кадра фон не претерпевает существенных изменений ( $\alpha \cdot \sin(\frac{2\pi}{T_m} \cdot N \cdot \frac{1}{f_{\text{кадр}}}) \rightarrow 0$ ) в слу-

чае малой амплитуды шумовой составляющей, например колебания листьев дерева. Нахождение разностного кадра на основе соседних кадров видеоряда позволяет получить существенно лучшие результаты, не прибегая к дополнительным средствам обработки.

4. Применение функции пиксельного смазывания. Метод состоит в особенности представления шумовой и возмущающей составляющей в виде группы связанных пикселей.

$$F_{b/w}^{x,y} = \sum_{j=-x1\frac{1}{2}}^{x1\frac{1}{2}} \sum_{k=-y1\frac{1}{2}}^{y1\frac{1}{2}} A_{\text{core}}^{x,y} \times B_{b/w}^{(x-j,y-k)}; \quad A_{\text{core}} = \frac{1}{10} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

где  $F_{b/w}^{x,y}$  – массив результирующего изображения,  $B_{b/w}^{x,y}$  – массив исходного изображения,  $x1, y1$  – линейные размеры ядра  $A_{\text{core}}^{x,y}$ . При этом шумовая составляющая имеет высокую дисперсию (состоит из множества групп с радиусом  $R$  менее 3-х пикселей и расстоянием относительно друг друга, превышающим  $2R$ ), в то время как возмущающее воздействие имеет сосредоточенный характер и площадь, в разы превышающую площадь единичного шумового элемента. Данное обстоятельство позволяет, производя операцию смазывания (смешивания 2-3 соседних пикселя), “закрасить” мелкие шумовые элементы, увеличивая отношение яркости полей возмущающего воздействия и суммарного поля паразитного воздействия динамической составляющей фона. Отсутствие многократной обработки поля кадра (смешивание по строкам и столбцам массива изображения) и минимального объема памяти (требуется массив ячеек емкостью 1 кадр) является существенным плюсом предложенного способа.

Методы 1 и 2 достаточно часто используются в обработке потока кадров [1], но, к сожалению, полностью не решают поставленной задачи. Наиболее интересным является использование способов, рассмотренных в пунктах 3 и 4, т.к. они позволяют простыми средствами повысить отношение сигнал/шум и провести дальнейшую бинаризацию изображения с уровнем порога 0,5. Результаты подобной обработки потока кадров приведены на рис. 1.

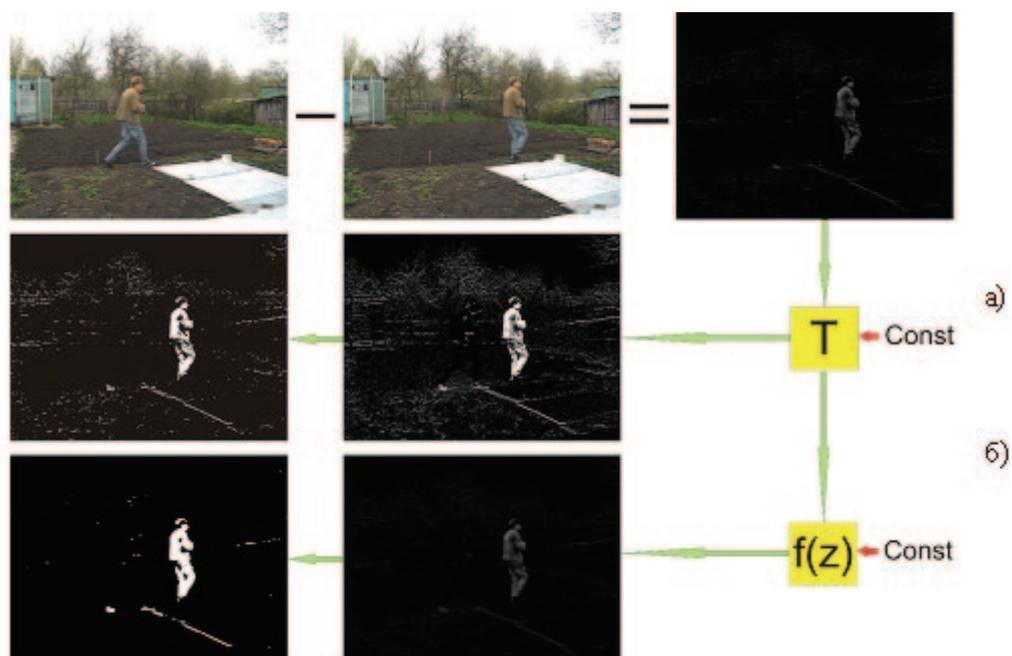


Рисунок 1 – Алгоритмы выделения движущегося объекта с малым межкадровым интервалом (а) и применением функции пиксельного смазывания (б)

Здесь используются 2 близко расположенных ( $\sim 0,3c$ ) кадра видеоряда, для наглядности на обоих кадрах присутствует возмущающее воздействие. Как и в предыдущем случае, находится разностное изображение, после чего для сравнения обрабатывается двумя путями: 1) увеличение контрастности, бинаризация (верхняя строка); 2) увеличение контрастности, смазывание по 3-м пикселям, бинаризация. При сравнении полученных результатов преимущество обработки смазыванием изображения становится очевидным, т.к. позволило в значительной мере, хоть и не полностью, избавиться от шумовой фоновой составляющей.

В результате рассмотренных способов становится возможным простая реализация предложенных алгоритмов как на основе систем, построенных на микропроцессорах с производительностью 5-10 MIPS, так и конфигурирования на кристаллах *FPGA* малой функциональной ёмкости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.
2. Матвеев Д.А. Методы реализации интеллектуальных датчиков изображения на основе систем с малой производительностью // Электроника и информационные технологии. – 2010. – № 8.

---

---

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

---

---

УДК 519.8  
ББК 22.18

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

© *О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

## DECISION ON THE CHOICE OF THE IMPLEMENTATION OF ALGORITHMS OF INFORMATION DIGITAL PROCESSING IN TECHNOLOGICAL SYSTEM DESIGNING

© *O.S. Litvinskaya, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В работе обобщаются результаты применения теории принятия решений для задачи выбора средства реализации алгоритма работы проектируемой информационной технической системы. Приводится пример использования положений теории принятия решений для выбора средств реализации алгоритма в виде альтернативных вариантов устройств цифровой обработки информации.

**Ключевые слова:** принятие решения, выбор, целевой функционал.

The paper summarizes the results of decision theory application for solving the problem of choosing algorithm implementation means for the information system designed. It also contains the example of decision theory using to choose an algorithm realization means as options of information digital processing devices.

**Key words:** decision making, choice, target functional.

E-mail: los@pgta.ru

### Введение

Развитие технологий производства интегральных схем привело к разнообразию средств реализации алгоритмов цифровой обработки информации (ЦОИ), среди которых можно выделить такие, как программные на базе универсальных ЭВМ, микроконтроллерные и средства на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Все эти средства ЦОИ в настоящее время конкурируют между собой. Наличие многоядерных процессоров даёт возможность выполнять максимально быстро обработку данных на универсальных ЭВМ. Развитие микроконтроллеров и ПЛИС позволяет реализовывать специализированные устройства различной сложности с высоким быстродействием.

Обоснованный выбор средств реализации алгоритмов ЦОИ при проектировании информационных технических систем (ИТС) имеет существен-

ное значение для устройств и систем, работающих с последовательными во времени сигналами – телекоммуникационных систем, систем сбора и обработки данных, систем технического зрения, технических систем охраны, отличающихся наличием последовательных каналов связи или последовательных каналов ввода данных.

### 1. Целевой функционал модели принятия решения

Общая постановка задачи принятия решения, понимаемая как задача выбора из некоторого множества с помощью критериального языка описания, формулируется следующим образом.

Пусть  $X$  – множество альтернатив,  $Y$  – множество возможных исходов, результатов. Предполагается связь между выбором некоторой альтернативы  $x_i \in X$  и наступлением соответствующего исхода  $y_i \in Y$ . Требуется выбрать наилучшую альтернативу  $x_i$ , для которой исход имел бы наилучшую оценку качества. Под качеством на стадии проектирования ИТС понимается удовлетворение основным техническим требованиям системы.

Задачу выбора применительно к области проектирования можно считать задачей в условиях определённости, т.е. нам заранее известны исходы при заданных альтернативах. В этом случае существует однозначное отображение  $X \xrightarrow{\varphi} Y$ , т.е. реализуется функция  $y = \varphi(x)$ . Поскольку связь детерминированная, то  $f: Y \rightarrow R$ , т.е. каждый исход можно оценить конкретным вещественным числом  $R$ .

В случае рассмотрения ряда задач из области проектирования ИТС получим множество частных критериальных функций:  $f_k: Y \rightarrow R_k$  при  $k = 1, 2, \dots, n$ . Поскольку речь идёт о детерминированной связи между множеством  $X$  и множеством  $Y$ , то критериальная функция  $f$  трансформируется в некоторую функцию  $J$ , заданную на множестве  $X$  и являющуюся суперпозицией  $\varphi$  и  $f$ :

$$J: X \rightarrow R, J = f \cdot \varphi.$$

Поскольку функция  $J$  выполняет однозначное отображение множества исходов на множество вещественных чисел, то её можно назвать целевым функционалом. Если применить метод линейной свертки, основанный на объединении частных критериальных функций в один целевой функционал, то задача выбора может быть описана выражением

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f(x_i) \rightarrow \max_{x \in X},$$

где  $\alpha_i$  – весовые коэффициенты или показатели значимости частных критериальных функций  $f(x_i)$ , причём

$$\forall \alpha_i: \alpha_i > 0; \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.$$

Более реалистичной оказывается ситуация, когда целевой функционал оценивается не одним числом, а интервалом, т.е. работа ведётся с векторным отображением:

$$J : X \rightarrow R^n, J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}, J_i = f_i(\varphi(x)),$$

где  $n$  – количество интервалов.

В результате приходим к распространённой в приложениях многокритериальной модели принятия решений или задаче многокритериальной оптимизации вида

$$J_i(x) \rightarrow \max_{x \in X}, i = 1, \dots, n, \text{ т.е. } X \subset R^n.$$

Последнее уточнение указывает на то, что все альтернативы параметризованы и каждому из решений соответствует точка

$$x \in R^n, x = (x_1, x_2, \dots, x_n).$$

## 2. Многокритериальная модель выбора

На основе анализа ряда методов многокритериальной оптимизации (метод главного критерия, метод линейной свёртки, метод максиминной свёртки) [1] предлагается метод объективного выбора средств реализации алгоритма ЦОИ при проектировании ИТС с последовательными потоками данных. Метод основан на формировании модели вычислительного процесса и сравнении модели с реальными объектами.

Формирование модели вычислительного процесса осуществляется следующими этапами:

1) выделение параметров модели. Задаётся множество исходных параметров, принадлежащих множеству альтернатив: параметры сигнала и алгоритма ЦОИ  $w_i$ , определяются их максимальные значения  $\gamma_i$ :

$$w_i^M = \{w_1, w_2, \dots, w_n | \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\};$$

2) нормирование параметров  $w_i$  по максимальным значениям  $\gamma_i$ , при этом получают безразмерные коэффициенты сигналов и алгоритмов

$$K_i = w_i / \gamma_i;$$

3) формирование аналитических выражений частных критериальных функций  $f^M(K_i)$ . Из всех нормированных предлагается выделить существенные коэффициенты параметров  $K_i^S$ , оказывающие весомое влияние на выбор средства реализации алгоритмов ЦОИ, критериальные функции которых обозначим  $f^M(K_i^S)$ ;

4) формирование целевого функционала (ЦФ) модели выбора  $J^M(x)$ . Вид функционала определяется зависимостью от критериальных функции

$$J^M(K_i) \text{ и } J^M(K_i^S):$$

$$J^M(x) = J^M \left( \left( \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f^M(K_i) \right), f^M(K_i^S) \right),$$

где  $m$  – количество частных критериальных функций.

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  рассматриваются как показатели относительной значимости исходных параметров. При наличии существенно разнохарактерных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет, поэтому в работе он задаётся одинаковым. Критериальные функции существенных параметров  $J^M(K_i^S)$  учитываются в целевом функционале без весовых коэффициентов.

ЦФ ограничивается двумя условиями:

- область определения является множество положительных значений;
- вид ЦФ может быть монотонным, унимодальным либо полимодальным;

5) для модели выбора уточняется множество альтернативных вариантов реализации:

$$X^M = (X_1, X_2, \dots, X_n);$$

6) для аналитической модели ЦФ выполняется разделение значений на интервалы, соответствующие вариантам реализации ИТС. Множество вариантов реализации  $X^M$  определяет совокупность интервалов значений целевого функционала  $R^n$ :

$$J^M : X^M \rightarrow R^n, J^M = \{J_1^M, J_2^M, \dots, J_n^M\},$$

при этом интервалу значений целевого функционала  $R^i$  приписывается соответствующий вариант реализации  $X_i^M$ . Если неизвестно преобладание какого-либо варианта реализации, то выбирается равномерное разделение области допустимых значений ЦФ на  $n$  интервалов;

7) принятие решения для многокритериальной модели в условиях определённости формулируется следующим образом: попадание максимума ЦФ в интервал значений будет определять вариант реализации алгоритма ЦОИ. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения:

$$J^M(x) = J^M \left( \left( \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f^M(K_i) \right), f^M(K_i^S) \right) \rightarrow \max_{x \in X} X_i^M \subset R^i, i = 1, \dots, n .$$

Обоснованный выбор средства реализации алгоритмов обработки информации в ИТС на стадии проектирования имеет существенное значение, так как, в конечном счёте, определяет множество технических и экономических характеристик проектируемой ИТС.

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ...

Сферой применения предложенного метода выбора являются следующие направления:

- выбор вида обработки информации, где альтернативами являются аналоговый, когерентно-оптический, цифровой аппаратный и программный способы реализации алгоритмов [3];

- выбор средств реализации алгоритмов ЦОИ. В качестве средств реализации рассматривались программные средства, микроконтроллерные и ПЛИС [4];

- выбор микроконтроллеров реализовывал избрание одного из 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров [5];

- выбор средств реализации телевизионных технических средств охраны на основе оценки сложности их структуры [6].

Рассмотрим предложенный метод применительно к выбору микроконтроллеров. В качестве исходных параметров были выделены следующие: динамический диапазон входного сигнала  $D_s$ , влияющий на формат представления входных данных; скорость потока данных, характеризуемая количеством отсчётов обрабатываемого сигнала в единицу времени  $\Pi_s$ ; вид преобразования в виде параметра трансформации отсчётов  $N_{TO}$ ; вид алгоритма  $B_A$ , параметр сложности алгоритма  $C_{AL}$ , количество вычислительных операций  $N_{OP}$ , время выполнения операций в алгоритме  $T_{BO}$ , время реализации алгоритма  $P_B$ , а также параметры, влияющие на выбор непосредственно микроконтроллеров: производительность  $P_M$ , разрядность шины данных  $N_{ШД}$ , разрядность шины адреса  $N_{ША}$  и объём внутренней памяти программ микроконтроллера  $R_M$ . В результате нормирования получили множество безразмерных коэффициентов:

$$K_i = \left\{ K_{D_s}, K_{\Pi_s}, K_{N_{TO}}, K_{B_A}, K_{C_{AL}}, K_{N_{OP}}, K_{T_{BO}}, K_{P_B}, K_{P_M}, K_{N_{ШД}}, K_{N_{ША}}, K_{R_M} \right\}.$$

В качестве существенных параметров выбраны  $K_{B_A}$  и  $K_{P_B}$  как наиболее влияющие на быстрдействие работы алгоритма.

Предложены аналитические выражения частных критериальных функций. В качестве примера приведём критериальную функцию коэффициента динамического диапазона входных данных:

$$f^M(K_{D_s}) = \begin{cases} \lg N_s, & \text{при } n_{D,BC} \geq n_{D,BX} \\ \lg \left( 2 \cdot \frac{n_{D,BX}}{n_{D,BC}} - 1 \right) \cdot N_s, & \text{при } n_{D,BC} < n_{D,BX} \end{cases},$$

где  $N_s$  – число уровней квантования;  $n_{D,BX}$  – количество разрядов входных данных;  $n_{D,BC}$  – разрядность вычислительного средства.

Частные критериальные функции объединяются обобщающей вели-

чиной  $f_{\Sigma}^M = \left( \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f^M(K_i) \right)$ .

Далее формируется ЦФ в виде выражения

$$f^M(x) = f^M(K_{PB}^S) \cdot \exp \left[ - \frac{\left( f_{\Sigma}^M \cdot f^M(K_{BA}^S) \right)^2}{\left( 1/f^M(K_{PB}^S) \right)^2} \right].$$

В качестве альтернатив взяты микроконтроллеры малой разрядности (8), микроконтроллеры средней разрядности (16) и микроконтроллеры большой разрядности (32). Область значений ЦФ разбивается равномерно на три зоны, представляющие собой группы средств реализации. Вопрос выделения зон выбора относится к области экспертных оценок. Необходимо определить приоритеты объектов выбора, учесть их характеристики при распределении значений ЦФ. В работе используется равномерное распределение участков зон, начиная с микроконтроллеров малой разрядности.

Выбор микроконтроллера происходит по оптимальному значению ЦФ. Из базы данных выбираются микроконтроллеры с характеристиками, лежащими в пределах оптимальных значений.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации № 02.120.11.3695-МК

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А.Б. Теория принятия решения. – М. : Академия, 2009.
2. Литвинская О.С., Сальников И.И. Обобщённая структура принятия решения для метода выбора средств реализации проектируемой информационной технической системы // Искусственный интеллект: Научно-теоретический журнал, включен в ВАК ведущих рецензируемых журналов Украины. – 2010. – № 4. – Донецк: НАН Украины, 2010. – С. 404 – 414.
3. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.
4. Литвинская О.С., Сальников И.И. Применение целевой функции в системе поддержки принятия решений при выборе варианта реализации алгоритма последовательной обработки данных // Искусственный интеллект: Научно-теоретический журнал, включен в ВАК ведущих рецензируемых журналов Украины. – 2009. – № 3. – Донецк : НАН Украины, 2009. – С. 115 – 125.
5. Литвинская О.С. Критерии выбора микроконтроллеров // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции. – 2007. – Пенза : ПДЗ, 2007. – С. 117 – 121.
6. Сальников И.И., Шмокин М.Н. Оптимизация параметров интеллектуальной телевизионной системы охраны на основе коэффициента сложности // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции. – 2008. – Пенза : ПГУ, 2008. – С. 168 – 171.

УДК 519.8

ББК 22.18

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СТАНДАРТА  
РАДИОИНТЕРФЕЙСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

© *О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *А.Е. Дудров, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

**DECISION ON THE CHOICE OF INTERFACE  
STANDARD FOR THE DESIGN OF INFORMATION  
TECHNOLOGY SYSTEM**

© *O.S. Litvinskaya, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *A.E. Dudrov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В работе рассмотрено применение положений теории принятия решения по выбору стандарта радиointерфейса при проектировании беспроводной информационной технической системы. Используется математическая модель целевого функционала, объединяющего исходные условия, цели решения, критерии и альтернативные варианты получаемого решения.

**Ключевые слова:** принятие решения, выбор, радиointерфейс, целевой функционал.

The paper examined the application of the theory of decision-making on the choice of air interface standards in the design of wireless information technology system. The mathematical model of the objective functional that combines initial conditions, objectives of decision, criteria and alternative variants of the decision received is used.

**Key words:** decision making, choice, radio interface, target functional.

E-mail: los@pgta.ru

**Введение**

Проектирование беспроводных информационных сетей передачи данных сопровождается использованием широкого спектра стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам беспроводной сети. Выбор этих средств при проектировании либо модернизации беспроводных сетей в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика. Обоснованный выбор радиointерфейса на стадии проектирования беспроводной сети имеет существенное значение, так как, в конечном счёте, определяет множество технических и экономических характеристик проектируемой ИТС.

Для решения задач многокритериального выбора в условиях неопределённости предложено множество математических методов [2]. Одни из них, например методы прикладной теории принятия решений, различаются способом представления и обработкой экспертных знаний. Подход к проблеме выбора основывается на отношениях порядка среди альтернатив (классичес-

кая модель принятия решений, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие некоторое число) или на отношениях включения (поведенческая модель, основанная на принадлежности альтернатив к некоторому множеству). Среди методов классического подхода наибольшей универсальностью и теоретической обоснованностью обладают методы теории полезности, методы теории нечётких множеств и метод анализа иерархий.

Анализируя рассмотренные методы, попробуем совместить достоинства методов теории полезности (возможность оценки любого количества альтернативных вариантов), теории нечётких множеств (учёт взаимных отношений критериев) и количественных методов в виде метода целевого функционала [1].

Функционал объединяет в себе критериальные функции и весомые параметры некоторой зависимостью. Метод характеризуется последовательностью шагов:

1. **Определяются параметры проектируемой ИТС**, выполняется их нормирование [3]. Все объективные параметры беспроводной сети разделим на три группы: информационные, параметры алгоритмов преобразования данных и параметры канала связи. К информационным параметрам отнесём следующие:

– время распространения пакета данных  $T_p$ , мс по сети от источника до приёмника. Нормированный коэффициент времени распространения пакетов будет иметь значение

$$K_T = T_{p,0} / T_{p,\max};$$

– размер пакета  $R_p$ , бит определяется типом используемого оборудования. Коэффициент размера пакета будет определяться отношением

$$K_R = R_p / R_{p,\max};$$

– количество отправленных пакетов  $N_{p,O}$  определяется экспериментально. Для определения коэффициентов информационных параметров разработано программное обеспечение (ПО), моделирующее работу радиосети для открытой местности малой плотности застройки. В результате моделирования выявлено среднестатистическое значение коэффициента отправленных пакетов, равное  $K_O = 0,75$ , остальная часть отправленных пакетов теряется;

– расчётное количество пакетов  $N_{p,R}$ , необходимое для передачи данных. Определяется исходя из объёма передаваемых данных  $N_D$  и максимального размера пакета  $R_{p,\max} = 64$  кбит:

$$N_{p,R} = \frac{N_D}{65536 - R_{p,\min}};$$

– количество принятых пакетов  $N_{p,I}$ , определяется экспериментально. Принятыми пакетами считаются пакеты доставленные и достоверные.

В ходе моделирования работы радиосети выявлено среднестатистическое значение коэффициента принятых пакетов  $K_I = 0,9$ . Если значение коэффициента ниже 0,5, то радиоканал работает на повторную передачу пакетов;

– коэффициент достоверности передачи данных

$$K_r = \frac{N_{p,O}}{N_{p,I}} \leq 1,$$

– коэффициент избыточности  $K_{изб}$ , бит. В работе использована относительная избыточность, которая будет определяться отношением количества избыточных разрядов к общему размеру пакета данных.

### Определяются параметры алгоритмов преобразования данных

В качестве алгоритмов преобразования данных следует учитывать алгоритмы шифрования, в частности их трудоёмкость. Эвристически разделим алгоритмы обработки сигналов на классы: класс *A* – базовый алгоритм БПФ, который реализуется программно и используется процедура “бабочки”. Трудоёмкость данного алгоритма примем равной  $K_{ал} = 1$ ; класс *B* – алгоритм широкополосной модуляции (*DSSS*). Он характеризуется совместной реализацией: аппаратной и программной. Аппаратно реализуется фильтрация сигнала и подстройка автоматической регулировки усиления. Программная реализация выполняет алгоритм *DSSS*-модуляции. Эвристически примем коэффициент  $K_{ал} = 0,8$ ; класс *C* – совместное использование классов *A* и *B*. Для этого случая примем  $K_{ал} = 1,2$ , так как дополнительную сложность программной реализации алгоритму добавляет подпрограмма выбора оптимума при падении вероятности доставки пакета ниже 50 %. При такой ситуации выполняется принудительный повтор отправки пакетов, т.е. один пакет отправляется сразу 2-3 раза, что ведёт за собой потерю скорости.

В качестве параметров сигналов выделены следующие: параметр, учитывающий условия эксплуатации  $K_{э}$ , параметр формирования выходных сигналов,  $K_{ch}$ , коэффициент отношения сигнал/шум  $K_{S/N}$ , параметр, учитывающий тип антенны и расположение приёмника относительно антенны. Рассчитывается как отношение текущего напряжения на антенне  $U_{ан}$  и минимально необходимое напряжение на антенне для приёма информации  $U_{ан, min}$ ,  $K_{ан} = U_{ан} / U_{ан, min}$ .

Нормированные параметры в виде безразмерных коэффициентов  $K_i$  составляют множество:  $K_i = \{K_T, K_R, K_O, K_I, K_r, K_{ал}, K_{ch}, K_{э}, K_{S/N}, K_{ан}\}$ .

2. Согласно методу выбора [1] **определяются аналитические зависимости параметров** и нормированных коэффициентов этих параметров. Аналитические выражения для каждого коэффициента  $K_i$  определяются экспертами. В результате были выявлены следующие зависимости:

– коэффициенты отправленных и принятых пакетов, используемые для определения оптимальной нагрузки сети, объединим в виде выражения

$$F_P = \frac{K_I}{K_O} \cdot K_R;$$

– выразим эффективный объём передаваемых данных выражением

$$D_{эфф} = N_{P,O} \cdot (R_P - R_{P,min}) \cdot N_{P,I};$$

– нагрузку на сеть передачи данных представим зависимостью

$$D_N = K_O \cdot K_R.$$

– совокупность параметров и коэффициентов, влияющих на передачу информационных сигналов, описывается выражением

$$F = \frac{K_I}{K_O} \cdot e^{\left(\frac{t}{T} \cdot \frac{D_{эфф}}{D_N} \cdot K_O \cdot \frac{K_T}{K_{ан}}\right)} \cdot K_{ch} \cdot |\lg K_{SIN}|, \quad (1)$$

где  $t$  – время передачи,  $T$  – время работы канала связи.

Целевой функционал, сформированный этими зависимостями, имеет следующий вид

$$F_{рез} = S_1 F_P + S_2 F K_{эфф} K_{ch} K_T, \quad (2)$$

где  $S_i$  – весовые коэффициенты. Коэффициент  $S_1$  определяет вес требований надёжности связи радиointерфейса, а коэффициент  $S_2$  определяет вес требования к скорости передачи данных. Суммарное значение параметров  $S_1$  и  $S_2$  не превышает 1.

**3. Принятие решения** для многокритериальной модели выполняется в два этапа. На первом этапе определяются условия эксплуатации, учитывается количество передаваемых пакетов. Формируется функция (1). Второй этап характеризуется выбором стандарта радиointерфейса по ЦФ (2). Область допустимых значений функционала делится на ряд интервалов, характеризующих различные стандарты радиointерфейсов. Вариант радиointерфейса определяется по попаданию значения ЦФ, рассчитанной с использованием реальных значений параметров, в интервал значений, соответствующих типу радиointерфейса.

**Заключение**

Разработанный метод позволяет количественно объединить знания экспертов и реализовать оптимальный выбор стандарта радиointерфейса при проектировании ИТС.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации № 02.120.11.3695-МК

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинская О.С., Сальников И.И. Структура взаимодействия условий принятия решения по выбору средств реализации проектируемой информационной технической системы // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2010: Международная научно-техническая конференция. Том 2. – Донецк : ИПИИ “Наука і освіта”, 2010. – С. 105 – 109.

2. Петровский А.Б. Теория принятия решения : Учеб. для студ. высш. учеб. зав. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

УК 519.9: 681.5

ББК 30

## МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

© *М.Н. Шмокин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

### THE METHOD OF A CHOICE OF IMPLEMENTER OF DIFFICULT INFORMATION TECHNICAL SYSTEM

© *M.N. Shmokin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Предложен метод выбора средства реализации информационной технической системы на основе функции выбора с учётом оптимальной сложности. Рассмотрен пример телевизионной технической системы охраны с использованием обобщённой характеристики – сложности, позволяющей перевести разнородные многопараметрические характеристики электронных устройств в обобщённую количественную величину.

**Ключевые слова:** сложность, телевизионная техническая система охраны.

The method of a choice of implementer ITS on the basis of function of a choice taking into account optimum complexity ITS is offered. In article the technique, allowing to optimize process of a choice of implementers of difficult information technical system (ITS) on an example of television technical system of protection (TVTSOP) with use of the generalized characteristic - the complexities is offered, allowing to translate diverse multiple parameter characteristics of electronic devices in the generalized quantitative size which would consider various variants of construction of system, variants of the software and the used devices realizing set functions of system.

**Key words:** the complexity, television technical system of protection.

E-mail: ShMNpenza@mail.ru

### Введение

В настоящее время широко используются телевизионные технические системы охраны (ТВТСО), обеспечивающие видеонаблюдение с непрерывной записью на магнитный носитель изображения контролируемого объекта в течение суток, недели, месяца, передавая информацию на центральный диспетчерский пульт охраны. Большое значение такие системы имеют в местах массового скопления людей. Эти системы не могут предупредить нарушение или террористический акт, а позволяют записать историю происшествия, для дальнейшего анализа и принятия мер. ТВ изображение имеет большой объём информации, которую необходимо использовать не только для обнаружения нарушителя, но и идентификации его как человека. Система видеонаблюдения позволяет быстро отреагировать и локализовать проникновение на объект.

В последнее время широко ведутся работы по созданию обзорно-поисковых систем, позволяющих вести, например, дистанционный обзор и визуальную идентификацию людей и средств автотранспорта. Здесь, с помощью цифровых технологий, посредством топологических преобразова-

ний, текущее изображение из реального пространства трансформируется в пространство эталона.

### 1. Сложность информационной технической системы

Часто сложными системами называют системы, которые нельзя корректно описать математически, либо потому что в системе имеется очень большое число элементов, неизвестным образом связанных друг с другом, либо неизвестна природа явлений, протекающих в системе.

Примером сложной ИТС может служить мобильная телевизионная техническая система охраны (ТВТСО), в состав которой должны входить следующие **основные блоки**: система сбора и обработки информации, устройства формирования радиоканала, телевизионные камеры.

Рассмотрев состав структурной схемы ТВТСО, основные технические характеристики, условия работы и эксплуатации системы определяют **многопараметрические и разнородные условия**, при которых необходимо спроектировать ТВТСО. Для формализации задачи выбора и обоснования средств и характеристик реализации проектируемой ТВТСО, конкретизации и использования количественного описания процесса обоснования выбора, необходимо ввести обобщённую характеристику системы, которая учитывала бы различные варианты построения системы, варианты программного обеспечения и используемые устройства, реализующие заданные функции системы. В качестве такой характеристики будем использовать **сложность информационной технической системы** –  $S_{ИТС}$ .

Введение понятия сложности  $S_{ИТС}$  обусловлено попыткой перевести разнородные количественные параметры электронных устройств, входящих в сложные ИТС, в некоторую обобщённую характеристику, имеющую количественную величину. Сложность является обобщённой характеристикой, имеющей признаки **субъективизма**. Она является связующим звеном между субъективными понятиями, которые ближе всего к экспертным оценкам, и количественными параметрами системы принятия решения, с которыми можно проводить преобразования и закладывать в алгоритм принятия решений в виде некоторой метрики. Всё множество проблем, решаемых методами экспертных оценок, можно разделить на два класса. К первому относятся те, в отношении которых имеется достаточное обеспечение информацией. При этом методы опроса и обработки основываются на использовании принципа “хорошего измерителя”, т.е. **эксперт** – качественный источник информации; а групповое мнение экспертов близко к истинному решению.

При обработке материалов коллективной экспертной оценки используются методы теории ранговой корреляции. Для количественной оценки степени согласованности мнений экспертов применяется коэффициент **конкордации**, который позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Его значение находится в пределах от 0 до 1;  $W = 0$  означает полную противоположность, а  $W = 1$  – полное совпадение ранжировок. Практически достоверность считается хорошей, если  $W = 0,7...0,8$ . Кроме метода экспертных оценок, могут быть использованы и другие методы.

На основе анализа технических характеристик электронных устройств предлагается сформировать их обобщённые количественные характеристики – сложности  $C_i$  и затем уже оперировать сложностями отдельных электронных устройств  $C_i$ , входящих в проектируемую ИТС с целью оптимизации её характеристик.

Отметим *основные принципы формирования сложности* электронных устройств  $C_i$ , входящих в проектируемую ИТС:

- сложность должна быть безразмерной величиной;
- сложность должна включать в себя основные технические параметры электронных устройств;
- зависимость сложности от технических параметров должна быть близка к прямо пропорциональной либо обратно пропорциональной;
- если значения некоторого параметра доминируют над другими, то следует использовать логарифмирование для сжатия диапазона изменения этого параметра.

Однако в некоторых случаях зависимость сложности от технических параметров является нелинейной и определяется структурно-функциональной организацией устройства.

Электронных устройств в ИТС большое количество и сравнить их по техническим характеристикам невозможно. С введением сложности  $C_i$  появляется возможность сравнения отдельных устройств между собой.

Получив для каждого электронного устройства сложность  $C_i$ , следует объединить их в обобщённую характеристику – сложность ИТС  $C_{ИТС}$ . Наиболее простым и удобным способом объединения сложностей  $C_i$  является суммирование  $C_i$  с весовыми коэффициентами  $q_i$ :

$$C_{ИТС} = \sum_{i=1}^n q_i C_i. \quad (1)$$

Весовые коэффициенты  $q_i$  либо выравнивают влияние сложностей отдельных электронных устройств, либо учитывают их приоритеты в общей сложности  $C_{ИТС}$ . Определение весовых коэффициентов  $q_i$  является не менее важной задачей, чем определение сложностей электронных устройств, входящих в ИТС.

## 2. Влияние сложности устройств на технические характеристики системы

Прежде чем определить сложность отдельных устройств, входящих в ИТС, требуется определить, как будут влиять основные технические характеристики системы на сложность  $C_{ИТС}$ . Разнообразные характеристики ТВТСО можно разделить на две части, которые противодействуют друг другу: увеличение значений части характеристик приводит к росту сложности системы  $C_{ИТС}$ , а для другой – к уменьшению  $C_{ИТС}$ . Характеристики, увеличение значений которых приводит к росту сложности системы: объём охраняемой зоны –  $Q_{оз}$ ; скорость передачи информации –  $V_I$ ; вероятность правильного обнаружения –  $P_{ПРАВ}$ .

Технические характеристики  $Q_{03}$ ,  $V_I$ ,  $P_{ПРАВ}$  назовём **информационными характеристиками системы**  $H_{ИТС}$ .

С другой стороны, при увеличении сложности системы наблюдается уменьшение таких характеристик ИТС, как время автономной работы  $T_{AP}$  и вероятность ложной тревоги  $P_{ЛТ}$ .

На рис. 1 представлены графики поведения технических характеристик системы в зависимости от сложности системы. Следует заметить, что реально технические характеристики влияют на сложность системы, являясь аргументом для сложности. Но для дальнейшего рассмотрения удобнее в качестве аргумента выбрать сложность системы, тогда как технические характеристики будут являться функцией сложности  $C_{ИТС}$ , что и показано на рис. 1.

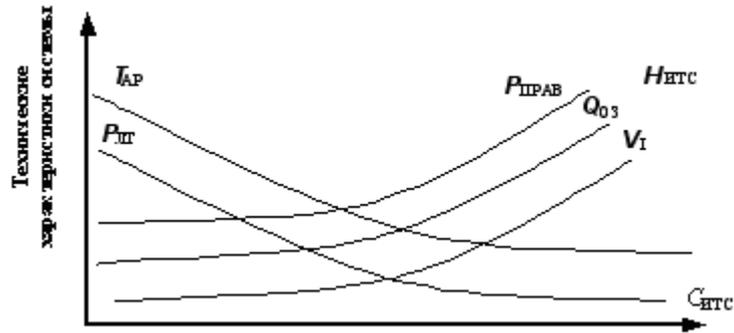


Рисунок 1 – Влияние сложности на характеристики системы

### 3. Функция выбора средства реализации ИТС

Для объективного решения задачи выбора средства реализации ТВТСО и обоснования этого выбора необходимо использовать количественную оценку характеристик ИТС, которые увязаны в некоторую *функцию выбора*.

Функция выбора средства реализации модели ИТС  $\beta_{ИТС}^{(M)}(C_{ИТС})$  определяет зависимость информационных характеристик системы  $H_{ИТС}(C_{ИТС})$  и времени автономной работы системы  $T_{AP}(C_{ИТС})$  от сложности системы и позволяет определить оптимальное значение сложности системы  $C_{ИТС.опт}$  при заданных параметрах устройств, входящих в ИТС.

Сформулируем требования к функции выбора:

- значения функции выбора  $\beta_{ИТС}^{(M)}(C_{ИТС})$  должны изменяться в пределах  $(0 \div 1)$ ;
- функция выбора должна иметь минимум.

Для формирования функции выбора используем *экспоненциальные зависимости* – растущую  $f(x) = e^x - 1$  и падающую  $f(x) = e^{-x}$ , которые в сумме дадут нам искомый вид функции выбора (рис. 2).

Предлагается следующий вид аналитической зависимости функции выбора средства реализации модели ИТС от сложности системы:

$$\beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(x) = e^{-K_1 x} + e^{K_2 K_3 x} - 1. \quad (2)$$

Аргументом функции выбора будет являться сложность ИТС  $x = C_{\text{ИТС}}$ , определяемая сложностью отдельных устройств. Кроме  $C_{\text{ИТС}}$ , в функцию выбора включены ряд коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$ , которые имеют приоритет или доминирующее воздействие на функцию выбора по сравнению со сложностью и с помощью которых будут учитываться ряд требований при проектировании ИТС.

В качестве коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  для (2) будем использовать следующие коэффициенты:

- коэффициент автономной работы  $K_{\text{АР}}$ , учитывающий ёмкость аккумулятора, потребляемую мощность и время автономной работы системы;
- коэффициент реального времени  $K_{\text{РВ}}$ , учитывающий быстродействие системы и изменяющийся от 1 (для ИТС, работающей в реальном времени) и до 0 при уменьшении быстродействия системы;
- коэффициент информационных возможностей системы  $K_{\text{ИВ}}$ , учитывающий объём охраняемой зоны, вероятность правильного обнаружения, скорость передачи информации по каналу связи ТВД с ССОИ.

Таким образом, широкий спектр параметров и характеристик ТВДСО делится на 4 группы:  $K_{\text{АР}}, K_{\text{РВ}}, K_{\text{ИВ}}$  и  $C_{\text{ИТС}}$ , которые являются аргументом для функции выбора. Функция выбора средства реализации модели информационной системы  $\beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(C_{\text{ИТС}})$  должна иметь минимальное значение, соответствующее оптимальному значению сложности системы  $C_{\text{ИТС.ОПТ}}$  при заданной ёмкости аккумулятора  $E_A$  (рис. 2).

Оптимальная сложность  $C_{\text{ИТС.ОПТ}}$  – это значение сложности ИТС при заданной ёмкости аккумуляторов  $E_A$ , когда достигается максимальное значение информационной характеристики  $H_{\text{ИС}}$  при максимальном значении  $T_{\text{АР}}$ .

Из рис. 2 следует, что для заданной ёмкости аккумулятора:

- при  $C_{\text{ИТС}} = C_{\text{ИТС.2}}$ ,  $\frac{d\beta_{\text{ИТС}}^{(M)}}{dC_{\text{ИТС}}} > 0$ , то есть не выполняется условие авто-

номной работы по времени;

- при  $C_{\text{ИТС}} = C_{\text{ИТС.1}}$ ,  $\frac{d\beta_{\text{ИТС}}^{(M)}}{dC_{\text{ИТС}}} < 0$ , то есть время автономной работы боль-

ше, чем требуется. Это резерв, при этом можно увеличить сложность, повысив информационные характеристики системы.

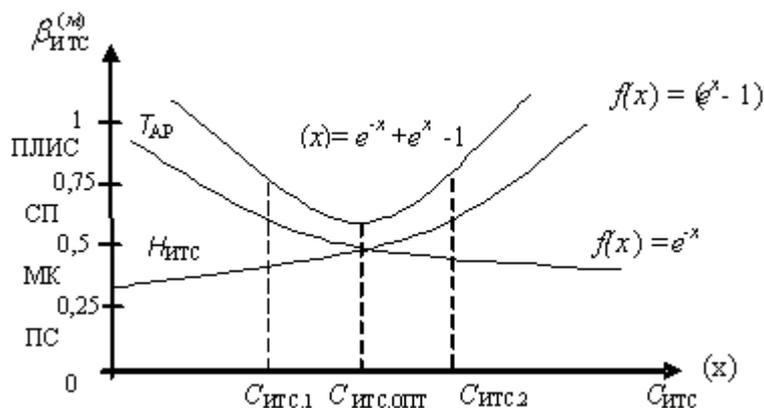


Рисунок 2 – Определение аналитического вида функции выбора

Для разработки метода выбора средства реализации выполним равномерное разделение диапазона значений функции выбора на 4 зоны, так как неизвестен приоритет средства реализации (рис. 2). Каждой зоне соответствует определённое средство реализации.

Поведение функции выбора должно зависеть от требований к информационной системе в следующем виде:

- требование по увеличению времени автономной работы, когда  $K_{AP}$  растёт, приводит к необходимости увеличивать ёмкость аккумуляторной батареи или уменьшать потребляемую мощность, то есть функция выбора должна падать и оптимальное значение должно попадать в область программных средств ПС;

- требование по увеличению быстродействия, когда  $K_{PB}$  растёт, наилучшим образом реализуется с помощью программируемой логики ПЛИС, то есть функция выбора должна расти и оптимальное значение должно попадать в область ПЛИС;

- требование по увеличению информационных возможностей, когда  $K_{IB}$  растёт, также наилучшим образом реализуется с помощью программируемой логики ПЛИС, то есть оптимальное значение должно попадать в область ПЛИС.

Объединим полученные результаты в общее выражение для функции выбора, общий вид которой представлен в виде формулы

$$\beta_{ИТС}^{(M)}(C_{ИТС}) = e^{-aC_{ИТС}K_{AP}} + e^{bC_{ИТС} \frac{K_{PB}}{K_{IB}}} - 1. \quad (3)$$

#### 4. Метод выбора средства реализации ИТС

Метод выбора средства реализации ИТС заключается в следующем:

- по конкретным значениям исходных параметров ИТС рассчитывается реальная сложность  $C_{ИТС}^{(P)}$  и по формуле (4) рассчитывается значение функции выбора  $\beta_{ИТС}^{(P)}$  для конкретной ИТС;

– попадание функции выбора  $\beta_{\text{ИТС}}^{(P)}$  в соответствующие зоны (2) даёт рекомендованные средства реализации ИТС. Средства реализации информационных преобразователей, входящих в ИТС, определим в виде следующего множества:  $\text{CPO} \{ \text{ПС}, \text{МК}, \text{СП}, \text{ПЛ} \}$ .

Первая зона для  $(0 \leq \beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(C_{\text{ИТС}}) < 0,25)$ , что соответствует программным средствам (ПС), которые требуют использования универсальной ЭВМ с необходимым программным обеспечением.

Вторая зона для  $(0,25 \leq \beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(C_{\text{ИТС}}) < 0,5)$  соответствует микроконтроллерам (МК).

Третья зона для  $(0,5 \leq \beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(C_{\text{ИТС}}) < 0,75)$  соответствует сигнальным процессорам (СП).

Четвертая зона для  $(0,75 \leq \beta_{\text{ИТС}}^{(M)}(C_{\text{ИТС}}) < 1,0)$ , что соответствует программируемой логике (ПЛ) или программируемым логическим интегральным схемам (ПЛИС), которые используются для аппаратной реализации функций ИТС.

Таким образом, в результате использования обобщающего параметра ИТС-сложности ( $C_{\text{ИТС}}$ ), связанного с техническими характеристиками ТВТСО, и увязки его оптимального значения, в некоторую функцию выбора  $\beta_{\text{ИТС}}^{(P)}$  предложен в общем виде метод выбора средств реализации информационной технической системы. Попадание значения функции выбора  $\beta_{\text{ИТС}}^{(P)}$  в соответствующие зоны модели ИТС даёт рекомендованные средства реализации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И. *Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений*. – М. : Физматлит, 2009.
2. Сальников И.И., Литвинская О.С., Шмокин М.Н. *Функции принятия решений в условиях разнородных параметров при проектировании информационных систем // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе : тезисы докл. Всеросс. конф. (Йошкар-Ола, 14-16 окт. 2007 г.)*. – Йошкар-Ола, 2007. – С. 197 – 201.
3. Сальников И.И., Шмокин М.Н. *Применение коэффициента сложности при оптимизации параметров информационных систем // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации : тезисы докл. VIII Междунар. конф. (Курск, 13-15 мая 2008 г.)*. – Курск, 2008. – С. 99 – 101.

---

# СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

---

---

УДК 004.942  
ББК 22

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© *А.Б. Андреев, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

## SOME ASPECTS OF THE DYNAMICS IN THE IMPLEMENTATION OF QUADRATIC FUNCTIONALS BASED ON THE METHOD OF INTEGRATING TRANSFORMATION

© *A.B. Andreev, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются некоторые вопросы динамики при реализации квадратичных функционалов на основе метода интегрирующего преобразования, а именно: идентификация указанного класса преобразователей информации как класса динамических систем автоматического регулирования и их динамические математические модели во временной области. Определены понятия двумерной весовой функции и двумерного принципа суперпозиции.

**Ключевые слова:** квадратичный функционал, метод интегрирующего преобразования, идентификация как объекта автоматического регулирования, динамическая модель, двумерная весовая функция.

The article discusses some issues of dynamics while implementing quadratic functionals by the method of integrating transformation; namely the identification of data processors class mentioned as a class of dynamical systems of automatic control and their dynamic mathematical models for time domain. The concepts of two-dimensional weighting function and a two-dimensional superposition principle are defined.

**Key words:** quadratic functional, method of integrating transformation, identification as an object of automatic control, dynamic model, two-dimensional weighting function.

E-mail: andreev@pgta.ru

### **Введение**

Интегрирующие преобразователи с квадратичной характеристикой преобразования (ИПКХ) нашли широкое распространение в различных устройствах. Их применение возможно для выполнения двух математических операций в реальном масштабе времени:

- произведение двух величин (измерение электрической мощности, энергии, авто- и взаимно корреляционной функций и др.);

- возведение в квадрат (измерение среднего квадратичного (действующего) значения, спектральной плотности мощности и др.).

Без ограничения общности можно утверждать, что типичная техническая реализация ИПКХ основана на прямом или косвенном использовании принципов импульсной модуляции [1, 2]. Основным содержанием процесса преобразования в таких ИПКХ является явная или неявная его реализация на основе двух линейных динамических каналов преобразования. При этом возможны два различных типа реализации ИПКХ:

*Первый тип* – результат преобразования первого канала используется для управления процессом преобразования во втором канале (последовательная модуляция). Примерами реализации могут служить устройства [3 – 6], причем выходная величина первого канала пропорциональна первой степени, а выходная величина второго канала – второй степени входного сигнала.

*Второй тип* – результат преобразования первого канала используется для управления процессом преобразования во втором канале и одновременно результат преобразования второго канала используется для управления процессом преобразования в первом канале (параллельная или перекрёстная модуляция). Примером реализации может служить устройство, описанное в источнике [7], причём выходные величины обоих каналов несут информацию о второй степени входного сигнала.

Выбор методов исследования динамических свойств ИПКХ будет определяться их отнесением к определённому классу динамических систем автоматического регулирования.

### 1. Идентификация ИПКХ как класса систем автоматического регулирования

Для идентификации класса, к которому относятся ИПКХ как системы автоматического регулирования, а следовательно, и выбора метода исследования их динамических свойств, определим состав спектральных составляющих в выходном сигнале ИПКХ при бигармоническом входном воздействии вида

$$x(t) = X_{m1} \sin \omega_1 t + X_{m2} \sin \omega_2 t. \quad (1)$$

Выбор тестового сигнала определился предсказуемостью ожидаемого результата. То есть если в спектре выходного сигнала будут лишь составляющие с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , то ИПКХ можно будет считать линейной системой автоматического регулирования со всеми вытекающими последствиями по выбору хорошо разработанного математического аппарата для анализа линейных динамических моделей. Если же в спектре выходного сигнала окажутся указанные частоты, а также их аддитивная композиция и удвоенное значение, то ИПКХ потребуют их отнесения к классу нелинейных систем автоматического регулирования.

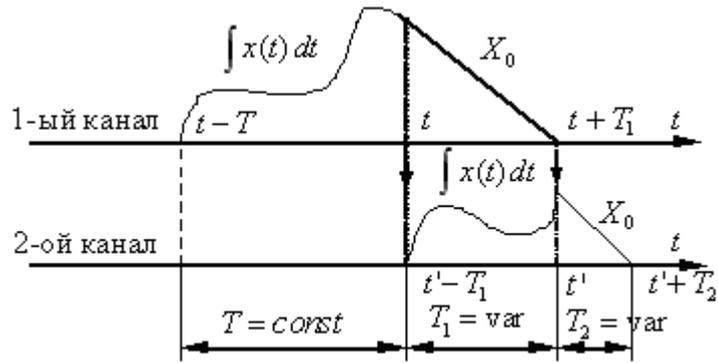


Рисунок 1

Идентификацию проведём на примере ИПКХ, который описан в работе [3]. В сущности, этот ИПКХ реализует широко известный принцип двухтактного интегрирования, повторенный дважды (рис. 1), и является типичным представителем ИПКХ первого типа (последовательная модуляция).

В соответствии с рис. 1 процессы преобразования в первом и втором каналах описываются соответственно соотношениями:

$$\begin{cases} \frac{1}{\tau} \int_{t-T}^t x(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+T_1} X_0 dt, \\ \frac{1}{\tau} \int_{t'-T}^{t'} x(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_{t'}^{t'+T_1} X_0 dt, \end{cases} \quad (2)$$

где  $t' = t + T_1$ .

Подставив выражение (1) в уравнения (2), сделав необходимые математические преобразования и разрешив полученные уравнения относительно интервалов времени  $T_1$  и  $T_2$ , являющиеся выходными величинами соответственно первого и второго каналов, получим:

$$T_1 = \frac{X_{m1} \sin(\omega_1 t - 0,5\omega_1 T)}{X_0} T \cdot \frac{\sin 0,5\omega_1 T}{0,5\omega_1 T} + \frac{X_{m2} \sin(\omega_2 t - 0,5\omega_2 T)}{X_0} T \cdot \frac{\sin 0,5\omega_2 T}{0,5\omega_2 T};$$

$$T_2 = \frac{X_{m1} \sin(\omega_1 t' - 0,5\omega_1 T_1)}{X_0} T_1 \cdot \frac{\sin 0,5\omega_1 T_1}{0,5\omega_1 T_1} + \frac{X_{m2} \sin(\omega_2 t' - 0,5\omega_2 T_1)}{X_0} T_1 \cdot \frac{\sin 0,5\omega_2 T_1}{0,5\omega_2 T_1}.$$

Подставим в выражение выходной величины второго канала, т.е. интервала времени  $T_2$ , в качестве множителя  $T_1$  его полученное выражение:

$$\begin{aligned}
 T_2 = & A_1 X_{m1}^2 \sin(\omega_1 t - 0,5\omega_1 T) \sin(\omega_1 t' - 0,5\omega_1 T_1) + \\
 & + A_2 X_{m1} X_{m2} \sin(\omega_2 t - 0,5\omega_2 T) \sin(\omega_1 t' - 0,5\omega_1 T_1) + \\
 & + A_3 X_{m1} X_{m2} \sin(\omega_1 t - 0,5\omega_1 T) \sin(\omega_2 t' - 0,5\omega_2 T_1) + \\
 & + A_4 X_{m2}^2 \sin(\omega_2 t - 0,5\omega_2 T) \sin(\omega_2 t' - 0,5\omega_2 T_1),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где величины

$$\begin{aligned}
 A_1 = k \frac{\sin 0,5\omega_1 T \sin 0,5\omega_1 T_1}{0,5\omega_1 T 0,5\omega_1 T_1}; \quad A_2 = k \frac{\sin 0,5\omega_2 T \sin 0,5\omega_1 T_1}{0,5\omega_2 T 0,5\omega_1 T_1}; \\
 A_3 = k \frac{\sin 0,5\omega_1 T \sin 0,5\omega_2 T_1}{0,5\omega_1 T 0,5\omega_2 T_1}; \quad A_4 = k \frac{\sin 0,5\omega_2 T \sin 0,5\omega_2 T_1}{0,5\omega_2 T 0,5\omega_2 T_1}
 \end{aligned}$$

являются функцией частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$  входного сигнала  $x(t)$ .

Если в выражении (3) произвести замену произведения синусов на их сумму по известной формуле тригонометрии, то в выражении выходной величины  $T_2$  появятся в явном виде спектральные составляющие с частотами 0 (постоянная составляющая),  $\omega_1 \pm \omega_2$ ;  $2\omega_1$ ;  $2\omega_2$ . Кроме того, в уравнение (3), представляющее собой функцию преобразования рассматриваемого ИПКХ, входит переменный параметр  $T_1 = \text{var}$ , который является функцией входного сигнала  $x(t)$ .

Аналогичные рассуждения несложно провести для ИПКХ второго типа (параллельная модуляция), однако эти преобразователи будут иметь уже два переменных параметра  $T_1$  и  $T_2$ .

Приведённые выкладки позволяют без ограничения общности утверждать, что все ИПКХ, независимо от особенностей их структурной реализации, должны быть в целом идентифицированы как импульсные нелинейные системы автоматического регулирования с переменными параметрами.

В связи с тем что методы исследования такого класса систем являются преимущественно численно-приближенными и не позволяющими получить результат в аналитическом виде, прибегнем к попытке построения динамических математических моделей ИПКХ во временной области.

## 2. Динамические модели ИПКХ во временной области

Остановимся на следующей математической модели ИПКХ. Представим результат преобразования ИПКХ как разность текущих значений функции скользящего интеграла от входной величины  $x(t)$  и той же функции, задержанной по времени на интервал, соответствующий длительности цикла преобразования  $T_2$  во втором канале, определяемый дискретизованной разностью текущих значений функции скользящего интеграла от входной величины  $x(t)$  и той же функции, задержанной по времени на интервал, соответствующий длительности цикла интегрирования  $T_1$  в первом канале. При-

чём для первого типа ИПКХ интервал времени  $T_1 = T = \text{const}$  формируется непосредственно самим первым каналом, а для второго типа интервал времени  $T_1$  определяется дискретизованной разностью текущего значения функции скользящего интеграла от входной величины  $x(t)$  и той же функции, задержанной на интервал времени  $T_2$ , соответствующий длительности цикла интегрирования входной величины  $x(t)$  во втором канале (2).

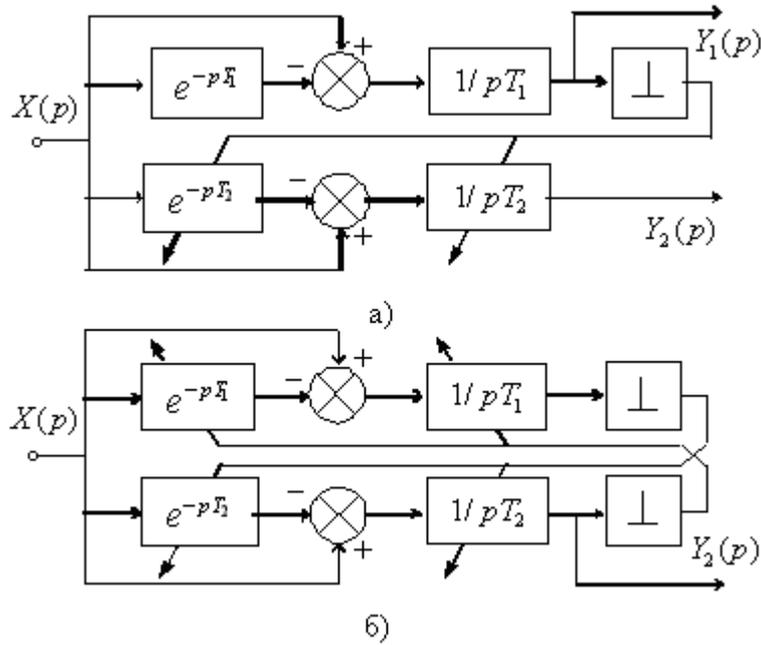


Рисунок 2

Иллюстрацией предложенной математической модели служат обобщённые структурные схемы, составленные из типовых динамических звеньев и представленные на рис. 2 (а – с последовательной модуляцией, б – с параллельной модуляцией). Особенностью этих схем является отсутствие нелинейного элемента в явном виде. Эффект нелинейности характеристики преобразования достигается за счёт управляющего воздействия (модуляции). По этой причине в ИПКХ отсутствует возможность выделения отдельно линейной и нелинейной части ИПКХ.

В связи с изложенным зависимость во временной области между выходной величиной  $y(t)$  и входной величиной  $x(t)$  для каждого момента времени представим в виде функционала

$$y(t) = \Phi[t; x(t_1), t_1 \leq t]. \quad (4)$$

Поскольку функционал вида (4), реализуемый в ИПКХ, является непрерывным, то в соответствии с [8] существует его разложение в ряд Воль-

terra. Тогда функционал (4) примет вид

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} g_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) d\tau, \quad (5)$$

где  $g_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$  – ядра Вольтерра  $n$ -го порядка.

Функциональное разложение (5) может быть получено лишь для ограниченного значения входного сигнала  $x(t)$  при условии [9]:

$$\|g_n(\tau)\| = \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} |g_n(\tau_1, \dots, \tau_n)| \prod_{i=1}^n d\tau_i < \infty. \quad (6)$$

Тогда в соответствии с выражением (5) и неравенством Шварца [10] можно записать:

$$\|y(t)\| \leq \sum_{n=1}^{\infty} \|g_n(\tau)\| \times \|x(t)\|^n, \quad (7)$$

где соответствующие нормы  $\|x(t)\|$  и  $\|y(t)\|$  выбираем из соображений ограниченности размера входного и выходного сигналов, т.е.

$$\begin{aligned} \|x(t)\| &= \sup |x(t)| \quad \forall -\infty < t < \infty; \\ \|y(t)\| &= \sup |y(t)| \quad \forall -\infty < t < \infty. \end{aligned}$$

В этом случае ряд, стоящий в правой части выражения (7), будет сходящимся, а устройства, удовлетворяющие условию (6) – устойчивыми. Для рассматриваемых ИПКХ функционал  $\Phi$  является квадратичным, т.е.  $n = 2$ . Тогда выражение (5) существенно упростится и в общем случае квадратичного преобразования примет вид

$$y(t) = \int_0^{\infty} g_1(\tau_1) x(t - \tau_1) d\tau_1 + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} g_2(\tau_1, \tau_2) x(t - \tau_1) x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2. \quad (8)$$

Выражение (8) показывает, что реакция нелинейной системы второго порядка должна содержать линейную составляющую (первое слагаемое) и нелинейную (квадратичную) составляющую.

Линейная составляющая

$$y_1(t) = \int_0^{\infty} g_1(\tau_1) x(t - \tau_1) d\tau_1 \quad (9)$$

является результатом обычной (одномерной) свёртки входного сигнала  $x(t)$  и ядра Вольтерра первого порядка  $g_1(\tau_1)$ . Это выражение совпадает с интегралом Дюамеля, определяющим отклик линейной системы с импульсной переходной функцией  $g_1(\tau_1)$ .

Нелинейную составляющую в выражении (8)

$$y_2(t) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} g_2(\tau_1, \tau_2) x(t - \tau_1) x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2, \quad (10)$$

видимо, можно назвать двумерной свёрткой входного сигнала  $x(t)$  и ядра Вольтерра второго порядка  $g_2(\tau_1, \tau_2)$ . В этом смысле ядро Вольтерра  $g_2(\tau_1, \tau_2)$  можно интерпретировать как двумерную весовую функцию, реализуемую в ИПКХ. Поскольку результат преобразования реальных ИПКХ пропорционален произведению  $x(t - \tau_1) x(t - \tau_2)$  и не содержит линейную составляющую (9) в качестве слагаемого, то выражение (8) фактически вырождается в выражение (10). Для выполнения условия физической реализуемости ИПКХ необходимо выполнение требования финитности функции  $g_2(\tau_1, \tau_2)$ , т.е.

$$g_2(\tau_1, \tau_2) = 0 \quad \forall \tau < 0.$$

Поэтому если учесть финитность функции  $g_2(\tau_1, \tau_2)$  на интервале интегрирования  $x(t)$ , то верхние пределы интегрирования в выражении (10) будут конечными, т.е. для ИПКХ выходная величина будет равна

$$y(t) = \int_0^{T_1} \int_0^{T_2} g_2(\tau_1, \tau_2) x(t - \tau_1) x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2,$$

где  $T_1$  – время интегрирования  $x(t)$  первым каналом;

$T_2$  – время интегрирования  $x(t)$  вторым каналом.

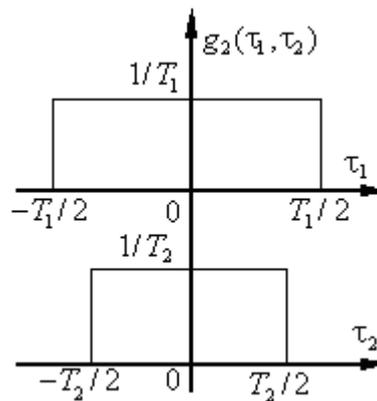


Рисунок 3

Таким образом, в ИПКХ с математической точки зрения реализуется принцип скользящего интегрирования по Харкевичу [11] с двумерной весо-

вой функцией  $g_2(\tau_1, \tau_2)$ , представленной на рис. 3, где она центрирована относительно начала координат по осям  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

### Выводы

Таким образом, с одной стороны, ИПКХ в целом однозначно представляют собой импульсные нелинейные системы автоматического регулирования с переменными параметрами. С другой стороны, в ИПКХ нелинейный функционал реализуется в двух линейных каналах, выходные величины которых модулируют параметры другого канала, что позволяет ввести понятие двумерной весовой функции при реализации скользящего интеграла по Харкевичу. Как следствие этого можно рассматривать введение для рассматриваемого класса систем двумерных АЧХ (см. величины  $A_1 - A_4$  в выражении (3)). Основываясь на выражении (3), можно установить для ИПКХ двумерный принцип суперпозиции: выходная величина представляет собой сумму всевозможных пар произведений каждого из пар слагаемых входной величины, взвешенных соотношениями  $A_1 - A_4$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.Б., Фролов В.М. Интегрирующие уравновешивающие преобразователи с квадратичной характеристикой // Измерения, контроль, автоматизация : Научн.-техн. реф. сб. – М., 1980. – Вып. 5-6. – С. 3 – 11.
2. Андреев А.Б. Принципы построения функциональных интегрирующих преобразователей // Методы и средства аналого-цифрового преобразования параметров электрических сигналов и цепей : Тез. докл. II Всесоюзной научн.-техн. конф. / Под ред. д.т.н., проф. В.М. Шляндина. – М., 1981. – С. 47 – 49.
3. Burton C.H., Weir K.G., Bowden G.J. Linear and nonlinear A/D, D/A, A/A conversions using the dual-slope principle. – IEEE Trans. Instrum. and meas., 1975, 24, no 3.
4. Циделко В.Д., Кузнецов В.И., Иванов Б.Р. А. с. 557623 (СССР). Способ измерения действующего значения напряжения инфранизкой частоты. – БИ, 1974, № 39.
5. Малыгина Н.В. Метод построения цифровых ваттметров постоянного и переменного тока // Цифровая электроизмерительная техника. – 1966. – Ч. II. – С. 24 – 29.
6. Белов В.М., Собстель Г.М. А. с. 235847 (СССР). Измерительный преобразователь напряжения в частоту следования импульсов. – БИ, 1969, № 6.
7. Шахов Э.К., Шляндин В.М., Овчинников В.Г. А. с. 323789 (СССР). Аналого-цифровой преобразователь. – БИ, 1972, № 1.
8. Schetzen M. Nonlinear System Modeling Based on the Wiener Theory. – Proceedings of the IEEE, 1981, v. 69, no 12, p. 1557-1573.
9. Дискретные нелинейные системы / А.Д. Аверина и др.; Под ред. Ю.И. Топчеева. – М. : Машиностроение, 1982.
10. Балакришнан А.В. Прикладной функциональный анализ : Пер. с англ. – М. : Наука, 1980.
11. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М. : Физматгиз, 1962.

УДК 004.021

ББК 30

**АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОМОРФИЗМА  
СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ**

© *В.В. Пикулин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *Ю.Е. Усачёв, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

**RECOGNISING ALGORITHM OF THE ISOMORPHISM OF  
SEMANTIC NETWORKS FOR COMPARISONS OF DOCUMENTS**

© *V.V. Pikulin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *Y.E. Usachev, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены вопросы сопоставления текста документов на основе алгоритма распознавания изоморфизма семантических сетей, являющихся моделью текста.

**Ключевые слова:** семантика, модель, изоморфизм, алгоритм.

The article considers comparing documents texts on the basis of recognising algorithm for isomorphism of the semantic networks which are the texts model.

**Key words:** semantics, model, isomorphism, algorithm.

E-mail: [pvv@pgta.ru](mailto:pvv@pgta.ru)

Задача определения семантической близости документов или групп данных актуальна для различных предметных областей: поиск информации в сети Интернет, сравнение смыслового содержания требований образовательных стандартов и программ по дисциплинам и др. [1 – 3]. В настоящее время разработаны методы и реализующие их программные средства, позволяющие извлекать знания из документов, представленных в текстовом виде [1 – 2]. Их использование позволяет автоматизировать решение имеющей практическое значение задачи определения семантической близости документов. Однако актуальной является задача создания программных средств, позволяющих сопоставлять смысловое содержание документов с выделением общих и различных терминов и понятий заданной предметной области. Одним из вариантов решения задачи является распознавание изоморфизма структурных моделей текстов. Задача распознавания изоморфизма графов в общем случае относится к классу *NP*-полных [4], поэтому решение этой задачи в общем виде на графах такой размерности неприемлемо по временным затратам. Однако для частных случаев возможно применение эвристических алгоритмов, имеющих полиномиальную временную сложность и, следовательно, позволяющих получить результат за приемлемое время.

Для этого необходимо проанализировать свойства графовых моделей текста, учёт которых позволит разработать алгоритм распознавания изоморфизма графов, представляющих сопоставляемые документы.

Введем обозначения:

1)  $G(E, V)$ ,  $H(X, Y)$  – ориентированные графы, представляющие документы  $D_1$  и  $D_2$  соответственно,  $E$  и  $X$  – множество вершин, представляющие множество понятий;

2)  $\mu(e_i)$ ,  $\mu(x_j)$  – метки вершин  $e_i$  и  $x_j$ , соответствующие  $i$ -му и  $j$ -му понятиям в документах  $D_1$  и  $D_2$  соответственно;  $e_i \in E$ ,  $x_j \in X$ ; если для каких-либо понятий (терминов) установлены синонимы, то для соответствующих вершин должны использоваться множества меток  $M(e_i) = \{\mu_1(e_i), \mu_2(e_i), \dots\}$ ;

3)  $p(e_i)$  – вес вершины  $e_i$  (равен оценке степени значимости  $i$ -го понятия для документа или предметной области, или темы  $D_1$ );

4)  $\gamma_{ij}$  – вес ребра, инцидентного вершинам  $e_i$  и  $e_j$  (равен “силе семантической связи”  $i$ -го и  $j$ -го понятий в  $D_1$ );

5)  $\rho(e_i)$  – степень вершины  $e_i$ .

Правила построения графа  $G(E, V)$ , семантической сети:

1) каждое понятие (термин) предметной области представляется вершиной  $e_i \in E$ ;

2) две вершины  $e_i$  и  $e_j$  соединяются дугой  $(e_i, e_j)$ , если понятие  $j$  используется для определения смыслового содержания понятия  $i$  (дуга направлена от  $e_i$  к  $e_j$ );

3) из вершины  $e_i$ , соответствующей определённому понятию, должны исходить более одной дуги к вершинам, соответствующим определяющим понятиям;

4) каждой вершине  $e_i \in E$  ставится в соответствие метка  $\mu(e_i)$  или множество меток  $M(e_i) = \{\mu_1(e_i), \mu_2(e_i), \dots\}$ .

Полученный граф  $G(E, V)$  обладает следующими свойствами:

1) граф является ориентированным;

2) в графе отсутствуют кратные рёбра (дуги);

3) наличие множества вершин  $E_0 \subset E$ , инцидентных только исходящим дугам;  $E_0$  назовём “множеством корневых вершин”; каждая из вершин  $e_{0,i} \in E_0$  представляет понятие верхнего уровня в заданной теме;

4) наличие множества вершин  $E_H \subset E$ , инцидентных только входящим дугам;  $E_H$  назовём «множеством нижнего уровня»;

5) любая вершина  $e_i \notin E_0$  &  $e_i \notin E_H$  инцидентна входящим и исходящим дугам;

6) из любой  $e_{0,i} \in E_0$  существует путь к подмножеству вершин  $E_{H,i} \subseteq E_H$ :

$$\diamond e_{0,i} \diamond E_0 \diamond E_{H,i} \diamond E_H \mid |E_{H,i}| > 1;$$

7) граф может быть связным или несвязным (состоять из нескольких компонент связности  $G_1, G_2, \dots, G_n$ ;  $\bigcap_{i=1}^n G_i = \emptyset$ ;  $\bigcup_{i=1}^n G_i = G$ ).

Задача анализа семантического соответствия документов (тем)  $D_1$  и  $D_2$  сводится к решению следующих задач:

1) определение изоморфизма графов  $G$  и  $H$  без учёта значений  $\mu(e_i)$ ,  $\mu(x_j)$ ,  $\gamma_{ij}$  для всех  $e_0 \in E$  и  $x_j \in X$  (если  $G \cong H$ , то все рассматриваемые понятия в  $D_1$  и  $D_2$  идентичны друг другу; при этом не учитываются степени важности понятий для рассматриваемой предметной области);

2) определение изоморфизма графов  $G$  и  $H$  с учётом значений  $\mu(e_i)$ ,  $\mu(x_j)$ ,  $\gamma_{ij}$  (если  $G \cong H$ , то все рассматриваемые понятия в  $D_1$  и  $D_2$  идентичны друг другу с учётом их степени важности);

3) проверка условия  $G \subset H$  или  $H \subset G$  с учётом или без учёта значений  $\mu(e_i)$ ,  $\mu(x_j)$ ,  $\gamma_{ij}$  (проверка условия, является ли один из графов подграфом другого графа; интерпретация результатов проверки указанных условий дана ниже);

4) проверка наличия изоморфных подграфов  $G_i \cong H_j$ , где  $G_i \subset G$  &  $H_j \subset H$ ; при этом имеет смысл рассматривать связные подграфы, представляющие отдельные понятия различной степени сложности.

Поскольку модели текстов, составленные по указанным выше правилам, обладают перечисленными свойствами, то для сопоставления текстов двух документов может использоваться алгоритм анализа изоморфизма графов типа “семантическая сеть” на основе так называемого “волнового алгоритма”, основными процедурами которого являются:

1) определение (назначение) источника волны на графе (в данном случае – это вершина из “множества корневых вершин”  $e_{0,i} \in E_0$ ); выбранная вершина составляет предыдущий фронт волны на графе  $E_H$ ;

2) определение множества вершин, смежных с  $E_H$  (следующего фронта  $E_C$ );

3) выполнение операций с вершинами  $e_i \diamond E_C$ ;

4) замена  $E_H$  на  $E_C$  и переход к п. 2.

Условия окончания определяются исходя из целей решаемой задачи (например, достижение определённой вершины).

1. Формирование семантических сетей – графов  $G(E, V)$  и  $H(X, Y)$  по определённым выше правилам на основе заданного состава порождающих понятий (рисунок); процесс может выполняться, например, с использованием программного средства TextAnalyst [2].

2. Если условие  $\mu(e_0) = \mu(x_0)$  выполняется, то проверяются необходимые условия изоморфизма:  $|E| = |X|$ ;  $|V| = |Y|$ ;  $|R(E)_i| = |R(X)_i|$  – мощности подмножеств вершин с одинаковыми степенями должны быть равны; если условия выполняются, то перейти к п. 4, иначе перейти к анализу частичного изоморфизма (выделению изоморфных подграфов, см. задачу № 4).

3. Далее выполняется сопоставление структуры графов  $G$  и  $H$  на основе “волнового алгоритма”:

- цикл 1 используется для “перемещения” по множествам вершин, составляющих уровни семантической сети;

- цикл 2 обеспечивает перебор вершин множества  $E_C$  – очередного “фронта” в графе  $G$ ;

- цикл 3 обеспечивает поиск в  $X_C$  вершины, удовлетворяющей условию  $\mu(e_i) = \mu(x_j)$ ; если такая вершина найдена, то в массив результатов записывается обозначение пары вершин  $I := (e_i, x_j)$ , иначе – информация об отсутствии для  $e_i$  соответствующей вершины в  $X_C$ .

4. Вывод результатов (с выполненной интерпретацией или без неё) может выполняться в соответствии с таблицей 1.

В алгоритме не указан внешний (по отношению к циклу 1) цикл по множеству корневых вершин (т.е. рассмотрен вариант для  $|E| = 1$  и  $|X| = 1$ ).

Таблица 1

Понятия (термины) $D_1$	Совпадение	Понятия (термины) $D_2$
$e_0 e_1 e_{11}$	+	$x_0 x_2 x_{21}$
$e_0 e_2 e_{21}$	+	$x_0 x_1 x_{12}$
$e_0 e_1 e_{12}$	-	

Разработка программного обеспечения на основе предложенного алгоритма позволит создать средства для автоматизации процессов сопостав-



### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин Н. Технологии извлечения знаний из текста / Н. Ильин, С. Киселёв, С. Танков, В. Рябышкин // *Открытые системы*. – 2006. – № 6.
2. Харламов А.А., Ермаков А.Е., Кузнецов Д.М. *TextAnalyst* – комплексный нейросетевой анализатор текстовой информации // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 1998. – № 1. – С. 32 – 36.
3. Пикулин В.В. Разработка методики формализованного анализа требований к специалистам и содержания образовательных программ / В.В. Пикулин, Ю.Е. Усачёв, Е.Н. Яшина // *Вестник Воронежского ГТУ*. – 2011. – Т. 7, № 8. – С. 137 – 141.
4. Ахо А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. – М. : Мир, 1979. – 536 с.

УДК: 621.396

ББК: 34

### СТРУКТУРА ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ ОБЗОРНЫХ СИСТЕМ

- © В.А. Кочкин, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)
- © Ю.Ф. Кутаев, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)
- © Е.А. Рыбина, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)

### STRUCTURE OF THE LASER-LOCATION REVIEW SYSTEM

- © V.A. Kochkin, Federal State Unitary Enterprise «NPO Astrophysics»  
(Moscow, Russia)
- © Y.F. Kutayev, Federal State Unitary Enterprise «NPO Astrophysics»  
(Moscow, Russia)
- © E.A. Rybina, Federal State Unitary Enterprise «NPO Astrophysics»  
(Moscow, Russia)

Статья посвящена обзорным лазерным локационным системам. Отмечается, что основной технической характеристикой таких систем является энергетический потенциал, определяемый сочетанием пороговой чувствительности фотоприёмных устройств, мощности и направленности лазерного излучения.

**Ключевые слова:** лазерная локационная система, энергетический потенциал, обзор пространства, матричный фотоприёмник.

Article is devoted to viewing laser radar system. It is noted that the main technical characteristics of such systems is the energy potential defined by a combination of threshold sensitivity of the photodetector, the power and direction of the laser radiation.

**Key words:** laser radar system, the energy potential, a review of the space, the matrix photodetector.

E-mail: bak-1960@mail.ru

### Введение

Создание высокопроизводительных оптико-электронных систем обзора в настоящее время актуально для разработки оптических и лазерных локационных систем (ЛЛС).

Ключевой технической характеристикой ЛЛС, во многом определяющей их предельные возможности по обнаружению объектов, является энергетический потенциал, определяемый сочетанием пороговой чувствительности используемых фотоприёмных устройств, мощности и направленности лазерного излучения (ЛИ). Одновременно накладываются временные ограничения, связанные с требованиями конечного времени обзора сектора ответственности ЛЛС.

### Обзор пространства

Для определения принципов обзора пространства в высокоточных ЛЛС необходимо решение нелинейной задачи оптимизации.

Ограничивающими факторами при решении задачи оптимизации являются время обзора  $T_{ОБЗ}$ , размер сектора обзора  $\Omega_{ОБЗ} = \theta_{ГН} \times \theta_{ВН}$ , максимальная наклонная дальность обнаружения  $D_{МАХ}$ .

Из требуемого времени обзора и максимальной тактовой частоты обзора  $f_{Л} \geq \left( \frac{2D_{МАХ}}{c} + T_{СКЛ} \right)^{-1}$ , определяемой величиной  $D_{МАХ}$  и временем  $T_{СКЛ}$  переключения направления оси диаграммы направленности ЛИ, имеем телесный угол диаграммы направленности ЛИ:

$$\Omega_{ЛИ} = \Omega_{ОБЗ} / (T_{ОБЗ} \cdot f_{Л}). \quad (1)$$

Сравнение величины  $\sqrt{\Omega_{ЛИ}}$ , определяющей точность определения координат обнаруженного объекта, с предъявляемыми требованиями  $\omega_0$  определяет выбор типа фотоприёмного устройства (ФПУ).

При  $\sqrt{\Omega_{ЛИ}} > \omega_0$  необходимо использовать многоканальное ФПУ (мозаичного или матричного типа).

### Сравнение матричных и мозаичных фотоприёмных устройств

Использование матричного ФПУ ограничено по следующим причинам:

1) без включения дополнительных устройств дальнометрирования не обеспечивается измерение наклонной дальности до объекта;

2) одновременный подсвет всего мгновенного поля зрения ЛЛС, соответствующего  $N = \Omega_{ЛИ} / \omega_0^2$  элементов разложения (э.р.) ФПУ в то же количество раз снижает при тех же энергетических параметрах лазера энергетический потенциал ЛЛС;

3) изменение на несколько порядков отражённого от объекта ЛИ в диапазоне дальностей, учёт флуктуаций интенсивности за счёт турбулентности атмосферы приводит к неоднозначности выбора порога обнаружения.

Использование мозаичного ФПУ позволяет устранить два из вышеперечисленных факторов (1 и 3), но применение мозаичного ФПУ с большим количеством независимых каналов приводит к большим аппаратным затратам из-за необходимости одновременного определения дальности в  $N$  каналах.

Максимальный энергетический потенциал ЛЛС обеспечивается при выполнении условия  $\sqrt{\Omega_{ЛЛ}} \leq \omega_0$ , когда может быть использовано одноэлементное ФПУ.

Использование одноэлементного фотоприёмника предполагает применение локационного лазера с максимальной частотой генерации импульсов излучения  $f_{Л}$ . При этом частота сканирования ЛЛ для данного варианта построения ЛЛС обзора максимальна для рассмотренных вариантов построения ФПУ.

Максимизация энергетического потенциала требует использования ФПУ с максимально достижимой чувствительностью, что обуславливает преимущественный выбор в качестве элементной базы ФПУ лавинных фотодиодов (ЛФД), устройства обработки зарегистрированных сигналов которых известны. Максимальная частота сканирования  $f_{ск.л}$  обеспечивается при использовании в качестве сканирующего устройства акустооптического дефлектора.

Конкретный выбор типа используемого матричного ФПУ зависит от требуемых значений пороговой чувствительности, и для ЛЛС обзора, функционирующих в сравнительно широких полях, обычно применяются матричные ФПУ на базе ПЗС-структур с предварительным усилением принимаемого сигнала в ЭОП. Для снижения величины помехи обратного рассеяния и уменьшения влияния фоновой компоненты принимаемого необходимо использование временного стробирования светового потока, преимущественно в усилительных каскадах ЭОП.

При использовании мозаичных и одноэлементных ФПУ принятие решения по обнаружению объекта осуществляется посредством параллельной независимой обработки зарегистрированных реализаций принимаемого оптического сигнала. Использование матричного ФПУ требует пространственной обработки зарегистрированных изображений фрагмента сектора обзора, заключающейся в их противошумовой фильтрации, контрастировании, бинаризации с адаптивным порогом и последующей сегментации. Алгоритм выбора порога бинаризации существенно зависит от вида фоновой обстановки.

Конкретный выбор принципа построения ЛЛС обзора преимущественно определяется комплексом предъявляемых технических характеристик.

**УДК: 621.327**

**ББК: 34**

**МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЁТА ОПТИМАЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ  
УСТАНОВКИ ВИДЕОКАМЕР В СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА**

© *В.А. Борисов, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

**MODEL FOR CALCULATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF  
CAMERAS INSTALLATION IN PERIMETER DEFENCE SYSTEMS**

© *V.A. Borisov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрена модель для расчёта параметров установки видеокамер в системах охраны на базе использования специализированных программ VideoCAD или CCTV Design Tool. Определён ряд параметров и ограничений, оказывающих наибольшее влияние на работу системы.

**Ключевые слова:** видеокамеры, системы охраны, зона обзора.

In this paper we consider a model for calculating the parameters of video cameras installing in protection systems based on the use of specialized software VideoCAD or CCTV Design Tool. We determine a number of parameters and constraints that have the greatest impact on the system performance.

**Key words:** cameras, security systems, field of view.

E-mail: grommet@mail.ru

**Введение**

В процессе проектирования телевизионных систем инженерам приходится тратить много времени для расчёта фокусных расстояний объектов и правильных мест размещения видеокамер для получения необходимого изображения на экранах мониторов. Задача усложняется многократно, когда требуется выбрать оптимальное взаимное положение нескольких камер или одной видеокамерой решать одновременно несколько задач. Кроме разрешающей способности видеокамеры, приходится учитывать множество других параметров, таких как фокусное расстояние объектива, высота и угол установки видеокамеры, наличие “мёртвых” зон, стоимость системы, надёжность...

Решаются эти задачи по-разному. При этом возможен скрупулезный расчёт зон обзора для нескольких высот и фокусных расстояний объектива каждой камеры с помощью самостоятельно выведенных или взятых из руководящих документов формул, а затем перемещение и комбинирование полученных шаблонов. Возможен подход, когда на планах рисуются лишь горизонтальные углы из паспортов объективов.

Зачастую вообще игнорируются расчёты из-за их сложности и трудоёмкости и планируется в процессе монтажных работ подобрать нужные параметры практически.

### Использование специализированных программ

В настоящее время самым эффективным способом проектирования систем видеонаблюдения является использование специализированных программ, например VideoCAD или CCTV Design Tool. На рис. 1 показаны криволинейные зоны охраны и пример использования видеокамер с различной зоной обзора.

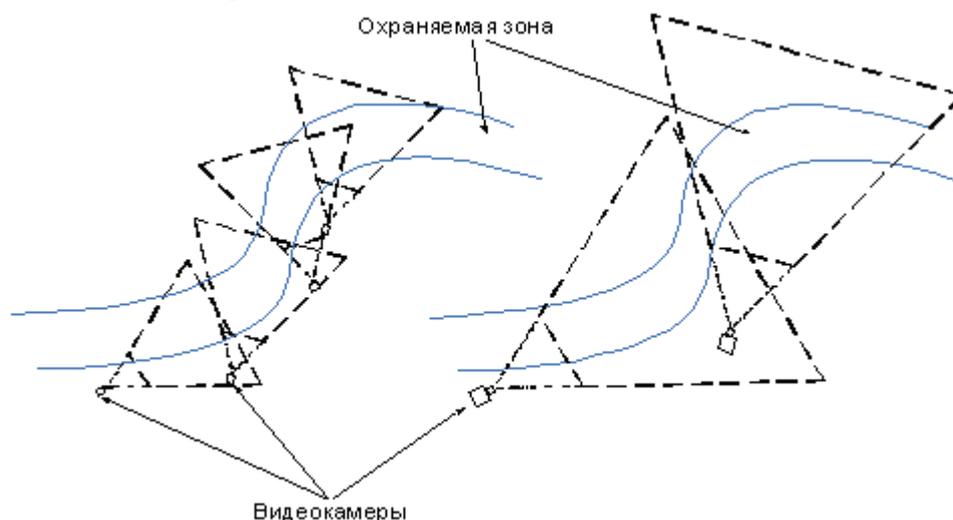


Рисунок 1 – Пример использования видеокамер с различной зоной обзора

В состав подобных программ входят: графический калькулятор зон обзора видеокамер, учитывающий высоту установки камеры, калькулятор объективов (расчёт фокусного расстояния объективов), калькулятор разрешения камер, а также калькулятор для оценки сетевого трафика и места на диске (калькулятор IP-камер). При проектировании системы, план помещения или карта местности, в форматах JPEG/BMP, загружается в программу, после чего проектировщик вручную расставляет видеокамеры, а программа позволяет моделировать изображение, которое может быть получено при заданной конфигурации камеры. На рис. 2 показан пример интерфейса подобной программы.

Таким образом, использование подобных программ помогает получить представления о возможной конфигурации системы, но оптимизация параметров системы не объективна, зависит от опыта и интуиции разработчика системы видеонаблюдения. Упростить труд разработчиков поможет математическая модель системы, способная рассчитать оптимальные параметры установки видеокамеры.

**Математическая модель системы.** В системах технического зрения, при охране периметра, информативность изображения более важна, чем эстетическое восприятие, поэтому для эффективной работы системы важно, чтобы проекция охраняемой зоны занимала большую часть растра. Нижний край изображения должен быть близок к началу участка охраняемой зоны, а верхний край изображения не должен подниматься намного выше линии горизонта.

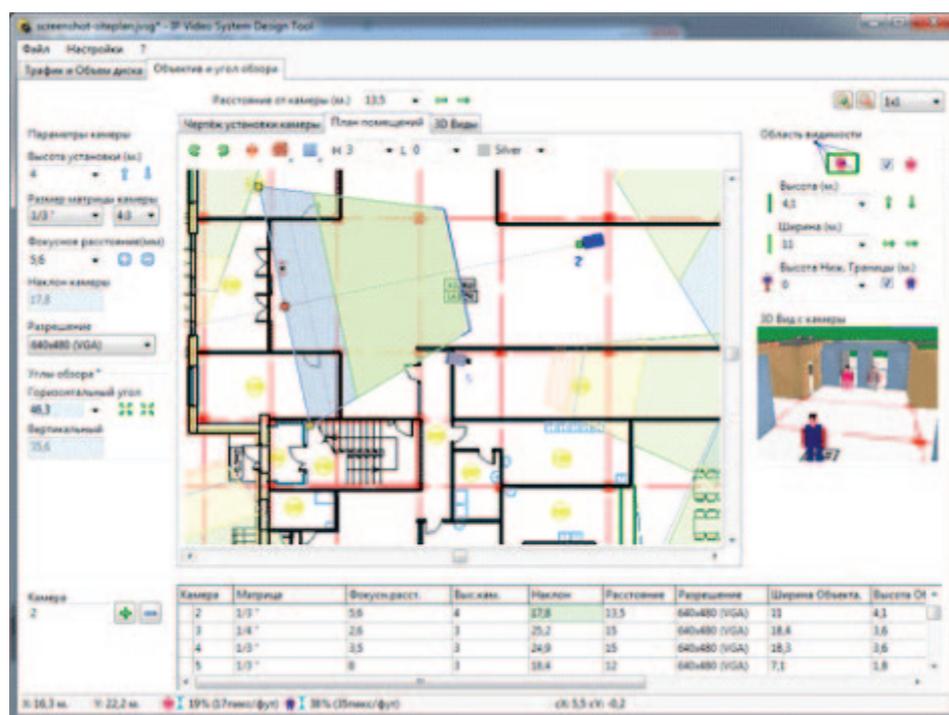


Рисунок 2 – Интерфейс программы IP Video System Design Tool

На рис. 3 показан пример установки видеокamеры. Видеокamera установлена на высоте  $h$  над плоскостью охраняемой поверхности и под углом  $\beta$  к восстановленному к поверхности перпендикуляру. На охраняемой плоскости образуется область (заштрихованная область), на которой возможно определение нарушения.

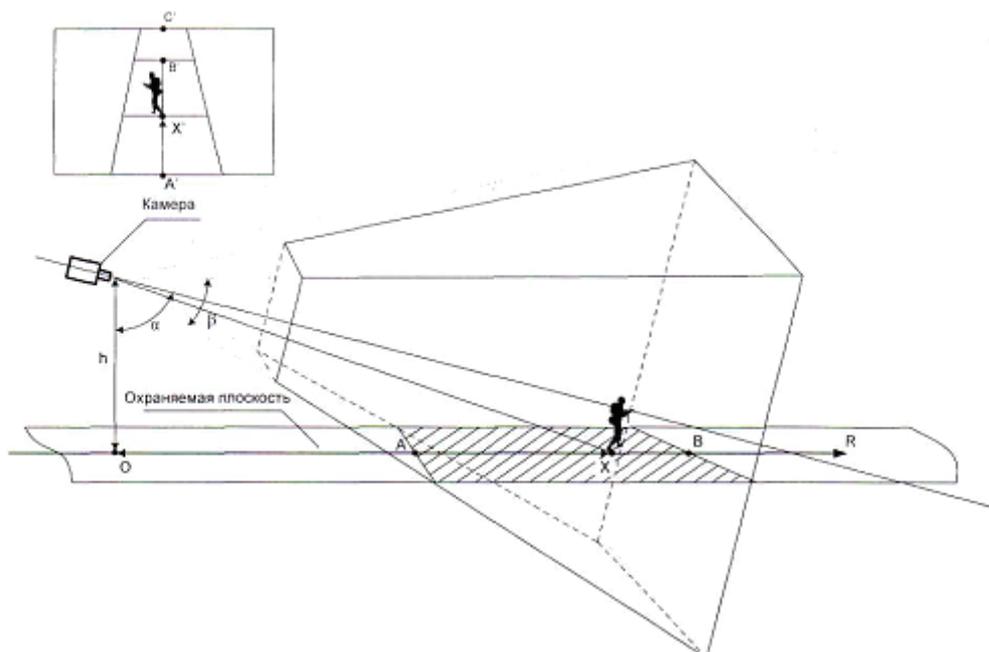


Рисунок 3 – Пример установки видеокamеры

На рис. 3:  $R_{AB}$  – участок охраняемой зоны, попадающий в обзор видеокамеры;  $A'C'$  – соответствует матрице видеокамеры;  $R_{OX}$  – расстояние от места установки видеокамеры до нарушителя;  $h$  – высота установки видеокамеры;  $\alpha$  – угол установки видеокамеры;  $\beta$  – угол обзора видеокамеры по вертикали. Точка  $C'$  соответствует краю матрицы видеокамеры.

Можно выделить ряд параметров и ограничений, оказывающих наибольшее влияние на работу системы.

**Фокусное расстояние.** Фокусное расстояние объектива указывается в миллиметрах и при прочих равных условиях определяет угол зрения. Более широкий угол обеспечивается меньшим фокусным расстоянием. И, наоборот, чем фокусное расстояние больше, тем меньше угол обзора объектива. Нормальный же угол зрения ТВ камеры эквивалентен углу зрения человека, при этом объектив имеет фокусное расстояние, пропорциональное размеру диагонали матрицы ПЗС. Исходя из вышесказанного, объективы принято делить на нормальные, короткофокусные (широкоугольные), длиннофокусные (телеобъективы). В технических характеристиках видеокамер часто указан угол обзора.

**Угол установки камеры.** Один из параметров, влияющих на протяжённость зоны обзора – это угол установки камеры. Наиболее удобно за угол установки камеры принять угол  $\beta$  между вертикалью от видеокамеры к плоскости и линией, проходящей через центр проекции (рис. 4). Этот угол можно зафиксировать жёстким креплением камеры на штативе. Как показано на рисунке, при одинаковом фокусном расстоянии, расстояние  $R_{AC}$  увеличивается с увеличением угла  $\alpha$ .

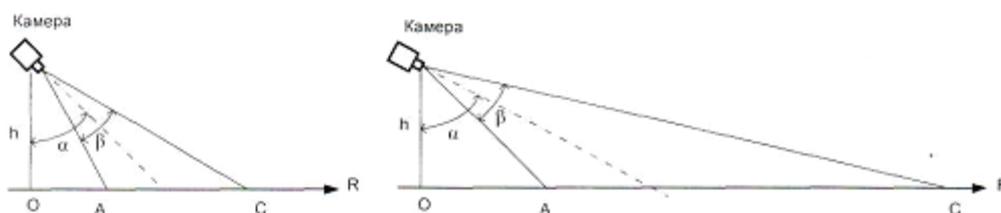


Рисунок 4 – Изменение зоны обзора при изменении угла установки камеры

**Высота установки камеры.** При изменении высоты установки камеры, при неизменном угле установки, протяжённость зоны обзора  $R_{AC}$  также изменяется (рис. 4). Зависимость протяжённости зоны обзора  $R_{AC}$  от перечисленных параметров можно выразить формулой

$$R_{AC} = h \cdot \left( \operatorname{tg} \left( \alpha + \frac{\beta}{2} \right) - \operatorname{tg} \left( \alpha - \frac{\beta}{2} \right) \right). \quad (1)$$

**“Мёртвые” зоны и ограничения по росту человека.** На величину охраняемой зоны оказывают влияние геометрические размеры нарушителя. Существует часть сектора обзора видеокамеры, в пределах которой объекты, пересекающие его, могут оказаться незарегистрированными системой охранного телевидения. Если принять в качестве нарушителя человека, то

сектор обзора можно условно разделить на несколько зон (рис. 5). В зонах 1 и 5 нарушитель находится ниже и выше сектора обзора (ближняя и дальняя зоны), соответственно, выявить нарушение невозможно. Присутствие нарушителя в зонах 2 и 4 будет обнаружено, но изображение человека будет неполным, так что может быть затруднена или невозможна обработка изображения функциями технического зрения.

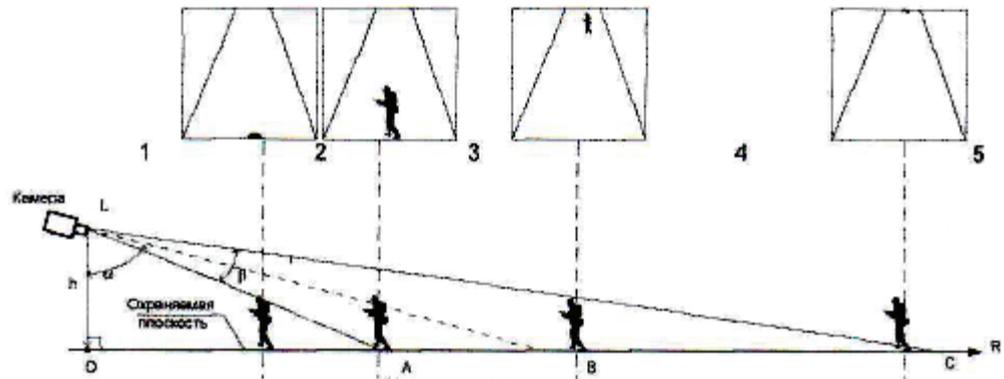


Рисунок 5 – Изображения, получаемые на различных расстояниях до объекта

При нахождении нарушителя в зоне 3 он будет полностью зафиксирован видеокамерой, к тому же возможно определение расстояния до нарушителя по его проекции на матрице видеокамеры. Протяжённость зоны 3 (расстояние  $R_{AB}$ ) может изменяться в зависимости от углов  $\alpha$ ,  $\beta$ , высоты установки камеры  $h$  и высоты предполагаемого нарушителя  $H_q$ :

$$R_{AB} = (h - H_q) \cdot \operatorname{tg} \left( \alpha + \frac{\beta}{2} \right) - h \cdot \operatorname{tg} \left( \alpha - \frac{\beta}{2} \right). \quad (2)$$

Расстояние до дальней зоны в основном связано с разрешающей способностью видеокамеры, при сильном удалении проекция нарушителя на матрице будет соизмерима с размерами пикселя или может быть принята за высокочастотные шумы.

Современные объективы и применение цифровой обработки позволяют избавиться от искажений и рассматривать изображение, получаемое видеокамерой как одноточечную центральную проекцию. Такие проекции обладают рядом свойств: проекция точки есть точка; проекция прямой есть прямая; проекции отрезков пропорциональны самим отрезкам. Таким образом, при наклонной ТВК изображение объектов будут уменьшены по высоте, а их пропорции будут изменяться при удалении от камеры.

Сенсор цифровой видеокамеры состоит из светочувствительных ячеек, образующих прямоугольную матрицу. Каждая ячейка регистрирует один пиксель изображения. Главный параметр цифрового изображения – разрешающая способность, которую определяют общим числом пикселей матрицы и количеством бит, определяемых цвет и яркость пикселя. Например, 2560x1920 пикселей. Объём такого изображения 4915200 пикселей или  $\approx 5$  Мп.

Каждому пикселю матрицы соответствует некоторый участок попадающего в сектор обзора видеокамеры пространства, проецируемого на матрицу. При нахождении нарушителя в ближней к ТВК зоне 2 (рис. 5) он будет зафиксирован видеокамерой с большей разрешающей способностью, чем в дальней зоне 4. Следовательно, с увеличением расстояния от ТВК до объекта погрешность измерений возрастает. Для обеспечения корректной работы системы необходимо выбрать разрешающую способность ТВК и протяжённость охраняемой зоны таким образом, чтобы максимальная погрешность оказалась не больше заданной.

Учитывая все факторы, перечисленные выше, модель участка охраняемой зоны, попадающая в угол обзора видеокамеры, может выглядеть следующим образом (рис. 6).

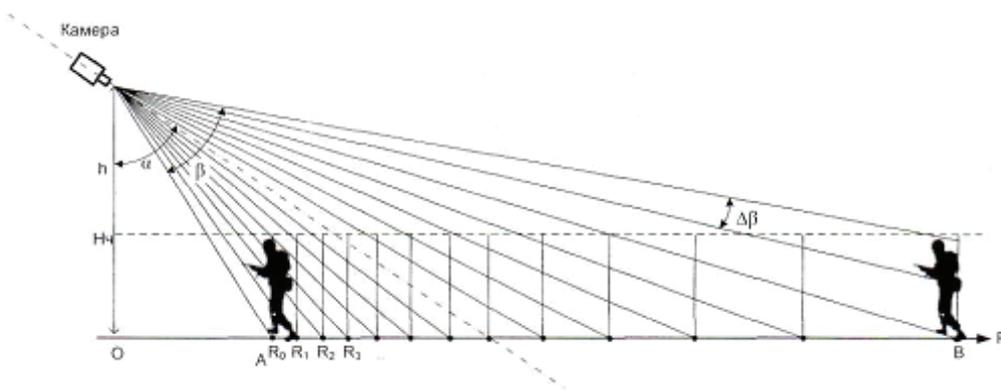


Рисунок 6 – Модель участка охраняемой зоны, с учётом степеней свободы по удалению

В данном случае участок зоны  $R_{AB}$  может быть рассчитан по (2). Точки  $R_i$ , принадлежащие  $R_{AB}$ , соответствуют участкам, проецируемым на один пиксель матрицы видеокамеры. Эти точки соответствуют степеням свободы, описывающим положение объекта при удалении, внутри объема охраняемой зоны. При этом проекция объекта, находящегося на различном удалении от камеры, будет занимать различное количество пикселей матрицы камеры, в зависимости от удаления. Параметры установки видеокамеры можно считать оптимальными, если общее количество возможных состояний, отслеживаемых в охраняемой зоне, максимально. Общее количество возможных состояний  $M$ , отслеживаемых в вертикальной плоскости охраняемой зоны, можно рассчитать по формуле

$$M = \sum_{i=0}^{N_{AB}} N_{\text{ч}}(R_i), \quad (3)$$

где  $N_{AB}$  – количество линий раstra, соответствующих  $R_{AB}$ ;  $i$  – количество степеней свободы на участке  $R_{AB}$ , по дальности;  $N_{\text{ч}}(R_i)$  – высота проекции объекта, в пикселях, на расстоянии  $R_i$  от места установки видеокамеры. При этом

$$N_v(R) = \frac{\left( \operatorname{arctg} \left( \frac{R}{h - H_v} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{R}{h} \right) \cdot N \right)}{\beta};$$

$$R_v = h \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \beta/2 + \Delta\beta \cdot i),$$

где  $\Delta\beta$  – угол обзора, соответствующий проекции на один пиксель.

В общем случае количество состояний, которое можно отследить в объёме охраняемой зоны, можно рассматривать как функцию от рассмотренных выше параметров  $f(h, H_v, \alpha, \beta, N)$ , где  $h$  – высота установки камеры;  $H_v$  – высота объекта (нарушителя – человека);  $\alpha$  – угол установки видеокамеры;  $\beta$  – угол обзора видеокамеры;  $N$  – количество линий раstra видеокамеры. Данная функция соответствует (3) и отражает изменение параметров видеокамеры.

**УДК: 681.31**

**ББК: 32.97**

### **ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

© *Р.М. Адилев, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

### **PROBLEMS OF MODERNIZATION OF DIGITAL CONTROL AND DATA PROCESSING SYSTEMS**

© *R.M. Adilov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Данная статья посвящена проблеме модернизации существующих проектов в области цифровых систем управления и обработки данных. Рассматривается вопрос переноса существующего проекта на платформу ПЛИС с процессорным ядром, приводится методика предварительной оценки объёма требуемых ресурсов, необходимых для реализации проекта на целевой платформе.

**Ключевые слова:** модернизация, ПЛИС, системы управления, обработка данных, оценка ресурсов.

This article is devoted to the modernization of existing projects in the field of digital control systems and data processing. The question of transfer of an existing project to a platform FPGA with processor core, is discussed, a method of preliminary evaluation resource requirements needed to implement the project on the target platform is explained.

**Key words:** modernization, FPGA, control systems, data processing, evaluation of resources.

E-mail: arm@pgta.ru

За годы развития советской науки и промышленности было разработано достаточно большое количество систем обработки данных и систем управления, функциональная составляющая которых вполне отвечает современным требованиям. Однако эксплуатационные характеристики (энергопотребление, габариты, надёжность и т.п.) этих систем не соответствуют требованиям времени.

Поэтому вполне актуальная задача модернизации цифровых систем обработки данных и систем управления может решаться в двух направлениях:

1. Реализация проектов на современной элементной базе “с нуля”, хотя и с учётом наработок предыдущих лет, но без использования уже готовых программных или аппаратных модулей.

2. Перенос существующих проектов на новую элементную базу, с использованием отлаженных и доказавших свою работоспособность программных или аппаратных модулей.

В первом случае основной проблемой является разработка и отладка аппаратных или программных модулей, во втором – подбор современной элементной базы и перенос существующих модулей на современную элементную базу.

Учитывая тот факт, что разработка и отладка проекта является длительным и трудоёмким процессом, перенос существующего проекта на новую элементную базу может являться наиболее оптимальным решением в вопросе модернизации систем обработки данных и систем управления.

В качестве целевой платформы для переноса существующего проекта могут использоваться однокристалльные микроЭВМ (ОМЭВМ), цифровые сигнальные процессоры или программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

В настоящее время получило распространение такое направление развития элементной базы, как интегрированные в один кристалл ПЛИС и процессоры (рис. 1). Например, процессоры Intel Atom серии E6x5C содержат на одном кристалле не только процессор Intel Atom, но и ПЛИС семейства Arria фирмы Altera. Фирма Xilinx предлагает использовать в своих ПЛИС такие процессоры с RISC-архитектурой, как MicroBlaze, ARM Cortex-A9; фирма Altera – Freescale Coldfire-V1, Arm Cortex -M1, NIOS II. Подобная интеграция позволяет разработчикам получить дополнительную степень свободы в разработке системы обработки данных или системы управления: можно изменять не только алгоритм функционирования устройства при неизменной аппаратной конфигурации путём изменения программного обеспечения, но и набор интегрированных периферийных модулей (обозначены символами “ПМ” на рис. 1), выбирая такую аппаратную конфигурацию системы, которая наиболее полно и точно соответствует решаемым задачам.

Память программ и память данных может быть реализована как на основе внутренних ресурсов ПЛИС, так и на основе внешних микросхем памяти (в некоторых случаях они могут образовывать сплошное линейное адресное пространство).

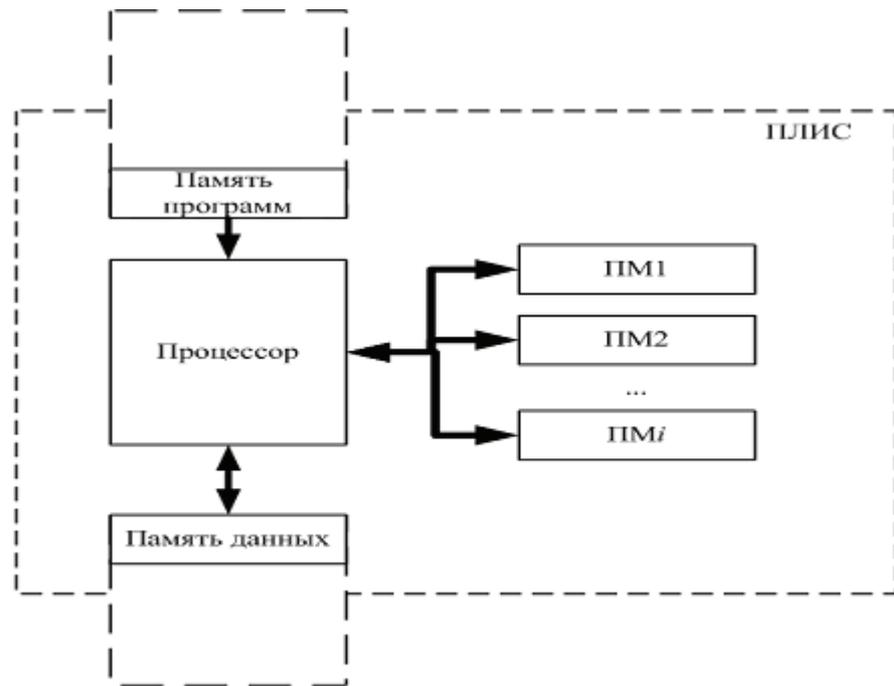


Рисунок 1

Подключение периферийных модулей к процессору может осуществляться как на основе стандартных шинных интерфейсов процессоров (например, шина On-Chip Peripheral Bus (OPB) использовалась для подключения периферийных модулей к процессору MicroBlaze в ПЛИС фирмы Xilinx), так и с помощью портов ввода/вывода процессора. В первом случае возникнет необходимость реализовать контроллер стандартного шинного интерфейса и интегрировать его в каждый существующий периферийный модуль, что требует времени и чревато ошибками. Во втором случае порты ввода/вывода процессора могут использоваться для формирования традиционных для микропроцессорных систем шин адреса, данных и управления.

Использование ПЛИС с процессорным ядром на кристалле оправдано при желании максимально использовать существующие наработки (что повлечёт за собой сокращение сроков разработки). При этом возникают следующие вопросы:

1. Какой объём аппаратных ресурсов ПЛИС достаточен для реализации аппаратной части системы (контроллеров, таймеров и т.п.)?
2. Какой объём аппаратных ресурсов ПЛИС достаточен для реализации программной части системы (объём памяти программ, памяти данных, разрядность процессора и т.п.)?
3. Каково должно быть быстродействие ПЛИС для полнофункциональной замены существующего устройства?

Необходимый для переноса существующего проекта объём аппаратных ресурсов ПЛИС можно оценить как

$$V_{\text{аппарат}} = V_{\text{CPU}} + \sum_i V_{\text{ПМ}_i}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{CPU}}$  – количество логических ячеек ПЛИС, необходимых для размещения процессора;

$V_{\text{ПМ}_i}$  – количество логических ячеек ПЛИС, необходимых для размещения  $i$ -го периферийного устройства.

Количество логических ячеек ПЛИС, необходимых для размещения процессора, является справочной информацией, доступной в документации на процессор.

Количество логических ячеек ПЛИС, необходимых для размещения периферийных устройств, можно оценить исходя из количества логических элементов, используемых в устройствах существующего проекта.

Для оценки достаточности аппаратных ресурсов ПЛИС для реализации программной части системы (объёма памяти программ, памяти данных, разрядность процессора и т.п.) можно использовать следующую последовательность действий:

- разрабатывается элементарный программный модуль, реализующий типичный алгоритм обработки данных или управления. Для реализации тестового программного модуля для оценки возможности переноса существующего проекта на новую платформу необходимо иметь отладочную плату (Evaluation Board), приобрести которую в настоящее время не представляет затруднений;

- разработанный программный модуль транслируется в объектный код существующей и целевой платформы;

- вычисляется отношение  $K_{\text{транс}}$  размеров объектных кодов одного и того же модуля для исходной и целевой платформ по формуле

$$K_{\text{транс}} = \frac{V_{\text{исх}}}{V_{\text{цел}}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{исх}}$  – объём объектного кода элементарного программного модуля на исходной платформе;

$V_{\text{цел}}$  – объём объектного кода элементарного программного модуля на целевой платформе.

Для предварительной оценки необходимого объёма памяти программ и данных для целевой платформы ( $V_{\text{целПО}}$ ) на основе объёма объектного кода программного обеспечения для исходной платформы ( $V_{\text{исхПО}}$ ) можно использовать следующее выражение:

$$V_{\text{целПО}} = \frac{V_{\text{исхПО}}}{K_{\text{транс}}}. \quad (3)$$

Оценка необходимой производительности ПЛИС также может осуществляться на основе сравнения времени выполнения тестового программного модуля на исходной и целевой платформе: на основе выражения (2) определяется коэффициент трансляции временных характеристик (перемен-

ная  $V_{исх}$  в данном случае будет определять время выполнения элементарного программного модуля на исходной платформе, а переменная  $V_{цел}$  – время выполнения элементарного программного модуля на целевой платформе); на основе выражения (3) определяется время выполнения программы на целевой платформе (переменная  $V_{исхПО}$  в данном случае будет определять время выполнения программы на исходной платформе, а  $V_{целПО}$  – приближительное время выполнения программы на целевой платформе).

Описанная методика была апробирована при выполнении автором НИР, посвящённой переходу от платформы на базе процессоров с x86 архитектурой на платформу на основе ПЛИС фирмы Xilinx с софт-процессорным ядром MicroBlaze и показала свою жизнеспособность.

---

# АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

---

---

УДК: 681.3.066

ББК: 34

## ДИСПЕТЧЕР ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ С АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ

© *Р.А. Бикташев, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

## TASK MANAGER OF MULTIPROCESSOR SYSTEMS WITH HARDWARE SUPPORT

© *R.A. Biktashev, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена организации потоков данных в многопроцессорных системах с использованием аппаратных средств. В частности, решается задача уменьшения времени диспетчеризации. Показано, что при аппаратной реализации достигается увеличение надёжности операционной системы, что особенно важно для специализированных, реализуемых в виде систем на кристалле.

**Ключевые слова:** многопроцессорные системы, диспетчеризация, аппаратная реализация, операционная система.

Article is devoted to the organization of data streams in multiprocessor systems with the help of hardware. In particular, the problem of reducing the time scheduling is solved. It is shown that the hardware implementation is achieved by increasing the reliability of the operating system, which is especially important for specialized ones implemented in the form of systems on a chip.

**Key words:** multiprocessor systems, scheduling, hardware implementation, operating system.

### Введение

Традиционно процедура диспетчеризации и связанная с ней синхронизация процессов осуществляется программным способом в пространстве ядра с применением механизма монитора [1]. Такой способ хорошо отработан, но требует значительных временных затрат на выполнение системных вызовов, связанных с вхождением процесса в монитор и реализацию очереди заблокированных процессов, возникающую из-за конкуренции множества процессоров при доступе к диспетчеру. Этот фактор существенно увеличивает время ожидания процессов и, следовательно, снижает общую производительность многопроцессорной системы. Известно, что на диспетчеризацию процессов уходит до десятка тысяч процессорных тактов, что соответствует временным потерям в несколько микросекунд на самых высоких частотах работы процессоров.

Одним из путей решения проблемы уменьшения времени диспетчеризации является его аппаратная реализация. Кроме того, аппаратной реализацией достигается увеличение надёжности операционной системы, что особенно важно для специализированных ВС, реализуемых в виде систем на кристалле (СнК). Предлагаемый подход заключается в том, что аппаратная поддержка диспетчера задач выполняется в виде независимого устройства в составе многопроцессорной системы.

#### **Алгоритм синхронизации процессов при диспетчеризации**

В самом общем виде алгоритм синхронизации процессов при диспетчеризации задач аналогичен задаче “спящего парикмахера” [1] и выглядит следующим образом. В начальном состоянии каждый включающийся в работу процессор выполняет операцию “готов” и переходит в спящий режим, в котором находится до тех пор, пока на обслуживание не поступит задача. Если все процессоры заняты обслуживанием, то вновь поступившая задача помещается в конец очереди, число мест в которой ограничено. Если вновь поступившая задача обнаружит, что очередь заполнена, она на обслуживание не принимается и покидает систему. Принятая на обслуживание задача находится в очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в процессор, при этом в очереди освобождается одно место. После выполнения очередной задачи процессор просматривает очередь, и если в ней имеются ожидающие задачи, то он берёт на выполнение задачу, стоящую в голове списка. Если очередь пуста, процессор переходит в режим ожидания. Если освободилось одновременно несколько процессоров, то производится выбор одного из них для обслуживания очередной задачи.

В общем случае алгоритм диспетчеризации в явном виде связан с взаимодействием процессов. С одной стороны, задачи (процессы, потоки), требующие своего выполнения, с другой стороны – обслуживающие их процессорные узлы. Эти действия необходимо синхронизировать таким образом, чтобы обеспечить так называемое “рандеву” [1], когда  $j$ -й процессорный узел должен дожидаться поступления задачи, а задача – освобождения одного из процессоров, после чего она будет обслуживаться в течение некоторого времени.

Для многопроцессорных систем такой подход должен быть расширен до задачи, которую можно назвать “работа парикмахерской”. Эта задача иллюстрирует отношения “клиент-сервер”, которые имеют место между процессами в многопроцессорных вычислительных системах. Причём аналогом процессоров является коллектив парикмахеров, а аналогом задач выступают клиенты парикмахерской [2].

#### **Аппаратная поддержка алгоритма диспетчеризации**

Реализована в части синхронизации взаимодействующих процессов. Другие функции, такие как сохранение и восстановление контекста, перемещение процессов из очереди готовых задач в очередь ожидающих и т.п. реализуются традиционным путём и в данной модели не рассматриваются.

Устройство аппаратной поддержки рассмотрено на примере многопроцессорной системы, состоящей из восьми процессоров, объединённых

общей шине. В данной работе использован вариант устройства диспетчеризации имеющего собственный интерфейс взаимодействия с каждым процессором. Общий вид взаимодействия между одним процессором и диспетчером задач представлен на рис. 1.

Если имеется некоторая задача, ожидающая обслуживания, то диспетчер при условии что имеются свободные процессоры, устанавливает активный уровень сигнала “Запрос” ( $S_{proc\_zapr}$ ) на линии того процессора, который выбирается из числа свободных по заданному алгоритму. Процессор выходит из спящего режима и устанавливает активный уровень сигнала “Подтверждение запроса” ( $S_{proc\_pzapr}$ ), который воспринимает диспетчер. Кроме того, процессор снимает сигнал “Свободен” ( $S_{proc\_free}$ ), тем самым выходит из пула свободных.

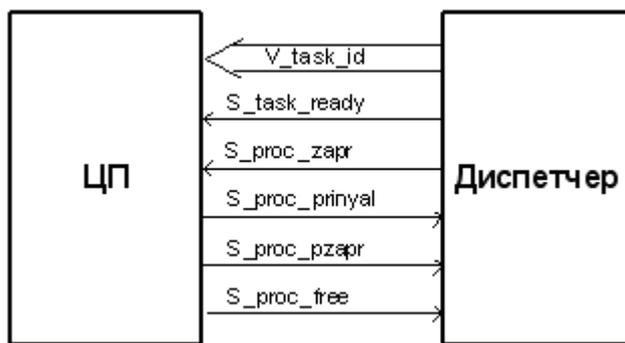


Рисунок 1 – Интерфейс взаимодействия одного процессора с диспетчером

Передача идентификатора задачи процессору происходит путём извлечения его из внутреннего регистра и выдачи на шину ( $V_{task\_id}$ ), с одновременной передачей в процессор сигнала “Задача готова” ( $S_{task\_ready}$ ). Процессор на основании этого фиксирует эти данные в своём внутреннем регистре, и когда его работа с шиной будет окончена, он выставляет сигнал “Задача принята” ( $S_{proc\_prinyal}$ ).

Если процессор не занят обслуживанием задачи, то сигнал “Свободен” ( $S_{proc\_free}$ ) принимает активный уровень. Если в очереди имеются готовые задачи, то выбирается обслуживающий процессор по заданному приоритету. Выбранный процессор выходит из спящего режима, выбирает задачу из начала очереди ( $S_{fifo\_read}$ ), получает идентификатор задачи по шине ( $V_{task\_id}$ ), выставляет сигнал “Задача принята” ( $S_{proc\_prinyal}$ ) и переходит в режим “Занято”. После этого диспетчер может снять данные с шины и перейти к назначению следующей задачи. Процессор, получивший идентификатор задачи, переходит к её обслуживанию. По завершению работы процессор известит диспетчер о том, что свободен, установлением активного уровня сигнала “Свободен” ( $S_{proc\_free}$ ), тем самым снова окажется в пуле свободных процессоров, и диспетчер вновь будет учитывать его при распределении задач.

Аппаратно устройство синхронизации процессов при диспетчеризации задач представлено в виде 4-х блоков: блок управления очередью задач, блок очереди задач, блок выбора процессора для обслуживания очередной задачи и блок управления ресурсами (рис. 2).

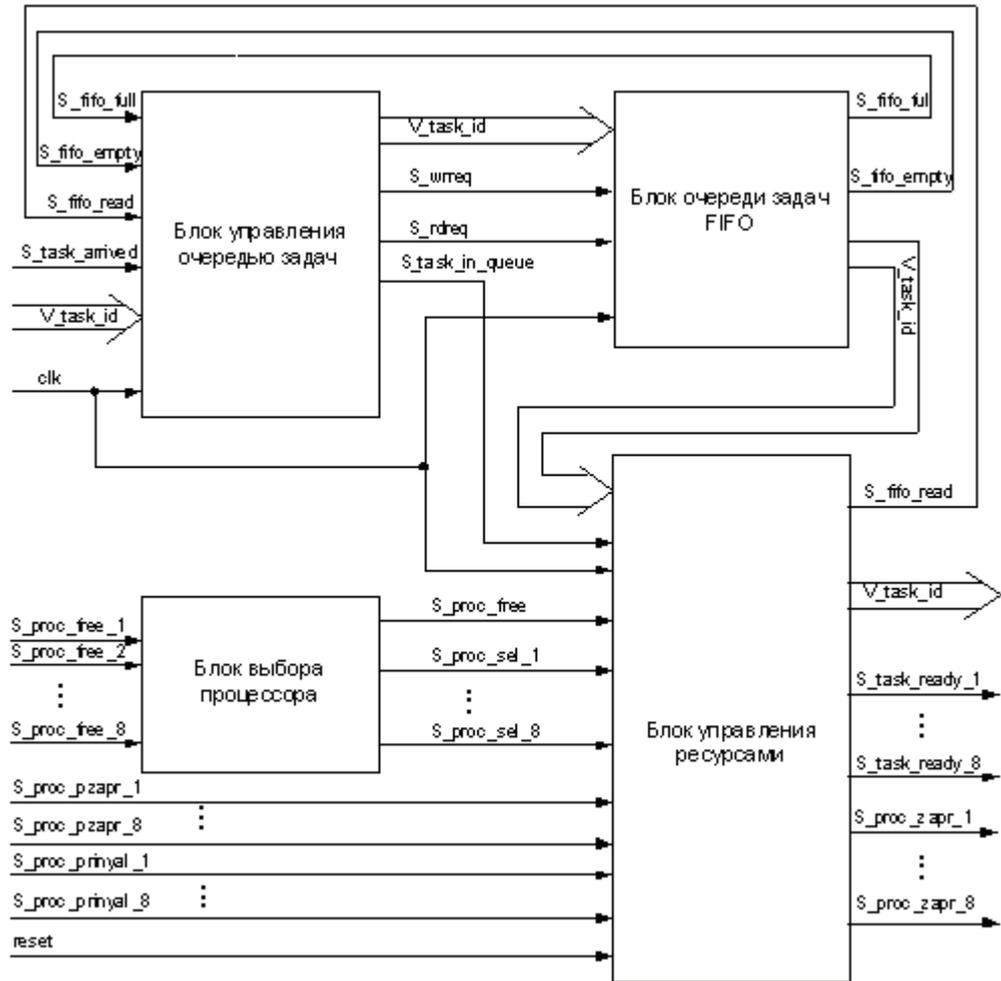


Рисунок 2 – Устройство синхронизации процессов при диспетчеризации задач

Блок управления очередью задач выполняет часть функций планировщика, т. е. формирует очередь задач и отслеживает её состояние: очередь заполнена или в ней имеются свободные места. О наличии задачи в очереди свидетельствует сигнал  $S_{task\ in\ queue}$ . Запрос очередной задачи выполняет один из процессоров, выбранный в качестве обслуживающего. Для этого используется сигнал “Запрос задачи” ( $S_{fifo\ read\ j}$ ). Блок выбора процессора работает по приоритетной схеме. Он принимает все сигналы “Свободен” ( $S_{proc\ free\ j}$ ) от процессоров и формирует соответствующие сигналы ( $S_{proc\ sel\ 1}, \dots, S_{proc\ sel\ 8}$ ) в блок управления ресурсами. Блок управления ресурсами осуществляет взаимодействие очереди задач с процессорами по описанному ранее интерфейсу.

Модель устройства диспетчера была реализована на языке VHDL в виде четырёх программных модулей, соответствующих четырём блокам, показанным на рис. 2. Модель была протестирована в различных режимах работы и показала хорошие результаты. Так, на работу устройства синхронизации диспетчера уходит всего 10 процессорных тактов, приходящихся на одну задачу, что значительно меньше, чем при его программной реализации, в которой только вызов функции монитора занимает сотни тактов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного параллельного и распределённого программирования : пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 512 с.
2. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А. Формализация алгоритма синхронизации процессов при диспетчеризации задач в многопроцессорных системах с использованием механизма рандеву // Информационные технологии. – 2009. – № 12. – С. 12 – 17.

УДК: 681.3.012

ББК: 332

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА “РАНДЕВУ”

© Н.П. Вашкевич, Пензенский государственный университет  
(г. Пенза, Россия)

© Р.А. Бикташев, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### THE FORMALIZATION OF THE ALGORITHMS FOR CONTROLLING THE PARALLEL PROCESSES ON THE BASIS OF USING THE RENDEZVOUS MECHANISM

© N.P. Vashkevich, Penza State University (Penza, Russia)

© R.A. Biktashev, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В работе рассматривается методика формального описания алгоритмов управления взаимодействующими процессами в классической задаче “о спящем парикмахере” на основе использования механизма рандеву и языка логики недетерминированных автоматов. Приводится конкретный пример применения методики для описания взаимодействующих процессов при диспетчеризации задач с разделением пространства в многопроцессорных вычислительных системах.

**Ключевые слова:** логика недетерминированных автоматов, механизм рандеву, задача “о спящем парикмахере”, диспетчер задач, многопроцессорная система.

The paper deals with the technique of the formal description of the algorithms for controlling the interacting processes in the classical task “about a sleeping barber” on the basis of using the rendezvous mechanism and the language of the nondeterministic automatons. The authors give a specific case of using the technique for describing the interacting processes by dispatching the tasks with sharing space in multiprocessor computing systems.

**Key words:** nondeterministic automaton's logics, rendezvous mechanism, the task "about a sleeping barber", task manager, multiprocessor system.

E-mail: bra559620@sura.ru

### **Введение**

При создании систем параллельной обработки важной задачей является формальное аналитическое представление алгоритмов управления процессами, т.к. они позволяют в комплексе решать задачи спецификации, разработки, реализации, верификации и анализа сложных систем управления [1], в том числе управление взаимодействующими процессами и ресурсами в параллельных вычислительных системах. Особенно необходимо применение формальных методов для верификации сложных систем обработки информации путём проверки их на моделях [2].

Одним из методов формального описания алгоритмов управления является метод, основанный на использовании для этих целей логики недетерминированных автоматов (НДА), который позволяет представить алгоритмы управления обработкой информации в виде систем рекуррентных канонических уравнений (СКУ), описывающих все реализуемые в алгоритме частные события. Достоинство такого языка заключается в том, что все переходы в системе управления описываются не в терминах состояний системы, а в терминах частных событий, одновременное существование которых определяет все состояния и переходы в системе [3], что позволяет избежать "комбинаторного взрыва" в пространстве состояний на возможности средств верификации [2].

В данной работе рассматривается методика формальной спецификации алгоритма управления межпроцессного взаимодействия в классической задаче "о спящем парикмахере", которая является примером классических задач синхронизации процессов. Эта задача иллюстрирует отношение типа клиент-сервер, которое имеет место между процессами в многопроцессорных вычислительных системах, где для неё используется особый тип синхронизации, называемый рандеву [4].

#### **1. Концептуальная модель задачи "о спящем парикмахере"**

В общем виде задача "о спящем парикмахере" заключается в следующем. В одном из городков есть парикмахерская с одной входной и одной выходной дверями, в которой размещены несколько кресел для посетителей и одно кресло парикмахера, в котором он обычно сидит и спит, если в салоне отсутствуют клиенты. В это же кресло садится и клиент, когда его стрижёт парикмахер. Салон парикмахерской по размерам мал, и ходить по нему может только парикмахер и один посетитель.

Когда посетитель приходит и видит спящего парикмахера, то он будит его и, подождя, когда он освободит кресло, садится в него. После чего парикмахер может приступить к его стрижке. Если парикмахер занят стрижкой, когда приходит посетитель, то последний или садится в одно из свободных кресел и засыпает, или уходит, если нет свободных кресел.

После стрижки парикмахер открывает посетителю выходную дверь и закрывает её за ним. В том случае если в салоне есть ожидающие посетители

ли, то парикмахер будит одного из них и ждёт, пока тот сядет в его кресло. Если посетителей нет, то парикмахер садится в своё кресло и спит до прихода следующего посетителя.

## 2. Аналитическая модель алгоритма управления процессами в задаче “о спящем парикмахере” на основе НДА

Рассматривая посетителей и парикмахера как взаимодействующие процессы, для которых посетитель – это клиент, запрашивающий сервис у парикмахера, а парикмахер – это сервер, обеспечивающий данный сервис, можно представить данный тип взаимодействия как пример отношений клиент-сервер.

Действия парикмахера и посетителя необходимо синхронизировать таким образом, чтобы обеспечить парикмахеру и посетителю встречу – randevu, когда парикмахер должен дожидаться прихода посетителя, а посетитель – освобождения парикмахера. При этом посетителю необходимо ждать, пока парикмахер закончит его стрижь, после чего он освобождает кресло парикмахера и ждёт открытия двери парикмахером. Парикмахер, в свою очередь, перед тем как закрыть дверь, должен подождать пока уйдет посетитель. Таким образом, парикмахер и посетитель проходят через последовательность синхронизированных этапов, начинающихся с randevu.

Для формального описания алгоритма взаимодействия процессов в данной задаче будем использовать язык систем канонических уравнений [3]. Для этой цели введём следующие основные частные события, реализуемые в данном алгоритме:

$S_3^1$  – приход нового клиента в парикмахерскую;

$S_{от}^1$  – наличие места в очереди к парикмахеру;

$S_0^k$  и  $S_0^n$  – нахождение клиента и парикмахера в салоне парикмахерской;

$S_{ш}^1$  и  $S_{бк}^n$  – клиент будит парикмахера, а парикмахер будит клиента;

$S_{кп}^k$  и  $S_{ок}^n$  – клиент сел в кресло парикмахера, а парикмахер освободил своё кресло;

$S_c^k$  и  $S_c^n$  – клиент и парикмахер спят, соответственно;

$S_{гт}^k$  и  $S_{гт}^n$  – клиент и парикмахер готовы к обслуживанию, соответственно;

$S_n$  и  $S_k$  – начало и окончание стрижки, соответственно;

$S_{ок}^1$  и  $S_{от}^n$  – клиент освободил кресло парикмахера, а парикмахер открыл выходную дверь;

$S_у^1$  и  $S_д^n$  – клиент ушёл из парикмахерской, а парикмахер закрыл выходную дверь.

Тогда система канонических уравнений, описывающих эти события, и соответствующий им граф недетерминированного автомата (НДА) будут иметь следующий вид:

- для процесса клиент:

$$\begin{aligned} S_0^k &= S_3^k S_{0\Phi}^k \\ S_c^k(t+1) &= S_0^k \overline{S_c^n} \vee S_c^k \overline{S_{EK}^n} \\ S_{EP}^k(t+1) &= S_0^k S_c^n \\ S_{KP}^k(t+1) &= S_c^k S_{EK}^n \vee S_{EP}^k S_{OK}^n \\ S_{IT}^k(t+1) &= S_{KP}^k S_{3D}^n \vee S_{IT}^k \overline{S_{IT}^n} ; \end{aligned}$$

- для процесса сервер (парикмахер):

$$\begin{aligned} S_c^n(t+1) &= S_0^n \overline{S_0^k} \vee S_c^n \overline{S_{EP}^k} \\ S_{EK}^n(t+1) &= S_0^n S_0^k S_c^k \\ S_{OK}^n(t+1) &= (S_0^n S_0^k \overline{S_c^k} \vee S_c^n) S_{EP}^k \\ S_{IT}^n(t+1) &= (S_{OK}^n \vee S_{EK}^n) S_{KP}^k \vee S_{IT}^n \overline{S_{IT}^k} . \end{aligned}$$

Система канонических уравнений, описывающая события после рандеву:

$$\begin{aligned} S_H(t+1) &= S_{IT}^k S_{IT}^n , & S_{OЦ}^n(t+1) &= S_K \\ S_K(t+1) &= S_H , & S_Y^k(t+1) &= S_0^k S_{OЦ}^n \\ S_{OK}^k(t+1) &= S_K , & S_{3D}^n(t+1) &= S_{OЦ}^n S_Y^k \end{aligned}$$

В приведённых выше системах канонических уравнений и графе НДА (рис. 1) были опущены события, соответствующие пустым событиям обратной связи в циклах из логических условий. Эта связь символизирует ожидание некоторого события  $S_j$  истинности логического условия, при котором реализуется переход к событию  $S_j$ , являющемуся первым преемником события  $S_i$ . Например, рассмотрим переход от события  $S_{OK}^k$  к событию  $S_Y^k$ , для которого выход условной вершины  $S_{OЦ}^n$  соединён с её входом.

Введя пустую операторную вершину в обратную связь и обозначив её символом  $S_e$ , получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} S_e(t+1) &= (S_{OK}^k \vee S_e) S_{OЦ}^n , \\ S_Y^k(t+1) &= (S_{OK}^k \vee S_e) S_{OЦ}^n \end{aligned}$$

Аналогичные уравнения могут быть представлены и для других переходов, для которых выход условной вершины соединен с её входом.

Рассмотрим конкретный пример применения метода НДА для описания взаимодействующих процессов при диспетчеризации задач в многопроцессорных системах. Также покажем, каким образом такое описание может быть использовано в качестве подхода для разработки устройства аппаратной поддержки диспетчеров задач с разделением пространства [5].

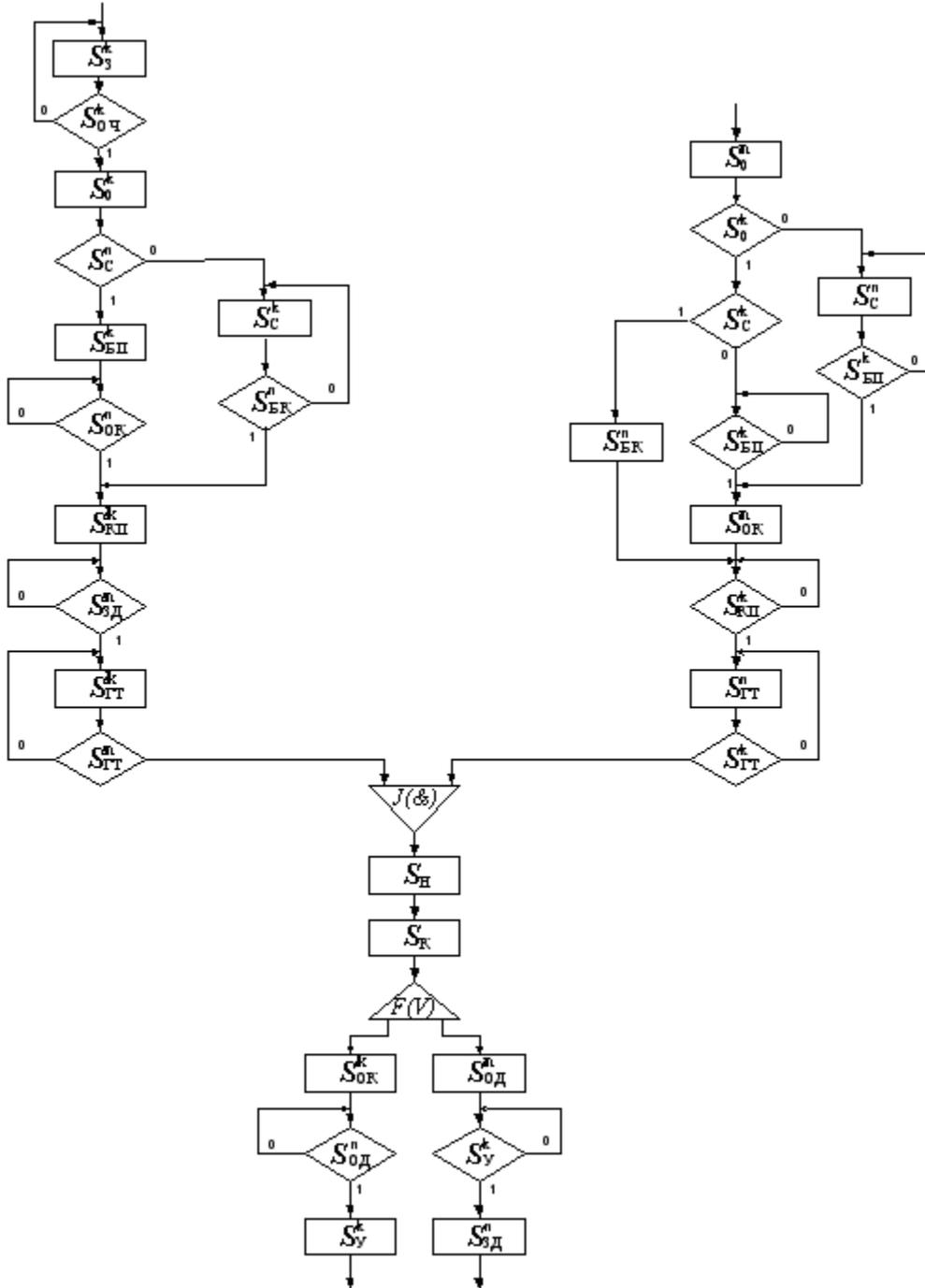


Рисунок 1 – Граф НДА алгоритма управления взаимодействующими процессами в задаче “спящий парикмахер”

Предлагаемый диспетчер задач является распределённым и выполняется в виде независимого аппаратного устройства в составе многопроцессорной системы в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

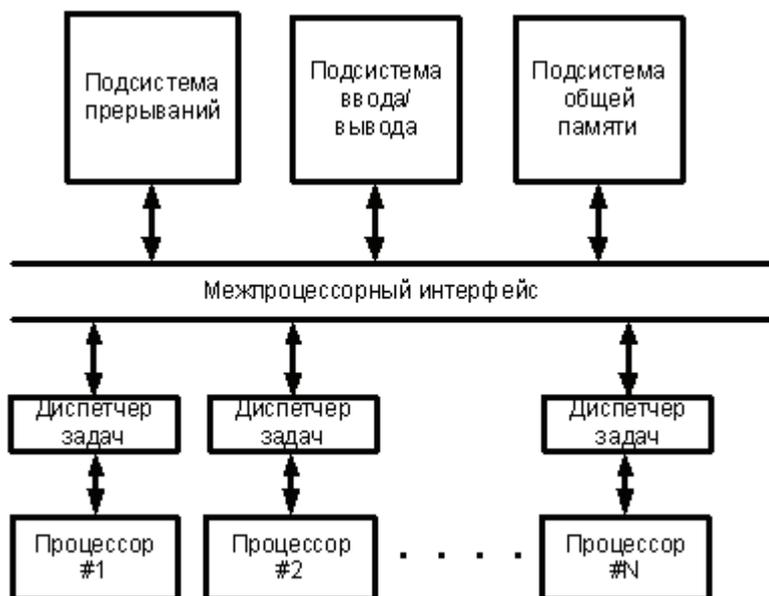


Рисунок 2 – Схема подключения диспетчера задач с аппаратной в многопроцессорную систему

Предполагается, что в вычислительной системе существует планировщик, который выполняет функцию размещения вновь поступившей задачи в один из диспетчеров. Положим, что новые задачи хранятся в очереди планировщика на дисковом накопителе. По мере освобождения ресурсов планировщик помещает задачу в общую память, а её идентификатор (начальный адрес) в очередь задач одного из диспетчеров, который организует запуск, выполнение, прерывание по истечении кванта процессорного времени и сохранение контекста, а также прерывание по завершению задачи.

Таким образом, в диспетчерах с пространственным разделением (рис. 3) у каждого процессора имеется своя очередь задач. С каждой из очередей взаимодействует планировщик, который помещает в неё вновь поступившую задачу. Функция диспетчера заключается в выборке очередной задачи и назначении её освободившемуся процессору. При прерываниях по истечении кванта задача остаётся в той же очереди, в которой она находилась ранее.

Отсюда следует, что алгоритм управления параллельными процессами при диспетчеризации задач аналогичен задаче о “спящем парикмахере”. Этот алгоритм реализуется в каждом отдельном процессоре на всём их множестве. Таким образом, в вычислительной системе действуют одновременно  $N$  диспетчеров, в результате чего задачи выбираются из очередей бесконфликтно, поступают в процессоры параллельно, что создаёт условия для повышения производительности многопроцессорной системы.

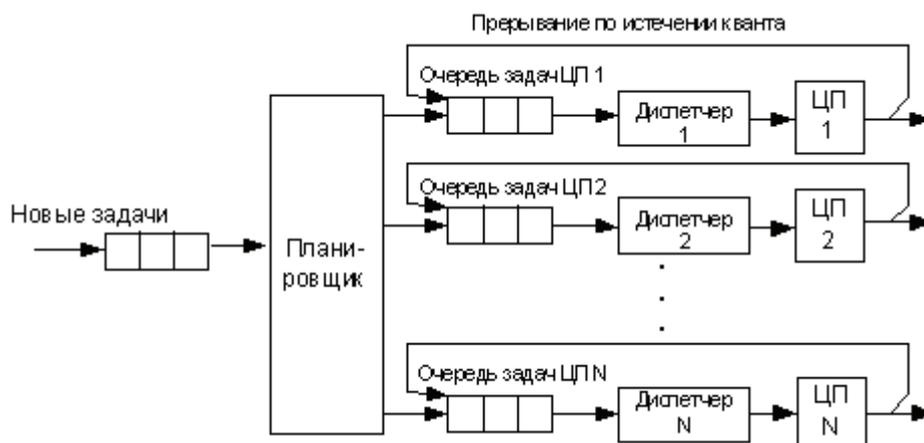


Рисунок 3 – Модель диспетчеризации с пространственным разделением задач

Предложенный метод представления параллельных процессов в виде модели НДА может быть успешно применён при разработке устройства для аппаратной поддержки диспетчеризации задач многопроцессорных систем с пространственным разделением задач.

Концептуальное описание алгоритма диспетчеризации заключается в следующем. Первоначально поступившая задача помещается в очередь планировщика и находится в ней до тех пор, пока не получит необходимые ей ресурсы, в число которых входит и место в очереди к одному из процессоров. Если имеется свободное место в одной из очередей, то выбранная планировщиком задача занимает его. Причём она помещается в конец очереди, число мест в которой ограничено некоторым числом. Если имеются свободные места в нескольких процессорных узлах, то выбор очереди может производиться по заданному критерию, например по критерию минимума числа занятых мест из всей их совокупности. Принятая на обслуживание задача находится в очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в процессор. Если используется режим квантования, то незавершённая задача по окончании текущего кванта помещается в конец той же очереди, где она находилась ранее, иначе результат выдаётся пользователю, а в очереди освобождается одно место. При завершении задачи диспетчер просматривает очередь, и если в ней имеются заявки на обслуживание, то назначается на выполнение задача, стоящая в голове списка (очередь типа FIFO). Если очередь пуста, процессор переходит в режим ожидания.

В общем случае алгоритм диспетчеризации в явном виде связан с взаимодействием процессов. С одной стороны, задачи (процессы, потоки), требующие своего выполнения, с другой стороны – обслуживающие их процессорные узлы. Эти действия необходимо синхронизировать таким образом, чтобы обеспечить так называемое “рандеву” [6], когда  $j$ -й процессорный узел должен дождаться поступления задачи, а задача – освобождение  $j$ -го процес-

сора, после чего она будет обслуживаться в течение некоторого времени.

Интерфейс взаимодействия устройства диспетчеризации с каждым из процессоров представлен на рис. 4.



Рисунок 4 – Интерфейс взаимодействия диспетчера с планировщиком и процессором

Клиентский процесс будет развиваться следующим образом. Если планировщик получил новую задачу, он пытается поместить её в один из диспетчеров. Если в очереди к диспетчеру имеется задача, ожидающая обслуживания, то он при условии, что процессор свободен, устанавливает активный уровень сигнала “Запрос” на линии ( $p\_zapr$ ). Процессор выходит из спящего режима и сообщает диспетчеру о том, что готов к приёму и выполнению задачи. Для этого процессор устанавливает активный уровень сигнала “Подтверждение запроса” ( $p\_pzapr$ ), который воспринимает диспетчер. Кроме того, процессор снимает сигнал “Свободен” ( $p\_free$ ). Далее диспетчер переходит к непосредственной передаче идентификатора задачи процессору. Для этого он извлекает идентификатор задачи из памяти и выставляет его на шину ( $t\_id$ ), после чего передаёт в процессор сигнал “Задача готова” ( $t\_ready$ ). Процессор воспринимает активный уровень сигнала “Задача готова”, тем самым ему гарантируется, что данные на шине достоверны ( $t\_id$ ), другими словами, на шине присутствует идентификатор текущей задачи. Процессор фиксирует эти данные в своём внутреннем регистре, и когда его работа с шиной будет окончена, он выставляет сигнал “Задача принята” ( $p\_prinyal$ ).

Серверный процесс будет развиваться так. Процессор, не занятый обслуживанием задачи (свободный), находится в спящем режиме. Сигнал “Свободен” ( $p\_free$ ), поступающий от процессора к диспетчеру, принимает в этом случае активный уровень. Если в очереди имеются готовые задачи, процессор выходит из спящего режима, выбирает задачу из начала очереди ( $f\_read$ ), получает идентификатор задачи по шине ( $t\_id$ ), выставляет сигнал “Задача принята” ( $p\_prinyal$ ) и переходит в режим “Занято”. По завершению работы процессор известит диспетчер о том, что свободен, установкой активного

уровня сигнала “Свободен” ( $p\_free$ ).

Весь алгоритм работы диспетчера содержит три части: клиентскую (постановка задачи в одну из очередей), серверную (обслуживание процессорами) и “рандеву” (наличие задачи и готовность процессора к обслуживанию этой задачи). Ранее для описания алгоритма взаимодействия параллельных процессов в задаче “о спящем парикмахере” введены основные частные события, представленные в левой колонке таблицы 1. В последней колонке представлено соответствие этих событий сигналам на схеме устройства диспетчеризации задач.

Таблица 1

Обозначение события	Описание частного события	Сигналы на схемах	Описание сигнала
$S_3^k$	Клиент пришёл в парикмахерскую	$t\_arrive_d$	Поступление новой задачи от планировщика
$\overline{S_{оч}}$	В очереди отсутствуют свободные места	$fifo\_full$	В очереди отсутствуют свободные места
$S_{БП}^1$	Клиент будит парикмахера	$p\_warr$	Запрос процессора диспетчером
$S_{ГТ}^1$	Клиент готов к стрижке	$t\_ready$	Задача готова к обслуживанию в процессоре
$S_{БК}^2$	Парикмахер будит (приглашает) клиента	$p\_rwar$	Подтверждение запроса процессором
$S_0^2$	Парикмахер в салоне	$p\_free$	Свободен процессор
$S_{СК}^2$	Парикмахер освобождает кресло	$p\_princal$	Задачу процессор принял
$S_0^k$	Клиент находится в очереди	Внутренний сигнал диспетчера.	Задача находится в очереди
$S_H^2$	Начало стрижки	-----  -----	Процессор выполняет обслуживание задачи
$S_K^2$	Окончание стрижки	-----  -----	Выполнение задачи закончено
$S_у^2$	Клиент ушёл из парикмахерской	-----  -----	Удалить задачу из очереди
$S_{СК}^1$	Клиент освободил кресло	-----  -----	Задача снята с исполнения
$S_{ОД}^2$	Парикмахер открыл дверь	-----  -----	Выдача результата выполнения текущей задачи

### Заключение

Полученная стандартная форма представления алгоритма синхронизации параллельных процессов может быть использована в общем случае

для организации взаимодействия процессами в вычислительных системах, реализованных по технологии клиент-сервер при разработке устройств аппаратной поддержки трудоёмких функций операционных систем и, в частности, диспетчера задач многопроцессорной системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоар И. *Взаимодействующие последовательные процессы*. – М. : МИР, 1989. – 264 с.
2. Кларк Э.М. *Верификация моделей программы: Model Checking* : Пер. с англ. – М. : МЦНМО, 2002. – 416 с.
3. Вашкевич Н.П. *Недетерминированные автоматы в проектировании систем параллельной обработки* : Учеб. пос. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 280 с.
4. Эндрюс Г.Р. *Основы многопоточного, параллельного и распределённого программирования* : Пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 512 с.
5. *Распределённые системы. Принципы и парадигмы* / Э. Таненбаум, М. ван Стен. – СПб. : Питер, 2007. – 877 с.
6. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А. *Формализация алгоритма синхронизации процессов при диспетчеризации задач в многопроцессорных системах с использованием механизма рандеву* // *Информационные технологии*. – 2009. – № 12. – С. 12 – 17.

**УДК 681.324**

**ББК: 332**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ ПАМЯТИ С БУФЕРИЗАЦИЕЙ ТРАНЗАКЦИЙ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© *А.И. Мартышкин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

### **INVESTIGATION OF THE MEMORY SUBSYSTEMS BUFFERING TRANSACTIONS FOR QUEUING MODEL**

© *A.I. Martyshkin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматривается модель буферного устройства параллельной памяти, предназначенного для быстрого доступа к параллельной памяти многопроцессорной системы с интерфейсом “общая шина”. Предлагаются модели на основе стохастических сетей массового обслуживания для получения вероятностно-временных характеристик. Представлены модели для микроанализа подсистем “процессор-память” многопроцессорных ВС. Рассмотрен конкретный пример построения моделей для получения сравнительных характеристик двух многопроцессорных систем с буферным устройством и без него. В результате анализа проведённых экспериментов видно, что существенно увеличится пропускная способность подсистемы “процессор-память” и, соответственно, производительность многопроцессорной системы в целом.

**Ключевые слова:** многопроцессорная система, общая память, буферное устройство памяти, буфер записи, буфер чтения, общая шина, стохастическая сеть, система массового

обслуживания.

The article deals with the model of the parallel memory buffer device, designed for the quick access to the parallel memory of the multiprocessor system with the interface “common bus”. The author offers the models based on stochastic queuing networks for probabilistic and temporal characterizing. The models for the microanalysis of the multiprocessor systems' subsystems “processor-memory” are presented. The author considers the specific example of constructing models for comparative characterizing two multiprocessor systems with/without a buffer device. The analysis of the experiments made results in the fact that the subsystem “processor-memory's” capacity and, accordingly, the whole multiprocessor system's performance have greatly increased.

**Key words:** multiprocessor system, shared memory, buffer memory device, write buffer, read buffer, common bus, stochastic network, queuing system.

E-mail: Alexey314@yandex.ru

В многопроцессорных системах довольно широко используется память с архитектурой UMA, но её применение в большой степени ограничивает наращиваемость процессорных узлов из-за возникновения конфликтных простоев запрашивающих процессоров, что снижает производительность и масштабируемость вычислительной системы. Известно, что память по сравнению с процессором работает медленнее из-за возникающих временных задержек, приходящихся на процессы физической записи и физического чтения данных. Проблема решается применением памяти типа NUMA, чем обеспечивается приемлемая масштабируемость, но требует значительных дополнительных аппаратных затрат в процессорных узлах. Альтернативным решением является использование памяти UMA, разделённой на множество независимых блоков, однако её применение ограничивается пропускной способностью межпроцессорной шины [1].

Известно, что межпроцессорная шина менее производительная, чем локальная. Она выступает посредником между процессорами и памятью. При непрерывном выполнении операции (транзакции) записи или чтения памяти шиной монополюно владеет один из процессоров системы до тех пор, пока операция не будет завершена. Таким образом, шина и процессоры находятся в режиме ожидания до тех пор, пока память не произведёт физическую процедуру чтения или записи. В результате теряются циклы шины, которые могли быть использованы другими процессорами. Кроме того, при доступе к шине множества процессоров необходимо производить процедуру арбитража. Эти обстоятельства снижают реальную пропускную способность межпроцессорной шины и вносят дополнительные задержки в вычислительные процессы. Для уменьшения временных потерь и повышения пропускной способности шины необходимо, чтобы она поддерживала режимы расщепления транзакций чтения и буферизации транзакций записи.

Блок памяти должен быть снабжён двумя буферными устройствами для хранения транзакций чтения и записи. В свою очередь буфер чтения имеет две части. Первая содержит регистры для хранения адреса ячейки памяти, в которую производится обращение, вторая – регистры для хране-

ния выбранных из памяти данных. Буфер записи также состоит из двух частей. В первой хранятся адреса ячейки памяти, в которую производится обращение, во второй хранятся записываемые данные (рис. 1).

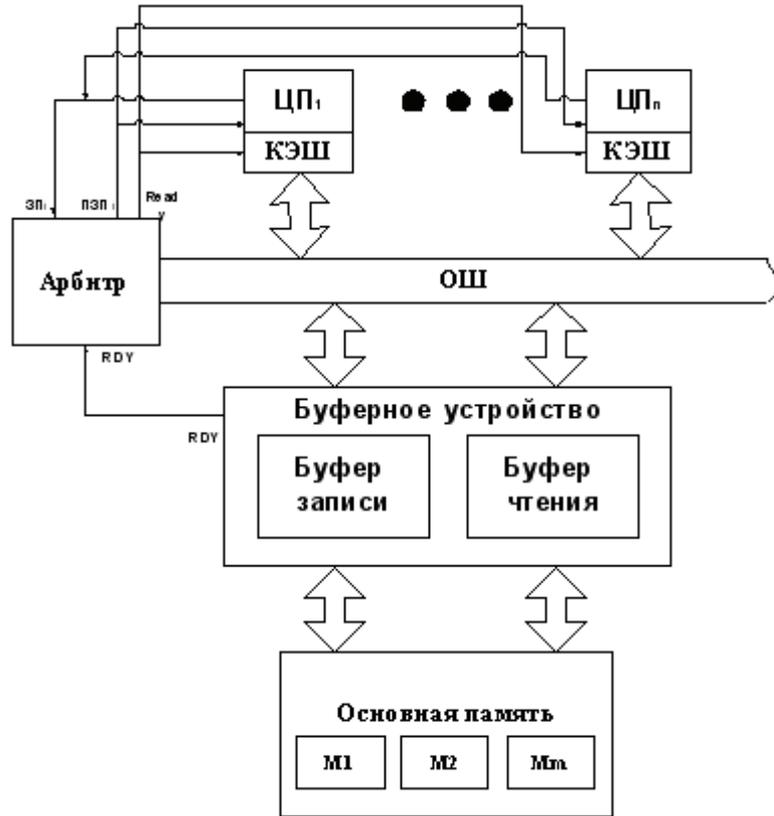


Рисунок 1 – Структурная схема многопроцессорной системы с буферным устройством памяти

Часть запросов обслуживаются в кэш процессоров; в случае кэш-промаха запрос по коммутационной сети передаётся в память.

Вначале рассмотрим модель взаимодействия аппаратных ресурсов при выполнении транзакции чтения в многопроцессорной системе с коммутационной сетью на основе общей шины, функционирующей в режиме расщепления транзакций [3]. Расщеплению подвергается операция чтения памяти, причём она делится на адресную транзакцию и транзакцию данных.

Выполнение транзакции проходит две фазы обслуживания: сначала общей шиной, затем одним из модулей памяти. Перед началом выполнения транзакции процессор запрашивает у арбитра доступ к шине. Если шина свободна, процессор выставляет на неё адрес слова, который сохраняется в контроллере памяти, после чего шина освобождается, а процессор переходит в режим ожидания. Процедура чтения с расщеплением транзакций допускает совмещение по времени сразу нескольких транзакций, формируе-

мых разными процессорами. В начале операции чтения запрашивающий процессор занимает шину, выставляет на неё адрес и сигнал чтения, которые фиксируются в буфере чтения. Эта транзакция выполняется быстро, поскольку буферы реализуются на аппаратных регистрах. После этой процедуры процессор отключается от шины. Процедура физического чтения происходит в памяти самостоятельно под управлением контроллера. Буферное устройство самостоятельно осуществляет процесс физического чтения данных из модуля памяти и сохранения результата в одном из регистров буфера чтения. В подходящий момент времени, когда шина свободна, данные возвращаются процессору [2].

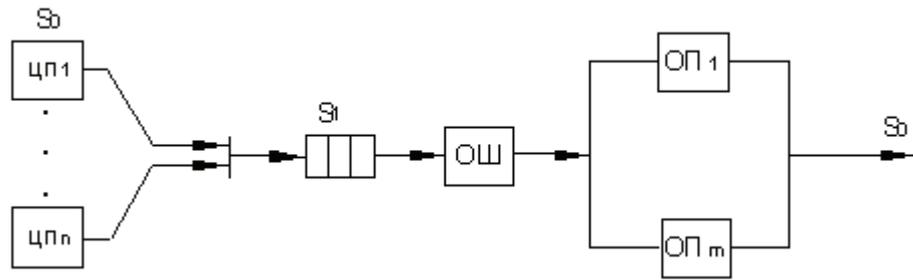
Пропускная способность шины при этом повышается, поскольку она освобождается на время физического процесса чтения слова (пакета) данных из памяти. Это время может быть использовано другим процессором на выполнение своих запросов. Однако шина обслуживает каждую транзакцию чтения дважды, что вносит дополнительные задержки в выполняемые операции.

Запрос на запись так же, как и запрос на чтение проходит две фазы обслуживания: шиной и модулем памяти. При выполнении транзакции записи запрашивается доступ к шине, и если она свободна, то процессор выставляет на неё адрес и слово данных, после чего освобождает шину. Они сохраняются в регистрах буфера записи, после чего процессор освобождает шину, поскольку обратная реакция памяти в этом случае отсутствует. Процедура физической записи в память происходит под управлением буферного устройства.

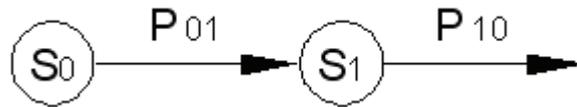
При занятой шине процессор переходит в режим ожидания до её освобождения. Если занят запрашиваемый модуль памяти, то запрос становится в очередь (очередь реализуется аппаратурой буферного устройства). Чем больше процессоров содержит МПС, тем больше очереди к шине и к модулям памяти, следовательно, выше потери производительности из-за конфликтов при доступе к шине.

Структура модели МПС с архитектурой UMA и её граф передач показаны на рис. 2. Источником заявок являются процессоры ( $S_0$ ), генерирующие потоки транзакций чтения и записи в память. В качестве обслуживающих приборов выступают общая шина и общая память в виде многоканального прибора обслуживания ( $S_1$ ). Поток заявок,  $\alpha_i$  моделируют транзакции обращения  $i$ -го процессора к глобальной (удалённой) памяти. Все входящие в СМО потоки считаются простейшими, а времена обслуживания распределёнными по экспоненциальному закону [4].

Структура модели МПС с архитектурой UMA с буферным устройством и её граф передач показаны на рис. 3. В качестве обслуживающих приборов выступают общая шина ( $S_1$ ), буферное устройство и общая память ( $S_2$ ).

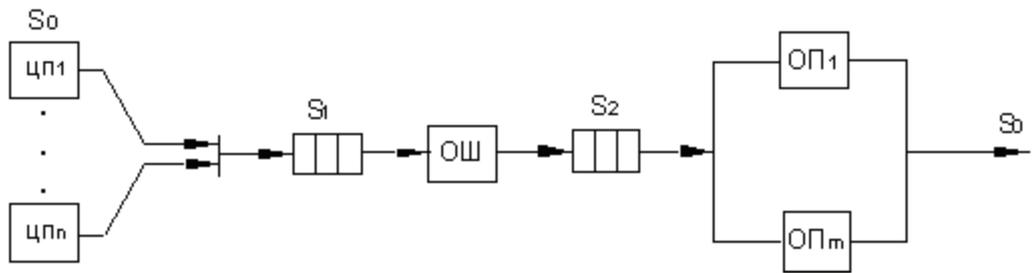


а)

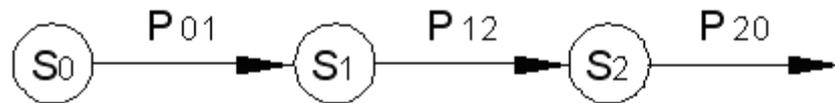


б)

Рисунок 2 – Структура модели МПС с архитектурой памяти UMA (а) и граф передач стохастической сети (б)



а)



б)

Рисунок 3 – Структура модели МПС с архитектурой памяти UMA с буферным устройством (а) и граф передач стохастической сети (б)

После моделирования приведённых выше структур многопроцессорных систем получили результаты, которые представлены в виде графиков на рис. 4 – 6.



Рисунок 4 – Влияние числа ЦП на загрузку памяти в многопроцессорной системе UMA без буферного устройства и при его наличии при обращении к памяти



Рисунок 5 – Влияние числа модулей памяти на её загрузку в многопроцессорной системе UMA без буферного устройства и при его наличии при обращении к памяти



Рисунок 6 – Влияние числа процессоров на среднее число задач в многопроцессорной системе UMA без буферного устройства и при его наличии при обращении к памяти

Предложенные модели были применены для получения сравнительных характеристик многопроцессорных систем с общей шиной (ОШ) и архитектурой памяти типа UMA с буферным устройством памяти и без него. Моделирование производилось с помощью программы расчёта стохастических сетей массового обслуживания [4]. Исходные данные были получены для архитектур, в которых использовались процессоры Pentium 4 с тактовой частотой 2800 МГц, модули памяти DDR PC-3200 400 МГц DDR (время такта – 5 нс) и шина QDR 800МГц (QDR, время такта – 5 нс, цикл шины – 2,5 нс). Время обращения к памяти рассчитывалась на основе её таймингов и статистических данных о шансах возникновения разных режимов доступа. Это время составило 37,5 нс.

Во всех вариантах моделирования “узким местом” являлась общая шина. По результатам расчётов можно сделать выводы и предложить вполне конкретные решения по увеличению производительности МПС.

В МВС архитектуры UMA при функционировании в многозадачном режиме поток заявок непрерывно возрастает, что объясняет большее число обслуженных заявок. При этом латентность памяти данной системы ниже, чем при однозадачном режиме. Это объясняется тем, что ПУ, не ожидая ответа памяти, делают новый запрос. При этом жизнеспособность системы выше, поскольку даже при высоком потоке заявок система не перегружена, в отличие от первой, где подсистема памяти не справляется с высокой интенсивностью запросов.

На основании предложенных в работе моделей разработаны и исследованы стохастические сетевые модели для получения сравнительных характеристик четырёхпроцессорных систем с архитектурой памяти UMA с буферным устройством памяти и без него.

Исходя из проведённых исследований, можно сделать ряд выводов, подтверждающих право использования систем с буферным устройством памяти. В системе UMA без буфера основная задержка возникает на общей шине – “узком месте” системы. Максимальное количество процессоров в рассмотренном примере – от 2-х до 7. При добавлении 8 процессора наступает перегрузка подсистемы “процессор-память”. При наличии буфера число процессоров в этой же системе можно расширить до 9 (при режиме “запись”) либо до 10 (при режиме “чтение”). Перегрузка наступит только при добавлении 11 процессора в систему (рис. 4). Исследовав влияние количества модулей памяти, можно сделать вывод, что с использованием буфера можно включать в систему меньше модулей памяти, чем в системе без него (рис. 5). Дело в том, что при операциях записи или чтения процессоры могут отправлять запросы в память на уже известные данные, они уже могут находиться в буферном устройстве. Также были проведены исследования, касаемые среднего числа задач в многопроцессорной системе. При использовании буфера можно достичь увеличения числа задач (при увеличении числа процессоров в системе) (рис. 6). Таким образом, используя буферное устройство памяти, “узкое место” многопроцессорной системы – общую шину – можно “расшить”, снизив тем самым загрузку подсистемы “процессор-память”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. *Организация ЭВМ и систем : Учебник для вузов.* – СПб. : Питер, 2004. – 688 с.
2. Бикташев Р.А., Князьков В.С. *Многопроцессорные системы. Архитектура, топология, анализ производительности : Учебное пособие.* – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. – 107 с.
3. Хамакер К., Вранешич З., Заки С. *Организация ЭВМ.* – 5-е изд. – СПб. : Питер ВHV, 2003. – 848 с.
4. Бикташев Р.А. *Разработка метода анализа архитектур вычислительных систем с использованием моделирования / Р.А. Бикташев, В.А. Кичкидов, Э.Ю. Алиев, С.В. Резуев // Модернизация системы управления качеством образовательного процесса в высшей школе : Сб. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2007. – С. 102 – 110.*

УДК 681.32

ББК 30

**УСТРОЙСТВО ОПТИМИЗАЦИИ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ  
МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ ГРАФА НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ  
КОММИВОЯЖЁРА**

© Л.И. Федосеева, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

**OPTIMIZATION DEVICE FOR THE SHORTEST PATH BETWEEN  
THE GRAPH VERTEXES ON THE EXAMPLE OF TRAVELLING  
SALESMAN PROBLEM**

© L.I. Fedoseeva, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В статье показано, что многие комбинаторные задачи могут быть решены с помощью методов теории графов, отличающихся вычислительными затратами. Наиболее эффективным считается алгоритм Дейкстры, предложенный в 1959 году. Этот алгоритм подробно рассмотрен на примере задачи коммивояжера.

**Ключевые слова:** теория графов, алгоритм Дейкстры, вершины, задача коммивояжера.

The article shows that many combinatorial problems can be solved by the methods of the theory of graphs that have different computational costs. The most effective one is Dijkstra algorithm, proposed in 1959. This algorithm is discussed in detail on the example of the traveling salesman problem.

**Key words:** theory of graphs, Dijkstra algorithm, the vertexes, the traveling salesman problem.

Анализ алгоритмов, применяемых в настоящее время для поиска кратчайших путей между вершинами графа, позволил выявить алгоритмы Уоршолла, Дейкстры, Форда, Флойда, Данцега, Флойда – Уоршолла.

Кратчайший путь – это путь минимального общего веса, соединяющий выбранные вершины. Общий вес равен сумме весов всех дуг, составляющих путь. Общий вес кратчайшего пути, ведущего из вершины  $x_i$  в вершину  $x_j$ , называют расстоянием от  $x_i$  до  $x_j$ . Задача о кратчайшем пути состоит в нахождении кратчайшего пути от заданной начальной вершины  $x_i \in X$  до заданной конечной вершины  $x_j \in X$  при условии, что этот путь существует, то есть при условии  $x_j \in R(x_i)$ , где  $R(x_i)$  – множество вершин, достижимых из вершины  $x_i$ .

Алгоритм Уоршала позволяет ответить на вопрос, существует ли путь. Но часто этого недостаточно и нужно найти кратчайший между заданными вершинами графа. Все остальные алгоритмы с разными вычислительными затратами позволяют решать поставленную задачу, но наиболее эффективным считается алгоритм Дейкстры (Dijkstra), предложенный в 1959 году. Алгоритм Дейкстры выбирает кратчайший путь от любой вершины  $x_i$  до любой вершины  $x_j$ . Алгоритм ориентирован на отыскание кратчайших путей в орграфе с неотрицательными длинами дуг. Алгоритм Форда является

модифицированным алгоритмом Дейкстры. Его можно использовать для графов, в которых некоторые из дуг имеют отрицательные длины [1], однако не допускается наличие контуров отрицательной длины. Алгоритмы Флойда и Данцига позволяют находить кратчайшие пути между каждой парой вершин. В обоих алгоритмах для длин дуг допускаются отрицательные значения, но так же, как в алгоритме Форда не допускается наличие контуров отрицательной длины. Наиболее эффективным считается алгоритм Дейкстры. Рассмотрим этот алгоритм.

В общем случае алгоритм основан на приписывании вершинам временных пометок, причём пометка вершины даёт верхнюю границу длины пути от некоторой вершины  $x_i$  к рассматриваемой вершине. Эти пометки постепенно уменьшаются с помощью итерационной процедуры, и на каждом шаге итерации точно одна из временных пометок становится постоянной и даёт точную длину пути от  $x_i$  к рассматриваемой вершине.

Перед началом выполнения алгоритма все вершины и дуги не отмечены. Каждой вершине в ходе выполнения алгоритма присваивается число  $d(x_i)$ , равное длине кратчайшего пути из  $x_i$  в  $x_j$ , включающего только отмеченные вершины.

**Присвоение начальных значений.** Обозначить  $d(x_i)$  пометку исходной вершины и считать, что  $d(x_i) = 0$ . Отметить постоянной пометкой исходную вершину  $x_i$  и положить  $y = x_i$ , где  $y$  – последняя из отмеченных вершин. Остальные вершины имеют временные пометки, и считать, что для  $\forall x_j \neq y$   $d(x_j) = \infty$ . Алгоритм итерационный. Каждая итерация состоит из следующих шагов.

**Шаг 1.** Находим прямое отображение вершины  $y - \Gamma(y)$ . Для всех вершин  $x_i \in \Gamma(y)$ , пометки которых временные, пересчитать  $d(x_i)$  в соответствии с выражением:

$$d(x_i) \leftarrow \min [d(x_i), d(y) + t(y, x_i)], \quad (1)$$

где  $t(y, x_i)$  – вес дуги  $(y, x_i)$ . Отметить ту из вершин  $x_i$ , для которой величина  $d(x_i)$  является минимальной:  $d(x_i^*) = \min d(x_i)$ . Кроме этого, отметить дугу  $(y, x_i)$ , для которой величина  $d(x_i)$  является минимальной. Считать пометку вершины  $x_i^*$  постоянной и положить  $y = x_i^*$ .

**Шаг 2.** Если  $y = x_j$ , закончить процедуру, кратчайший путь от  $x_i$  до  $x_j$  найден. Если  $y \neq x_j$ , то следует перейти к шагу 1. Следует сказать, что каждый раз, когда отмечается некоторая вершина (не считая начальной), отмечается и дуга, заходящая в эту вершину. Если существует несколько кратчайших путей от  $x_i$  к каким-либо другим вершинам, то выбор в этом случае может быть произвольным.

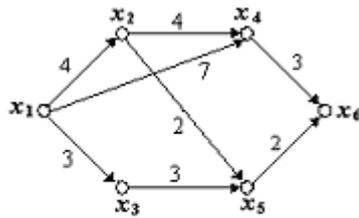
**При нахождении пути от  $x_i$  ко всем вершинам:**

- если все вершины отмечены постоянными метками, то эти метки дают длины кратчайших путей. Остановка;

- если метки являются временными, то следует перейти к шагу 1.

Алгоритм Дейкстры рассмотрим на примере взвешенного графа (рис. 1,а). Матрица весов дуг приведена на рис. 1,б. Требуется найти кратчайший путь от вершины  $x_1$  до вершины  $x_6$ .

**Присвоение начальных значений.** Отмечаем постоянной пометкой исходную вершину  $x_1$ :  $d(x_1) = 0$ ;  $\forall x_i \neq x_1 d(x_i) = \infty$ . Для каждой итерации в соответствующую строку таблицы 1 заносится отмеченная вершина и текущие значения  $d(x_i)$ .



а)

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_1$		4	3	7		
$x_2$				4	2	
$x_3$					2	
$x_4$						3
$x_5$						2
$x_6$						

б)

Рисунок 1 – Пример поиска кратчайшего пути: а) граф; б) матрица весов дуг

### 1-я итерация

**Шаг 1.**  $y = x_1$ .  $\Gamma(x_1) = \{x_2, x_3, x_4\}$ .

Для всех вершин, входящих в  $\Gamma(x_1)$ , пометки которых временные, необходимо пересчитать  $d(x_i)$  в соответствии с выражением 1:

$$d(x_2) = \min [d(x_2), d(x_1) + t(x_1, x_2)] = \min [\infty, 0 + 4] = 4;$$

$$d(x_3) = \min [d(x_3), d(x_1) + t(x_1, x_3)] = \min [\infty, 0 + 3] = 3;$$

$$d(x_4) = \min [d(x_4), d(x_1) + t(x_1, x_4)] = \min [\infty, 0 + 7] = 7.$$

Массив временных пометок имеет вид:  $\{d(x_2), d(x_3), d(x_4)\} = \{4, 3, 7\}$ .

Полученные значения заносим в строку 1 таблицы 1.

Поскольку величина  $d(x_3) = 3$  является минимальной, то вершина  $x_3$  отмечается –  $x_3^*$ . Также отмечается и дуга  $(x_1, x_3) - (x_1, x_3)^*$ . Наименьшее из значений  $d(x_i)$  среди неотмеченных вершин в табл. 1 выделено полужирным шрифтом.

**Шаг 2.** Поскольку вершина  $x_6$  не отмечена, переходим к шагу 1. Текущее дерево кратчайших путей состоит из дуги  $(x_1, x_3)^*$  (рис. 2,а).

### 2-я итерация

**Шаг 1.**  $y = x_3$ .  $\Gamma(x_3) = \{x_5\}$ .  $d(x_5) = \min [d(x_5), d(x_3) + t(x_3, x_5)] = \min [\infty, 3 + 3] = 6$ . Заполняя строку 2 таблицы 1, заменим  $d(x_5)$  на 6. Массив временных пометок имеет вид:  $\{d(x_2), d(x_4), d(x_5)\} = \{4, 7, 6\}$ . Поскольку величина  $d(x_2) = 4$  является минимальной, то вершина  $x_2$  отмечается –  $x_2^*$ . Также отмечается и дуга  $(x_1, x_2) - (x_1, x_2)^*$ .

**Шаг 2.** Поскольку вершина  $x_6$  не отмечена, переходим к шагу 1. Текущее дерево кратчайших путей состоит из дуг  $(x_1, x_3)^*$  и  $(x_1, x_2)^*$  (рис. 2,б).

### 3-я итерация

В результате текущее дерево кратчайших путей будет состоять из дуги  $(x_1, x_3)^*$ ,  $(x_1, x_2)^*$  и  $(x_2, x_5)^*$  (рис. 2,в).

### 4-я итерация

В результате текущее дерево кратчайших путей будет состоять из дуг  $(x_1, x_3)^*$ ,  $(x_1, x_2)^*$ ,  $(x_2, x_5)^*$  и  $(x_1, x_4)^*$  (рис. 2,г).

Таблица 1. Вычисления по алгоритму Дейкстры

Итерация	Отмеченная вершина	Расстояние до вершины					
		$d(x_1)$	$d(x_2)$	$d(x_3)$	$d(x_4)$	$d(x_5)$	$d(x_6)$
Начало	$x_1$	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
1 итерация	$x_1^*$	0	4	3	7	$\infty$	$\infty$
2 итерация	$x_3^*$	0	4	3*	7	6	$\infty$
3 итерация	$x_2^*$	0	4*	3*	7	6	$\infty$
4 итерация	$x_5^*$	0	4*	3*	7	6*	8
5 итерация	$x_4^*$	0	4*	3*	7*	6*	8

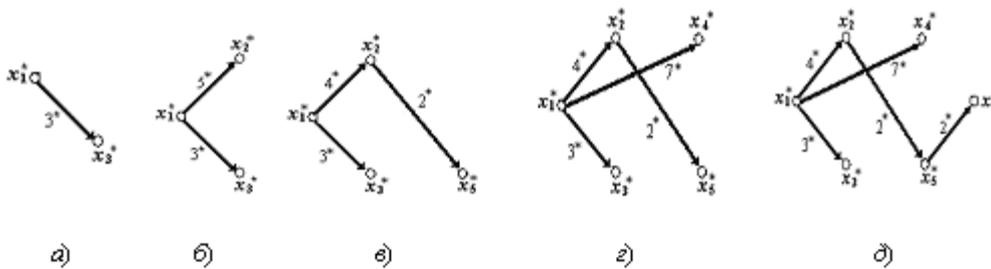


Рисунок 2 – Текущие деревья кратчайшего пути – а), б), в), г) и окончательно построенное дерево кратчайших путей – д)

**5-я итерация**

**Шаг 1.**  $y = x_4$ .  $\Gamma(x_4) = \{x_6\}$ .  $d(x_6) = \min [d(x_6), d(x_4) + t(x_4, x_6)] = \min [8, 7 + 3] = 8$ .

**Шаг 2.** Наконец, вершина  $x_6$  отмечается –  $x_6^*$ . Также отмечается и дуга  $(x_5, x_6) - (x_5, x_6)^*$ . Окончательно построенное дерево кратчайших путей состоит из дуг  $(x_1, x_3)^*$ ,  $(x_1, x_2)^*$ ,  $(x_3, x_5)^*$ ,  $(x_2, x_4)^*$  и  $(x_5, x_6)^*$  (рис. 2, д).

Кратчайший путь, соединяющий вершину  $x_1$  с вершиной  $x_6$ , состоит из дуг  $(x_1, x_2)$ ,  $(x_2, x_5)$  и  $(x_5, x_6)$  и имеет длину  $4+2+2 = 8$ . Это не единственный кратчайший путь между вершинами  $x_1$  и  $x_6$ . Путь, состоящий из дуг  $(x_1, x_3)$ ,  $(x_3, x_5)$  и  $(x_5, x_6)$ , имеет длину  $3+3+2 = 8$  и также является кратчайшим путём между вершинами  $x_1$  и  $x_6$ . Кратчайший путь будет единственным в том случае, если при выполнении алгоритма ни разу не возникает неоднозначность в выборе отмечаемой дуги.

Задача поиска на графе кратчайшего пути между каждой парой вершин может быть решена путём многократного применения алгоритма Дейкстры с последовательным выбором каждой вершины графа в качестве вершины  $s$ . Но реализация этой процедуры потребовала бы сравнительно больших вычислительных затрат.

При выборе алгоритма решения поставленной задачи следует провести сравнение объёмов вычислений по каждому из алгоритмов. Осуществляемая при этом процедура оценки числа операций, выполняемых в том или ином алгоритме, получила название анализа вычислительной сложности. Анализ вычислительной сложности достаточно просто проводить для

таких алгоритмов, в которых число выполняемых операций практически неизменно. Именно такими алгоритмами при фиксированном исходном графе являются алгоритмы Дейкстры, Флойда и Данцига. А в алгоритме Форда точное число операций, в которых не может быть определено заранее. Для таких алгоритмов при анализе вычислительной сложности обычно определяют верхнюю границу возможного числа операций.

Как видно из описания алгоритмов поиска кратчайших путей, в основном они состоят из операций двух типов: операции сложения и операции сравнения по минимуму. При анализе вычислительной сложности любого из этих алгоритмов обычно предполагается, что для выполнения обеих операций требуется одинаковое время.

### **Аппаратное решение задачи коммивояжёра**

Во многих информационных технологиях, связанных с нахождением оптимальной, с некоторой точки зрения, последовательности обхода совокупности объектов на плоскости, используется *задача коммивояжёра*. Задача коммивояжёра имеет ряд применений в исследовании операций, в частности, при решении некоторых транспортных проблем. Задача коммивояжёра заключается в отыскании самого выгодного маршрута, проходящего через указанные города по одному разу с последующим возвратом в исходный город. При этом на маршрут накладываются два ограничения:

- маршрут должен быть замкнутым, то есть коммивояжёр должен вернуться в тот город, из которого он начал движение;
- в каждом из городов коммивояжёр должен побывать только один раз.

В условиях задачи указывается критерий выгодности маршрута и соответствующие матрицы расстояний, стоимости и т.п. Целью решения является нахождения маршрута, удовлетворяющего всем условиям и при этом имеющего минимальную сумму затрат. Решить поставленную задачу можно различными способами, которые отличаются точностью и скоростью решения. Существующие алгоритмы – полного перебора, “деревянный” алгоритм, “жадный” алгоритм, алгоритм ветвей и границ уступают в скорости в вычислительных затратах алгоритму Дейкстры, предложенному в 1959 году и рассмотренному выше.

Алгоритм Дейкстры позволяет найти кратчайший путь между заданной исходной вершиной и любой другой вершиной графа. Кратчайшим путём будем называть путь с минимальной суммой цен вдоль пути. Ценой назовем неотрицательное число, являющееся весом ребра. Сущность алгоритма заключается в процедуре добавления ещё одной вершины к множеству отмеченных вершин. Эта процедура состоит из двух шагов:

1. Строится множество вершин, инцидентных отмеченным, и находится среди них вершина с наименьшей ценой. Найденная вершина добавляется в множество отмеченных.
2. Строится множество вершин, инцидентных отмеченным, и определяются для них новые цены.

Новая цена вершины – это минимальная цена пути от множества отмеченных вершин до данной вершины. Строится новая цена так: а) для не-

отмеченной вершины во множестве отмеченных определяется подмножество вершин, инцидентных данной; б) для каждой вершины отмеченного подмножества определяется цена пути до данной вершины; в) определяется минимальная цена. Эта цена и становится ценой вершины.

Алгоритм работает с двумя типами цен: ценой ребра и ценой вершины. Смысл этих цен различен. Цены рёбер являются постоянной величиной, это цена перехода из вершины в вершину, соединённую этим ребром. Цена вершины – это цена минимального пути, она постоянно пересчитывается. Фактически, есть смысл пересчитывать предварительные цены только для тех вершин, которые связаны с вершиной, добавленной во множество отмеченных на последнем шаге, т.к. для других вершин нет причин изменения предварительной цены.

Для реализации алгоритма разработана электрическая структурная схема, приведённая на рис. 3. Схема состоит из следующих узлов:

ТГ – тактовый генератор, БС – блок сопряжения, предназначен для связи устройства с ЭВМ, БУ – центральный блок управления, предназначен для управления работой всего устройства, БВВД – блок ввода-вывода данных, ММГ – матричная модель графа, содержит электронную модель графа, БПМП – блок поиска минимального пути, анализирует значения кратчайших путей для всех неотмеченных вершин и выбирает минимальное, БПКП – блок поиска кратчайших путей, реализует алгоритм нахождения кратчайшего пути между двумя вершинами графа, БОП – блок операндов, предназначен для установки начальных данных, а также для хранения промежуточных результатов, БФВР – блок формирования результата, формирует кратчайшую цепь, содержащую все вершины графа.

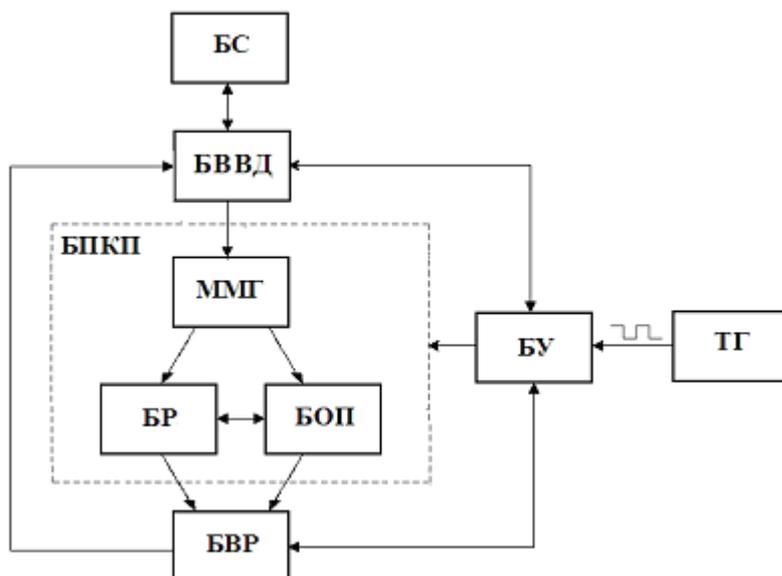


Рисунок 3 – Электрическая структурная схема устройства

Устройство реализовано на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) семейства Spartan-II. Устройство выполнено в виде функционально законченного блока. Для проверки функционирования схемы использовалась САПР Foundation, в результате получены временные диаграммы, показывающие работу устройства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томас Х. Кормен, Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Л. Рональд Ривест, Клиффорд Штайн. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1296 с.
2. Ахо. Структуры данных и алгоритмы : Пер. с англ.; Учеб. пос. / Ахо, Альфред, В., Хопкрофт, Джон, Ульман, Д. Джефффри. – М. : Вильямс, 2000. – 384 с.
3. Хаггарти Р. Дискретная математика для программистов. – М. : Техносфера, 2005. – 400 с.

УДК 621.373

ББК: 32

### АНАЛИЗ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ

© В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### THE ANALYSIS OF INTERPOLATING SYNCHRONIZATION SYSTEM

© V.A. Chulkov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Рассмотрены принципы построения интерполирующих цифровых систем синхронизации на основе мультифазного кольцевого генератора, обладающих расширенным частотным диапазоном благодаря сокращённому шагу дискретизации времени. Выполнен анализ динамических свойств интерполирующей системы с релейной и пилообразной формами дискриминационной характеристики фазового сравнения.

**Ключевые слова:** синхронизация, интерполяция, цифровой, фазовый компаратор, мультифазный кольцевой генератор.

The author considers the principles of interpolating digital synchronization systems building on the basis of the multiphase ring oscillator, the device having extended frequency rating due to reduced time of discretization step. The analysis of the dynamic properties of the interpolating system with relay or saw shapes of the phase comparison discrimination characteristics was performed.

**Key words:** synchronization, interpolation, digital, phase comparator, multiphase ring oscillator.

E-mail: chu@pgta.ru

Цифровые системы фазовой синхронизации обладают стабильностью и функциональной гибкостью [1], однако частотный диапазон сигналов в них

ограничен разрешением по времени, равным, как и в любой цифровой системе, тактовому периоду. Эффективным средством достижения сокращённого кванта времени является фазовая интерполяция, способная обеспечить разрешение в доли задержки логического вентиля [2]. Целью настоящей работы является рассмотрение технических принципов построения и уточнения динамических свойств цифровой интерполирующей системы синхронизации.

Свойства системы синхронизации зависят от формы дискриминационной характеристики фазового сравнения, характеристика релейного типа при широкополосном захвате не обеспечивает точной синхронизации ввиду шума квантования фазы [3]. Сравнение ряда кусочно-линейных характеристик, свойственных цифровым фазовым компараторам, показывает преимущество пилообразной формы характеристики. Так, известные результаты расчётов коэффициентов статистической линеаризации [4] свидетельствуют о меньшей эквивалентной крутизне  $S_{\partial\varphi}$  пилообразной характеристики при той же полосе удержания, что достигается треугольной и трапециевидальной формами характеристики с равными размахами  $U_M$ . Ввиду того, что модуль передаточной функции устройства оказывается наименьшим, достигается минимум динамической погрешности синхронизации.

Если отождествить срыв синхронизма с достижением фазовой разности  $\Delta\varphi$  границ апертюры дискриминационной характеристики  $\pm\pi$ , то вероятность срыва за время наблюдения  $t_n$  в кольце PLL с интегрирующим фильтром определяется выражением [5]

$$P(t_n) = \frac{t_n}{\tau_\Phi} \cdot \frac{\sqrt{S_{\partial\varphi} K_\Gamma \tau_\Phi}}{\pi} \cdot \exp\left(-\frac{2\pi^2 S_{\partial\varphi}}{K_\Gamma N_0}\right), \quad (1)$$

где  $\tau_\Phi$  – постоянная времени фильтра,  $K_\Gamma$  – крутизна модуляционной характеристики МКГ,  $N_0$  – спектральная плотность белого шума на входе фильтра. Входящую в (1) величину  $N_0$  можно представить как функцию дисперсии фазы входных сигналов, воспользовавшись понятием эффективной полосы спектра случайного процесса  $\Delta F_{\text{эфф}}$ :

$$N_0 = S_{\partial\varphi} \sigma_{\varphi 0}^2 / \Delta F_{\text{эфф}}. \quad (2)$$

Тогда вероятность срыва синхронизма запишется как

$$P(t_n) = \frac{t_n}{\pi \tau_\Phi} \sqrt{S_{\partial\varphi} (\sigma_X) K_\Gamma \tau_\Phi} \exp\left(-\frac{2\pi^2 \Delta F_{\text{эфф}}}{S_{\partial\varphi} (\sigma_X) K_\Gamma \sigma_X^2}\right). \quad (3)$$

Данное выражение связывает вероятность срыва со среднеквадратическим отклонением фазы  $\sigma_X$ . Результаты расчёта вероятности срыва (рис. 1: 1 – симметрично-треугольная, 2 – трапециевидальная, 3 – пилообразная характеристики) демонстрируют преимущество пилообразной формы.

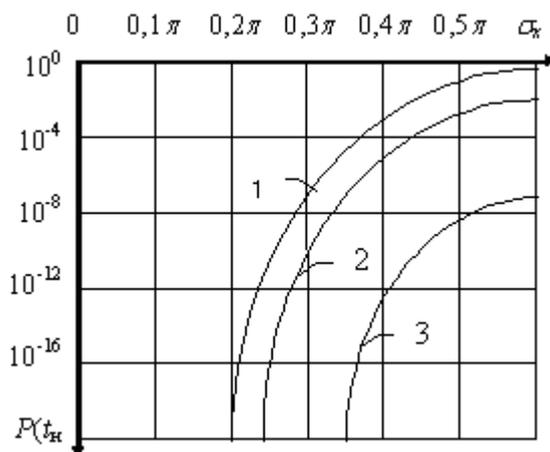


Рисунок 1 – Вероятность срыва синхронизма

Один из возможных способов получения пилообразной характеристики, состоящий в вычислении разности числовых эквивалентов фаз входного  $X$  и выходного  $Y$  сигналов, реализован в структуре устройства синхронизации [6] (рис. 2).

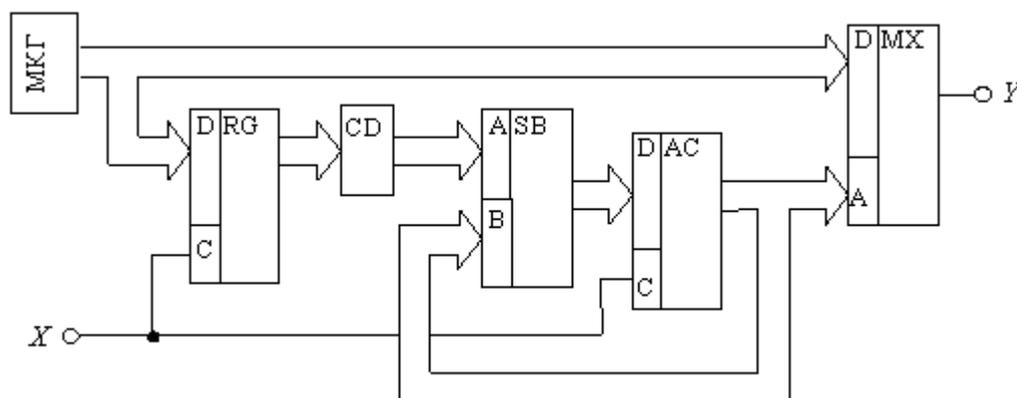


Рисунок 2 – Схема устройства интерполирующей синхронизации с пилообразной характеристикой фазового сравнения

В момент поступления входного сигнала  $X$   $N$ -разрядный регистр совместно с шифратором  $CD$  фиксирует состояние выходов  $N$ -каскадного МКГ в виде двоичного  $n$ -разрядного кода – цифрового эквивалента фазы сигнала  $X$ , отражающего номер выхода МКГ, на котором обнаруживается смена логического состояния. Вычитатель  $SB$  осуществляет фазовое сравнение, вычисляя значение фазовой ошибки  $\Delta = \Phi_X - \Phi_Y$  как разности по модулю  $N$  двух чисел, вторым из которых служит адресный код мультиплексора. С целью ограничения апертюры дискриминационной характеристики участком  $\pm \pi$ , что гарантирует устранение эффекта частотной дискриминации, недопустимого

## АНАЛИЗ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ

при работе с нерегулярными сигналами данных, сигнал заёма вычитателя игнорируется, а старший разряд разности считается знаковым. Аккумулятор АС добавляет цифровой сигнал фазовой ошибки к уже имеющемуся адресу мультиплексора, для придания АС фильтрующих свойств с мультиплексором связаны лишь его старшие разряды. Число на выходе АС не требует преобразования, оно считается всегда положительным и отражает по модулю  $2\pi$  фазу выходного сигнала. Если в начале процесса подстройки код фазовой разности сдвинуть в разрядной сетке, приведя его к старшим разрядам, то синхронизм достигается с первым же сигналом  $X$ .

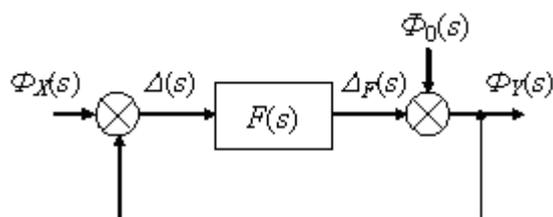


Рисунок 3 – Линеаризованная модель устройства

Для анализа системы воспользуемся её линеаризованной моделью, приведённой на рис. 3. При постоянной частоте входных сигналов  $\omega_X$  их нарастающая фаза  $\Phi_X(t) = \omega_X t + \varphi_{X0}$ , где  $\varphi_{X0}$  – начальная фаза сигналов  $X$ , в области изображений по Лапласу выглядит как  $\Phi_X(s) = \omega_X / s^2 + \varphi_{X0} / s$ . Полную фазу колебаний МКГ с нулевой начальной фазой можно записать в виде  $\Phi_0(s) = \omega_0 / s^2$ . Фаза выходного сигнала  $Y$  представляет собой сумму фазы опорного сигнала МКГ и приращения по его субшкале  $\Phi_Y(s) = \Phi_0(s) + \Delta_F(s)$ , которое формируется на выходе цифрового фильтра (ЦФ) с функцией передачи  $F(s)$ . Поскольку

$$\Delta_F(s) = [\Phi_X(s) - \Phi_Y(s)] \times F(s),$$

то фазу выходного сигнала можно записать в виде

$$\Phi_Y(s) = \frac{\left(\omega_0 / s^2\right) + F(s) \left[\left(\omega_X / s^2\right) + \left(\varphi_{X0} / s\right)\right]}{1 + F(s)}. \quad (4)$$

Решение уравнения зависит от передаточной функции ЦФ, который обязан включать, по крайней мере, одно интегрирующее звено, обеспечивающее режим синхронизма с постоянной фазовой ошибкой при  $\omega_X \neq \omega_0$ .

Если фильтр выполняется в виде интегрирующего звена (накапливающего сумматора)  $F(s) = K_1 / s$  ( $K_1$  с размерностью  $1/c$  – коэффициент передачи интегратора), изображение фазы выходного сигнала имеет вид

$$\Phi_Y(s) = (\omega_0 + K_1\varphi_{X0}) \frac{s + K_1\omega_X / (\omega_0 + K_1\varphi_{X0})}{s^2(s + K_1)}. \quad (5)$$

В области оригиналов решение выглядит как

$$\Phi_Y(t) = M \times \frac{1}{\alpha^2} \left[ \alpha b_0 t + (\alpha - b_0)(1 - e^{-\alpha t}) \right] \quad (6)$$

при  $\alpha = K_1, b_0 = K_1\omega_X / (\omega_0 + K_1\varphi_{X0}), M = \omega_0 + K_1\varphi_{X0}$ . После подстановки значений коэффициентов в (6) получим

$$\Phi_Y(t) = \omega_X t + \left( \frac{\Delta\omega}{K_1} + \varphi_{X0} \right) (1 - e^{-K_1 t}), \quad (7)$$

где  $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_X$  – начальная расстройка частоты МКГ. Следовательно, в устройстве с одним интегратором переходный процесс установления фазы носит характер аperiодического приближения, установившаяся ошибка постоянна и тем меньше, чем выше коэффициент передачи интегратора:

$$\begin{aligned} \Phi_Y(t) &= \omega_X t + \varphi_{X0} + \frac{\Delta\omega}{K_1} = \Phi_X(t) + \Delta_{уст}, \\ \Delta_{уст} &= \Delta\omega / K_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, интерполирующая система с одним интегратором обладает статизмом в отношении фазы подобно системе ФАПЧ первого порядка.

Введение астатизма позволяет свести к нулю статическую ошибку синхронизации при постоянной входной частоте. С этой целью в систему включается второе интегрирующее звено. Модель системы второго порядка (рис. 4) имеет коэффициент передачи разомкнутой петли

$$F(s) = \left( 1 + \frac{K_2}{s} \right) \frac{K_1}{s} = \frac{K_1(s + K_2)}{s^2}, \quad (9)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты передачи первого и второго интеграторов соответственно (1/с).

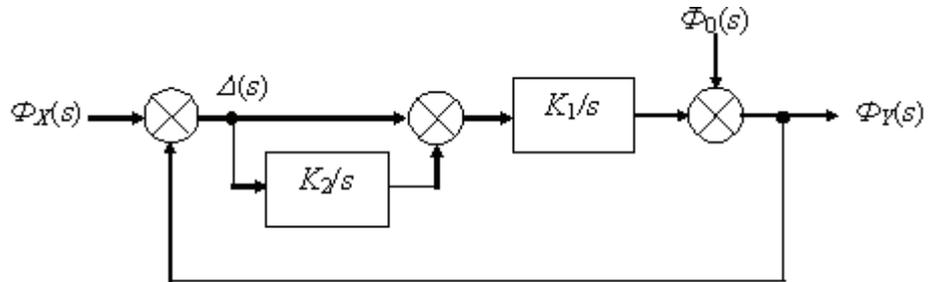


Рисунок 4 – Модель астатической системы

Подставив в общую формулу (4) значение  $F(s)$  из (9), найдем

$$\Phi_Y(s) = (\omega_0 + K_1\varphi_{X0}) \times \frac{s^2 + \frac{K_1(\omega_X + K_2\varphi_{X0})}{\omega_0 + K_1\varphi_{X0}}s + \frac{K_1K_2\omega_X}{\omega_0 + K_1\varphi_{X0}}}{s^2(s^2 + K_1s + K_1K_2)}. \quad (10)$$

Оригинал решения зависит от расположения полюсов этого выражения:

$$s_1 = s_2 = 0; \quad s_3 = -\frac{K_1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}} \right); \quad s_4 = -\frac{K_1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}} \right).$$

При нулевых и комплексных полюсах ( $K_1/K_2 < 4$ ) решение имеет вид

$$\begin{aligned} \Phi_Y(t) = & \omega_X t + \varphi_{X0} - \varphi_{X0} \sqrt{1 + \left( \frac{\Delta\omega}{\varphi_{X0}} - \frac{K_1}{2} \right)^2} / K_1 \left( K_2 - \frac{K_1}{4} \right) \times e^{-\frac{K_1}{2}t} \times \\ & \times \sin \left( \sqrt{K_1 \left( K_2 - \frac{K_1}{4} \right)} t + \theta \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Учитывая, что  $\omega_X t + \varphi_{X0} = \Phi_X(t)$ , и введя безразмерное время  $\tau = \sqrt{K_1 K_2} t$ , получим выражение фазового рассогласования для случая  $\Delta\omega = 0$ :

$$\Delta(\tau) = \Phi_Y(\tau) - \Phi_X(\tau) = -\frac{\varphi_{X0}}{\sqrt{1 - \frac{K_1}{4K_2}}} e^{-\sqrt{\frac{K_1}{4K_2}}\tau} \sin \left( \sqrt{1 - \frac{K_1}{4K_2}}\tau + \theta \right). \quad (12)$$

Для случая скачка частоты ( $\varphi_{X0} = 0$ ) реакция устройства будет

$$\Delta(\tau) = -\frac{\Delta\omega / \sqrt{K_1 K_2}}{\sqrt{1 - \frac{K_1}{4K_2}}} e^{-\sqrt{\frac{K_1}{4K_2}}\tau} \sin \left( \sqrt{1 - \frac{K_1}{4K_2}}\tau + \theta \right). \quad (13)$$

В случае нулевых и вещественных полюсов ( $K_1/K_2 \geq 4$ ) решение зависит от их кратности. Если вещественные полюсы разные, то

$$\begin{aligned} \Phi_Y(t) = & \Phi_X(t) + \frac{1}{\sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}}} \left\{ \left[ \frac{\Delta\omega}{K_1} + \left( 1 - 2\frac{K_2/K_1}{1 - \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}}} \right) \varphi_{X0} \right] e^{-\sqrt{\frac{K_1}{4K_2}} \left( 1 - \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}} \right) \tau} - \right. \\ & \left. - \left[ \frac{\Delta\omega}{K_1} + \left( 1 - 2\frac{K_2/K_1}{1 + \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}}} \right) \varphi_{X0} \right] e^{-\sqrt{\frac{K_1}{4K_2}} \left( 1 + \sqrt{1 - 4\frac{K_2}{K_1}} \right) \tau} \right\}. \end{aligned} \quad (14)$$

Если  $\Delta\omega = 0$ , фазовое рассогласование запишется как

$$\Delta(\tau) = \frac{\varphi_{X0}}{\sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}}} \left\{ \left[ 1 - 2 \frac{K_2/K_1}{1 - \sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}}} \right] e^{-\frac{\sqrt{K_1}}{\sqrt{4K_2}} \left( 1 - \sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}} \right) \tau} - \left[ 1 - 2 \frac{K_2/K_1}{1 + \sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}}} \right] e^{-\frac{\sqrt{K_1}}{\sqrt{4K_2}} \left( 1 + \sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}} \right) \tau} \right\} \quad (15)$$

Для скачка частоты при  $\varphi_{X0} = 0$  зависимость  $\Delta(\tau)$  имеет тот же характер с максимумом при  $\tau = 0$ , равным  $\Delta\omega / \sqrt{1-4\frac{K_2}{K_1}}$ .

Если вещественные полюсы одинаковы ( $K_1/K_2 = 4$ ), то

$$\Delta(\tau) = \left[ \left[ \frac{2}{K_1} \Delta\omega + \varphi_{X0} \right] c - \varphi_{X0} \right] e^{-\tau}, \quad (16)$$

и при  $\Delta\omega = 0$  переходный процесс описывается соотношением  $\Delta(\tau) = \varphi_{X0}(\tau - 1)e^{-\tau}$ .

На рис. 5 представлены нормированные к начальной фазе  $\varphi_{X0}$  графики переходного процесса установления фазы для некоторых сочетаний значений коэффициентов передачи интеграторов. При любом отношении  $K_1/K_2$  постоянная времени огибающей экспоненты не превышает  $2/K_1$ , следовательно, по критерию 5%-ного приближения  $\Phi_Y$  к  $\Phi_X$  длительность процесса установления можно оценить как  $t_{уст} \cong 6/K_1$ . Отметим, что по сравнению с системой первого порядка (8) время установления в системе второго порядка оказывается в два раза большим.

Рассмотрим далее вопрос о целесообразном значении отношения  $K_1/K_2$ , оценив его влияние на флуктуационную фазовую ошибку ввиду джиттера входных сигналов. Для этого найдём амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) системы, показывающую зависимость отношения девиаций фазы на выходе и входе от частоты этих девиаций. Поскольку передаточная функция замкнутой системы с двумя интеграторами равна

$$W(s) = \frac{F(s)}{1+F(s)} = \frac{K_1(s+K_2)}{s^2 + K_1s + K_1K_2}, \quad (17)$$

то АЧХ можно представить в виде

$$|W(j\omega)| = W(\omega) = \frac{\sqrt{[K_1(K_1 - K_2)\omega^2 + (K_1K_2)^2]^2 + K_1^2\omega^6}}{(K_1K_2 - \omega^2)^2 + (K_1\omega)^2}. \quad (18)$$

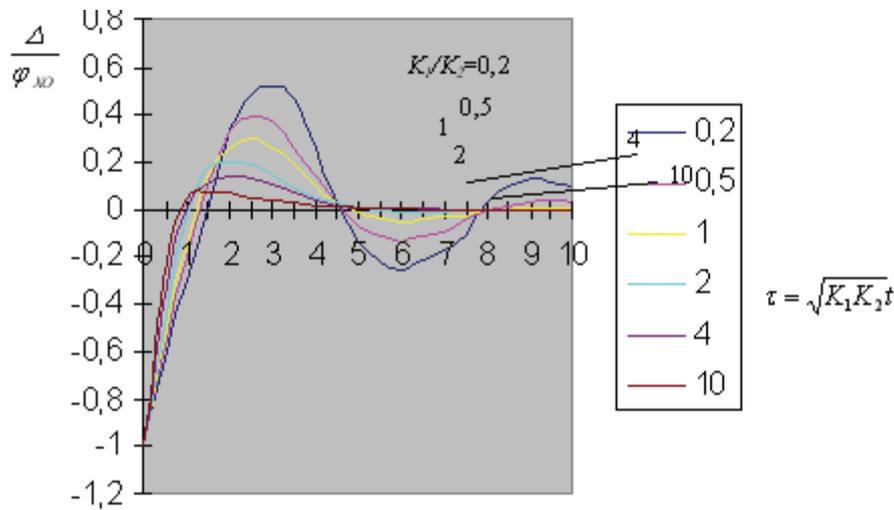


Рисунок 5 – Переходный процесс

Введя безразмерную частоту  $\nu = \omega / \sqrt{K_1K_2}$ , получим

$$W(\nu) = \sqrt{\left[ \left( \frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \nu^2 + 1 \right]^2 + \frac{K_1}{K_2} \nu^6} / \left[ (1 - \nu^2)^2 + \frac{K_1}{K_2} \nu^2 \right]. \quad (19)$$

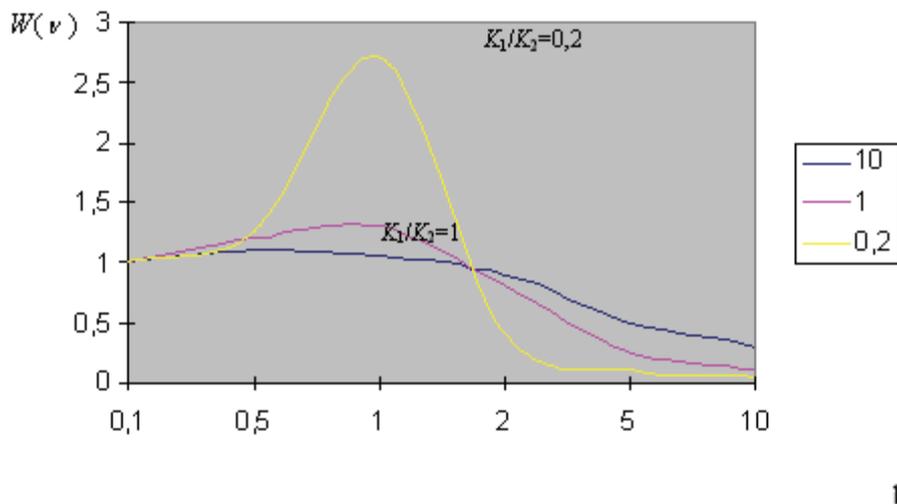


Рисунок 6 – Семейство АЧХ системы второго порядка

На рис. 6 представлено семейство АЧХ, построенное по формуле (19), в зависимости от значения  $K_1/K_2$ .

Если считать спектральную плотность фазового шума на входе  $S_x(\omega)$  равномерной в полосе пропускания АЧХ ( $S_x(\omega) = S_x(0)$ ), то с учётом  $W(0) = 1$  дисперсия фазового шума на выходе определится как

$$\sigma_F^2 = S_x(0) \Delta F_\Phi,$$

где  $\Delta F_\Phi$  – эквивалентная полоса пропускания системы, по определению равная

$$\Delta F_\Phi = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|K_1 K_2 + jK_1 \omega|^2}{|K_1 K_2 + (j\omega)^2 + jK_1 \omega|^2} d\omega.$$

После подстановки  $j\omega = s$  интеграл приводится к табличному виду

$$\Delta F_\Phi = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \frac{c(s)c(-s)}{d(s)d(-s)} ds$$

и имеет решение

$$\Delta F_\Phi = \frac{c_1^2 d_0 + c_0^2 d_2}{2d_0 d_1 d_2} = \frac{K_1 + K_2}{2}.$$

Проведённый анализ позволяет рекомендовать выбор  $K_1 \gg K_2$ , что обеспечивает АЧХ без заметного выброса и быстрое затухание переходного процесса установления фазы с постоянной времени, обратно пропорциональной эквивалентной полосе  $\Delta F_\Phi$ . Сравнение характеристик интерполирующей системы с характеристиками системы ФАПЧ [7] показывает их аналогию при условии, что фильтр в системе ФАПЧ имеет порядок, на единицу меньший. Заметим, что в интерполирующей системе с воздействием на фазу генератора сохраняется принципиальная возможность воздействия и на его частоту, что расширяет возможности её применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жодзишский М.И. Цифровые системы фазовой синхронизации / М.И. Жодзишский, С.Ю. Сила-Новицкий, В.А. Прасолов [и др.]; Под ред. М.И. Жодзишского. – М. : Сов. радио, 1980. – 208 с.
2. Чулков В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации. – М. : Физматлит, 2010. – 324 с.
3. Чулков В.А. Дискретно-фазовая автоподстройка частоты в устройстве синхронизации данных // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 1990. – Вып. 13. – С. 70 – 76.
4. Долгих М.С. Статистическая линеаризация дискриминационных характеристик радиотехнических следящих систем // Радиотехника. – 1982. – Т. 37. – № 7. – С. 33 – 36.

5. Чулков В.А. О характеристике фазового детектора в синхронизаторе выделителя данных НМД / В.А. Чулков, А.Д. Глыбовский // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 1984. – Вып. 13. – С. 55 – 58.

6. Патент РФ 2119717, МКИ H03L7/00. Устройство фазовой синхронизации / Чулков В.А. – № 97106276/09 ; Заявл. 15.04.1997 ; Оpubл. 27.09.1998.

7. Шахгильдян В.В. Системы фазовой автоподстройки частоты / В.В. Шахгильдян, А.А. Ляховкин. – М. : Связь, 1972. – 445 с.

УДК 621.317.18

ББК: 32

### ИНТЕРПОЛИРУЮЩИЙ ХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С СУБВЕНТИЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

© В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© И.В. Димов, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© С.А. Нестеренко, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### THE INTERPOLATING TIME-TO-DIGITAL CONVERTER WITH SUBGATE RESOLUTION

© V.A. Chulkov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© I.V. Dimov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© S.A. Nesterenko, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Рассмотрены технические принципы организации цифрового интерполирующего преобразователя однократных интервалов времени на основе программируемой вентильной матрицы, в котором субвентильное разрешение по времени достигается за счёт усреднения результатов преобразования нескольких параллельно работающих каналов.

**Ключевые слова:** интерполяция, цифровой преобразователь время-код, мультифазный кольцевой генератор, “мёртвое время”.

The authors consider the technical principles of the structure of digital interpolating converter of the single time intervals on the basis of the field programmable gate array, which enjoys the subgate resolution due to averaging the transformation results of several parallel operating channels.

**Key words:** interpolation, digital, time-to-digital converter, multiphase ring oscillator, “death” time.

E-mail: chu@pgta.ru

Достоинство преобразователей время-код (ПВК) на основе мультифазного кольцевого генератора (МКГ) [1], реализующих по существу метод прямого счёта, состоит в отсутствии “мёртвого” времени после окончания

преобразуемого интервала – результат образуется в реальном времени. Их разрешающая способность равна времени задержки одного каскада МКГ, по существу – одного логического вентиля. Технологический разброс и нестабильность времени задержки каскадов МКГ вынуждает предусматривать запас на отклонения задержки, что ограничивает точность преобразования. Повышение точности интерполирующих ПВК подразумевает сокращение шага интерполяции до субвентильных значений.

Подходы к решению указанной задачи основываются либо на введении аппаратной избыточности, либо на дополнительных затратах времени на формирование результата преобразования. В настоящем сообщении рассматривается способ повышения разрешающей способности путём усреднения результатов преобразования интервала по множеству параллельно работающих каналов, а также вариант реализации способа на ПЛИС – программируемой логической интегральной схеме (*FPGA – Field Programmable Gate Array* – программируемой пользователем вентильной матрице).

Известно, что точность измерения временного параметра периодического повторяющегося процесса можно повысить с помощью усреднения результатов его многократного измерения путём заполнения не синхронизированными с периодическим процессом опорными импульсами высокой частоты [2]. При этом погрешность измерения сокращается по закону  $\delta_{CP} = \delta_1 / \sqrt{L}$ , где  $\delta_1$  – погрешность однократного измерения,  $L$  – количество выполненных измерений. Таким образом, точность повышается за счёт увеличения продолжительности измерения. Применяя данный подход к решению задачи измерения одиночного интервала времени, можно повысить точность путём одновременного преобразования интервала многими независимыми ПВК с последующим вычислением среднего значения множества полученных результатов. Хотя сложность устройства многократно возрастает, во многих случаях такое усложнение допустимо и оправдано. Например, усложнение устройства на ПЛИС может означать лишь более полное использование ресурсов кристалла.

В усредняющем ПВК, состоящем из  $L$  каналов параллельного преобразования интервала времени между импульсами *Start* и *Stop* (рис. 1,а), опорный генератор (ОГ) и арифметический блок являются общими для всех них. Каждый частный интерполирующий канал, выполненный по схеме рис. 1,б [3], ориентирован на реализацию в ПЛИС и не требует стабилизации периода МКГ. Вместо этого период МКГ непрерывно измеряется, и результат измерения используется в процессе вычисления значения измеряемого интервала времени. Для уменьшения погрешности, связанной с задержками распространения сигналов по линиям связи (в ПЛИС они соизмеримы с задержками каскадов МКГ), в схему введён дополнительный регистр состояния МКГ, конструктивно размещенный в той же линейке конфигурируемых блоков, что и каскады МКГ. Этот регистр служит для съёма мгновенного состояния выходов МКГ “на лету” без его остановки.

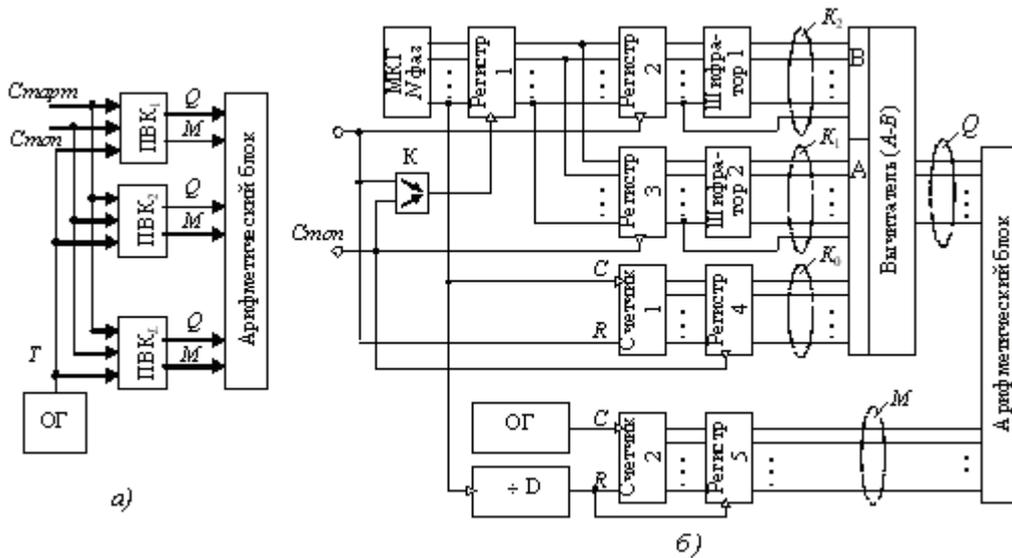


Рисунок 1 – Усредняющий ПВК: а) структура, б) функциональная схема частного интерполирующего канала

Кроме  $N$ -фазного МКГ с регистром 1 состояния, схема содержит два канала регистрации моментов поступления импульсов *Старт* и *Стоп* по интерполирующей субшкале МКГ (регистры 2 и 3 с соответствующими шифраторами 1 и 2), а также “грубый” счётчик 1 периодов МКГ со своим регистром 4. Предусмотрен также вычитатель для определения продолжительности интервала времени между импульсами *Старт* и *Стоп* в квантах субшкалы МКГ и арифметический блок, вычисляющий результат преобразования с учётом данных измерения периода МКГ. Блок измерения периода МКГ состоит из ОГ стабильной частоты, делителя частоты, счётчика импульсов 2 и регистра 5.

Порядок работы ПВК иллюстрируется временными диаграммами сигналов (рис. 2). МКГ вырабатывает на каждом выходе импульсы типа “меандр”, смещённые по оси времени на время задержки каскада  $t_D$ . Для удобства цифровой обработки сигналов число фаз МКГ выбрано кратным целой степени двойки, а именно  $N = 2^n = 16$ . Импульсы *Старт* и *Стоп*, отмечающие границы преобразуемого интервала  $T_X$ , имеют длительности, не превышающие значения  $T_X$ . По фронтам этих импульсов, которые через коммутатор (К) проходят на тактовый вход регистра 1, в него записываются мгновенные состояния выходов МКГ, и таким образом регистрируются позиции импульсов внутри опорного периода. По спадам импульсов *Старт* и *Стоп* зафиксированные термометрические коды их фаз переписываются из первого регистра в соответствующие регистры 2 и 3. Далее эти коды преобразуются шифраторами 1 и 2 в обычные двоичные числа, соответственно  $K_2$  и  $K_1$ , отражающие порядковые номера разрядов регистров, в которых зафиксирована инверсия логического состояния.

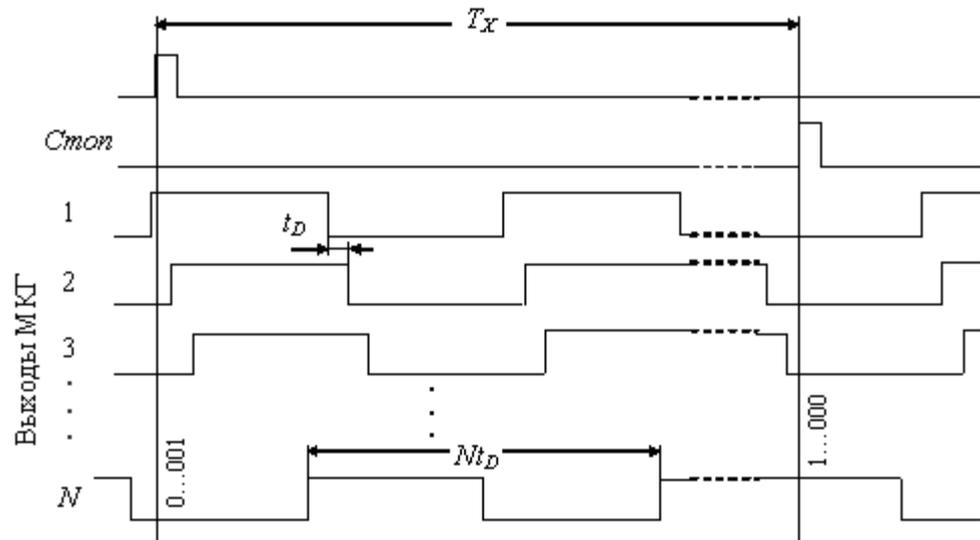


Рисунок 2 – Временные диаграммы сигналов

Одновременно преобразуемый интервал  $T_X$  между сигналами *Старт* и *Стоп* заполняется импульсами МКГ в “грубом” счётчике 1: сигналом *Старт* счётчик сбрасывается, в момент *Стоп* (по спаду этого сигнала) достигнутое счётчиком состояние  $K_0$  записывается в регистр 4. Таким образом, по окончании преобразуемого интервала образуются три двоичных числа  $K_0, K_1$  и  $K_2$ , которые поступают на вычитатель в виде  $(k+n)$ -разрядного уменьшаемого  $K_0K_1$  ( $k$  – число разрядов “грубого” счётчика (старшие разряды),  $n = 1 + lbN$  (младшие разряды)) и  $n$ -разрядного вычитаемого  $K_2$ . Полученная разность  $Q$  отражает длительность преобразуемого интервала в числе субквантов  $t_D$  ( $T_X = Qt_D$ ).

Чтобы точно измерить размер нестабильного кванта  $t_D$ , период импульсов МКГ умножается в  $D$  раз делителем частоты ( $+D$ ), после чего полупериод выходных импульсов делителя заполняется импульсами опорного генератора, стабилизированного кварцем ( $D = 4096, T_O = 20$  нс). Количество опорных импульсов  $M$ , уложившихся в полупериод делителя частоты, в каждом цикле измерения записывается в регистр 5. Время задержки каскада МКГ – квант времени ПВК равно  $t_D = MT_O / ND$ . Длительность преобразуемого интервала  $T_X$  в единицах времени рассчитывается арифметическим блоком по формуле

$$T_X = \frac{MQ}{ND} \cdot T_O.$$

После окончания цикла преобразования на выходах каналов образуются пары чисел  $Q_i, M_i$ , а окончательный результат преобразования вычисляет арифметический блок по формуле

$$T_X = \frac{T_0}{LND} \cdot \sum_{i=1}^L M_i Q_i.$$

При этом погрешность преобразования оказывается равной

$$\Delta x = T_0 \sum_{i=1}^L M_i / NDL\sqrt{L},$$

где  $N$  – число фаз МКГ,  $D$  – модуль делителя частоты в частных каналах.

Таким образом, субвентильное разрешение усредняющего ПВК достигается без физического уменьшения шага дискретизации времени. Так, при девяти каналах преобразования, каждый из которых выполнен по описанной выше схеме на ПЛИС *Cyclone II*, погрешность составляет всего 100 пс, при использовании ПЛИС *Stratix III* методическая погрешность преобразования может быть сокращена до значения 50 пс.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чулков В.А. Интерполирующие преобразователи время-код // *Автоматрия*. – 2008. – Т. 44. – № 6. – С. 116 – 127.
2. Галахова С.П. Основы фазометрии / С.П. Галахова, Е.Д. Колтик, С.А. Кравченко. – Л. : Энергия, 1976. – 256 с.
3. Чулков В.А. Интерполирующий преобразователь время-код на п.л.и.с. / В.А. Чулков, А.В. Медведев // *Приборы и техника эксперимента*. – 2009. – № 6. – С. 31 – 35.

УДК: 681.324

ББК: 34

### СЕРВЕРНАЯ ПЛАТФОРМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

© Н.Н. Оглоблин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© Д.А. Митрофанов, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### SERVER PLATFORM OF COMPUTER-BASED SYSTEM OF HIGHER VOCATIONAL TRAINING INSTITUTION

© N.N. Ogloblin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© D.A. Mitrofanov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В статье рассматриваются особенности организации локальной вычислительной сети учреждения высшего профессионального образования на примере Пензенской государственной технологической академии. Отмечается, что наиболее приемлемой операционной системой в вузах является Windows Server 2003.

**Ключевые слова:** локальная вычислительная сеть, автоматизированная система, серверная платформа, надёжность вычислительной сети.

The article describes the peculiarities of functioning of the local area network of higher vocational training institution, which is done on the basis of Penza State Technological Academy. It is noted that the most acceptable operating system for this purpose is Windows Server 2003.

**Key words:** local area network, computer-based system, server platform, network reliability.

Внедрение компьютерной техники в инфраструктуру ПГТА происходило хотя и стремительно, но все же постепенно. Сначала компьютеры были внедрены в учебный процесс, а в дальнейшем на их основе стали разрабатываться различные информационные, управленческие и другие автоматизированные системы, необходимые для обеспечения функционирования вуза. Развитие сетевых технологий позволило построить распределённую локальную вычислительную сеть (ЛВС), соединяющую информационные ресурсы, расположенные в различных корпусах ПГТА. На рис. 1 представлена укрупнённая схема организации ЛВС.

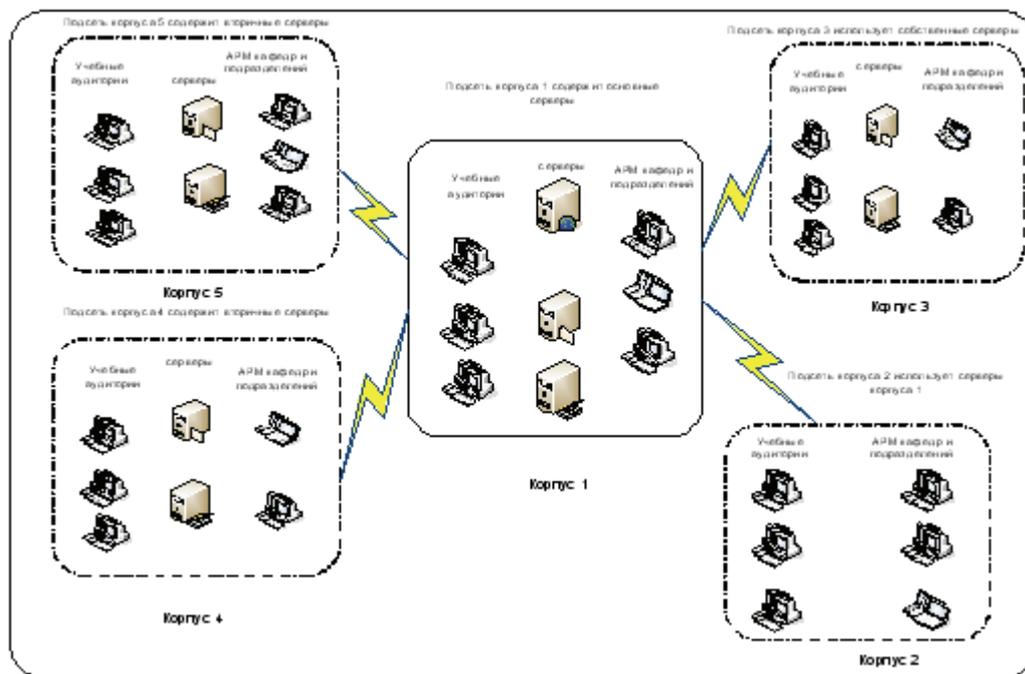


Рисунок 1 – Структурная схема ЛВС ПГТА

Как видно из схемы, ЛВС ПГТА – это довольно сложная система, которая требует обслуживания и управления. Управление должно быть централизованным и для него необходим персонал, а это уже по определению и есть автоматизированная система (АС).

АС – это система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [1].

Функция АС – это совокупность действий АС, направленная на достижение определённой цели [1].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о необходимости создания автоматизированной системы, которая будет осуществлять техническую и информационную поддержку деятельности ПГТА. Следовательно, возникает вопрос о серверной платформе для построения АС.

До 2006 года ЛВС ПГТА была построена на основе *eDirectory* ОС *NetWare* фирмы *Novell*, но эта фирма закончила развитие *NetWare* и было принято решение строить АС ПГТА на основе *Microsoft Windows Server 2003*.

Почему именно продукт корпорации *Microsoft*?

Сегодня никем не опровергается тот факт, что операционные системы семейства *Windows* завоевали не только подавляющую часть российского рынка настольных операционных систем и в корпоративном, и в домашнем секторе, но и немалую долю рынка серверных операционных систем. Каковы бы ни были претензии к этим операционным системам и к их производителю со стороны некоторых пользователей, нельзя отрицать того, что именно среди операционных систем этого семейства большинство российских потребителей находят то сочетание цены, производительности, удобства, функциональности и надёжности, которое удовлетворяет требованиям, предъявляемым решаемыми задачами.

Также нельзя не отметить тот факт, что корпорация *Microsoft* в своё время сделала очень мудрый шаг и завоевала российский рынок операционных систем, не очень настойчиво предъявляя пользователям персональных компьютеров авторские права на использование своих ОС и других продуктов.

В ПГТА в основном используются рабочие станции с ОС *Windows* и, следовательно, было бы логично использовать для управления ими именно серверную платформу *Microsoft*. Технология *Windows Server 2003* содержит все функции, ожидаемые пользователями от серверной ОС, используемой для выполнения ответственных задач, такие как безопасность, надёжность, доступность и масштабируемость [2].

*Windows Server 2003* является многозадачной операционной системой, способной централизованно или распределённо управлять различными наборами ролей. Некоторые из ролей сервера: файловый сервер и сервер печати; веб-сервер и веб-сервер приложений; почтовый сервер; сервер терминалов; сервер удалённого доступа/сервер виртуальной частной сети (*VPN*); служба каталогов, система доменных имён (*DNS*), сервер протокола динамической настройки узлов (*DHCP*); сервер потокового мультимедиа-вещания.

Некоторые характеристики *Windows Server 2003*:

**1. Простота развёртывания, управления и использования:**

- знакомый интерфейс *Windows* облегчает использование *Windows Server 2003*;
- удобные мастера упрощают установку специальных ролей и выполнение обычных задач управления сервером;
- роли сервера можно включать или не включать, в зависимости от потребностей пользователей и задач, которые необходимо на него возложить.

## **2. Безопасная инфраструктура:**

- управление идентификацией в *Active Directory* целиком охватывает сеть, что гарантирует безопасность во всех подразделениях организации;
- для защиты от вирусов и злонамеренного кода можно использовать политику ограничения на запуск программ;
- ОС *Windows Server 2003* является наилучшим выбором для развёртывания инфраструктуры открытых ключей (*PKI*), а её функции автоматического запроса ключей и автообновления упрощают переход организаций на использование смарт-карт и сертификатов.

## **3. Надёжные средства управления:**

- управление групповыми политиками позволяет администраторам автоматизировать конфигурирование параметров рабочих станций и пользователей, а также настраивать безопасность и перемещаемые профили;
- набор средств командной строки предоставляет возможность использовать сценарии и автоматизировать функции управления, позволяя выполнять большинство задач управления непосредственно из командной строки.

## **4. Фирменная поддержка продуктов в актуальном состоянии:**

Служба обновления программного обеспечения *Microsoft (Microsoft Software Update Services, SUS)* помогает администраторам централизованно и автоматизированно обновлять продукты *Microsoft* на рабочих станциях и серверах.

## **5. Расширение возможностей пользователей при одновременном снижении затрат на поддержку:**

- распределённая файловая система (*Distributed File System, DFS*) и служба репликации файлов (*File Replication service, FRS*) унифицируют доступ пользователей к их файлам;
- для удалённых пользователей, нуждающихся в высоком уровне безопасности, можно настроить диспетчер подключений на доступ к виртуальной частной сети таким образом, что пользователям не обязательно будет владеть техническими данными о настройках подключения.

В заключение необходимо отметить, что *Windows Server 2003* содержит все необходимые сервисы и серверы для построения надёжной и полнофункциональной АС.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
2. Ричард У. Дрейган. ОС *Windows Server 2003*: лучшие со всех точек зрения // *PC Magazine/RE*. – 2003. – № 8.

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

---

---

УДК 004.94  
ББК 22

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

© *И.Ю. Сёмочкина, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)*

© *О.В. Прокофьев, Всероссийский заочный финансово-экономический  
институт, филиал в г. Пензе (г. Пенза, Россия)*

## THE MODELING OF EDUCATIONAL PROCESS MANAGEMENT ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC METHODOLOGY

© *I.Yu. Semochkina, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© *O.V. Prokofiev, All-Russian Distance Institute of Finance and Economics, Penza  
branch (Penza, Russia)*

Предложена модель управления образовательным процессом на основе методологии нечёткой логики, способной снизить задержки в реализации управляющих воздействий. Разработан проект с помощью программного обеспечения нечёткого моделирования, получены поверхности нечёткого вывода, показывающие потенциальные возможности оперативных управляющих воздействий в условиях высокой динамики социально-экономической среды.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, качество образования, модель управления, методология нечёткой логики, программное обеспечение нечёткого моделирования FuzzyTECH.

The model of educational process management is offered on the basis of the fuzzy logic methodology, capable to lower delay in implementation of control actions. The project by means of the fuzzy logic modeling software is developed. On the basis of model the fuzzy output surfaces are received, showing potential possibilities of operative control actions in the conditions of high dynamics of the social and economic environment.

**Key words:** educational process, education quality, management model, fuzzy logic methodology, fuzzy logic modeling software FuzzyTECH.

E-mail: ius@pgta.ru

### Введение

Государственная поддержка системы высшего профессионального образования (ВПО) направлена на ускоренную модернизацию, внедрение качественно усовершенствованных образовательных программ, интеграцию об-

разования и науки, формирование новых финансовых и управленческих механизмов в российских вузах. Инновационные образовательные программы вузов предусматривают: высокое качество обучения, обеспечиваемое в рамках современных систем управления качеством; интеграцию образования, науки и инновационной деятельности; формирование у выпускников профессиональных компетенций, обеспечивающих их конкурентоспособность на рынке труда. Качество профессионального образования проявляется в первую очередь в уровне востребованности выпускников учреждений профессионального образования на рынке труда. Целью государственной поддержки вузов является усиление взаимодействия вузов и производственных предприятий, развитие научной и образовательной деятельности в вузах, стимулирование использования потенциала вузов для развития наукоёмкого производства и инновационной российской экономики в целом [1].

В последнее время предпринимаются государственные меры по развитию наукоёмких производств, но пока они еще не дают достаточно надёжной гарантии трудоустройства в этой области в дотационных регионах. Необходимо обеспечить своевременность реагирования системы управления образовательным процессом учреждений профессионального образования на быстрые изменения в сфере передовых наукоёмких технологий.

Проблемы и сложности многоуровневой подготовки высококвалифицированных специалистов, создания научно-образовательных центров вузов, развития опережающего обучения, повышения адаптивности к изменениям социально-трудовых отношений делают необходимым использование в рамках системы управления образовательным процессом в вузе инструментов быстрой и точной “настройки” практико-ориентированного образовательного процесса.

#### **Нечёткая логическая модель процесса управления**

Одним из подходов к разработке информационных систем поддержки принятия управленческих решений является разработка и использование нечёткой логической модели процесса управления, адаптированной к проблемам конкретного учреждения профессионального образования. Описание ситуации с помощью нечёткой логики позволяет визуально отобразить взаимосвязь процессов внутри образовательного учреждения и во внешней социально-экономической среде, перевести качественные величины в количественные, представленные в наглядной графической форме.

Архитектура системы управления и процесс нечёткого управления профессиональной адаптацией выпускников в аспекте архитектуры системы подробно рассмотрен в работе [2]. Обратные связи, реализуемые с помощью системы менеджмента качества, отвечают за скорость установления требуемых результатов образовательного процесса, достижение удовлетворённости потребителей в процессе управления. Архитектура нечёткого управления, предусматривающая реализацию алгоритма нечёткого вывода (в данном примере – на базе метода Мамдани), позволяет быстрее осуществлять процесс регулирования с использованием управляющих переменных [3].

Эвристические правила, отражающие эмпирические знания о рассматриваемой предметной области, были построены методом экспертных оценок на основе анализа образовательного процесса в Пензенской государственной технологической академии.

Реализация системы нечёткого управления была проведена на базе программного продукта FuzzyTECH, версии *Editions for business and finance applications* фирмы INFORM GmbH [4, 5]. Разработан вариант системы с одной выходной управляющей переменной, характеризующей степень профессиональной адаптации выпускника образовательного учреждения. Схема нечёткого проекта представлена на рис. 1. Рассматриваемая нечёткая модель содержит 4 блока правил, два из которых дают в качестве результата промежуточные переменные. Терм-множества применённых в проекте лингвистических переменных и соответствующие комментарии приведены в таблице 1. Множества значений лингвистических переменных содержат три или пять элементов.

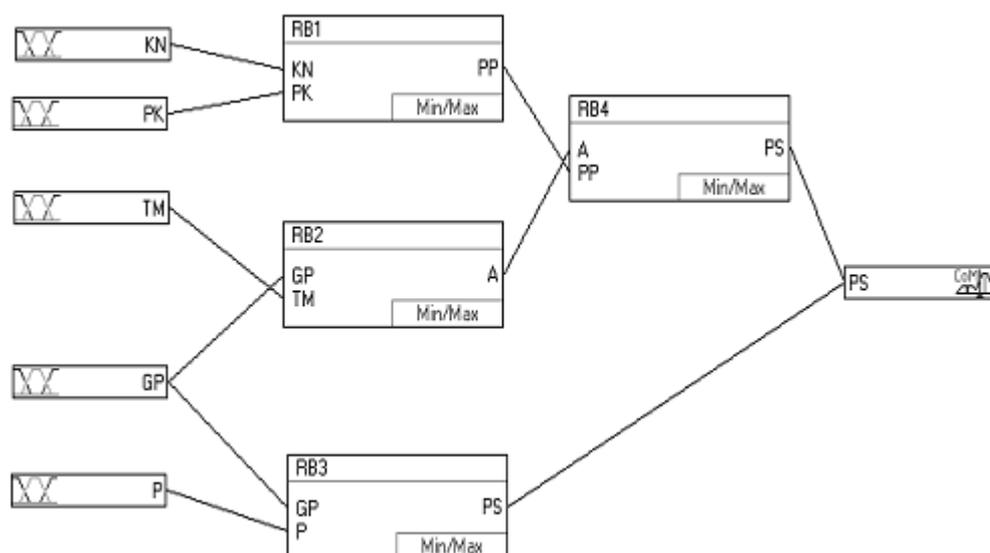


Рисунок 1 – Нечёткий проект с одной выходной переменной

Этап фаззификации также был реализован с учётом мнений экспертов. В процессе фаззификации в большинстве случаев было принято, что числовые значения лингвистических переменных изменяются от 0 до 100. Для переменной напряжённости на рынке труда ( $P$ ) задано, что диапазон составляет от 0 при отсутствии предложения труда до 20, если имеется 20 и более заявок на вакансию по данной специальности. Графики треугольных функций принадлежности для термов лингвистических переменных изображены на рис. 2.

Таблица 1. Лингвистические переменные

Обозначение	Интерпретация	Терм-множество
<i>PK</i> (входная переменная)	Профессиональные компетенции	very_low, low, medium, high, very_high
<i>KN</i> (входная переменная)	Коммуникативные навыки	low, medium, high
<i>TM</i> (входная переменная)	Трудовая мотивация	low, medium, high
<i>GP</i> (входная переменная)	Готовность к переподготовке и трудовая мобильность	low, medium, high
<i>P</i> (входная переменная)	Напряжённость в профессиональной области на рынке труда	low, medium, high
<i>PP</i> (промежуточная переменная)	Профессиональное позиционирование	very_low, low, medium, high, very_high
<i>A</i> (промежуточная переменная)	Адаптируемость	low, medium, high
<i>PS</i> (выходная переменная)	Профессиональная адаптация	very_low, low, medium, high, very_high

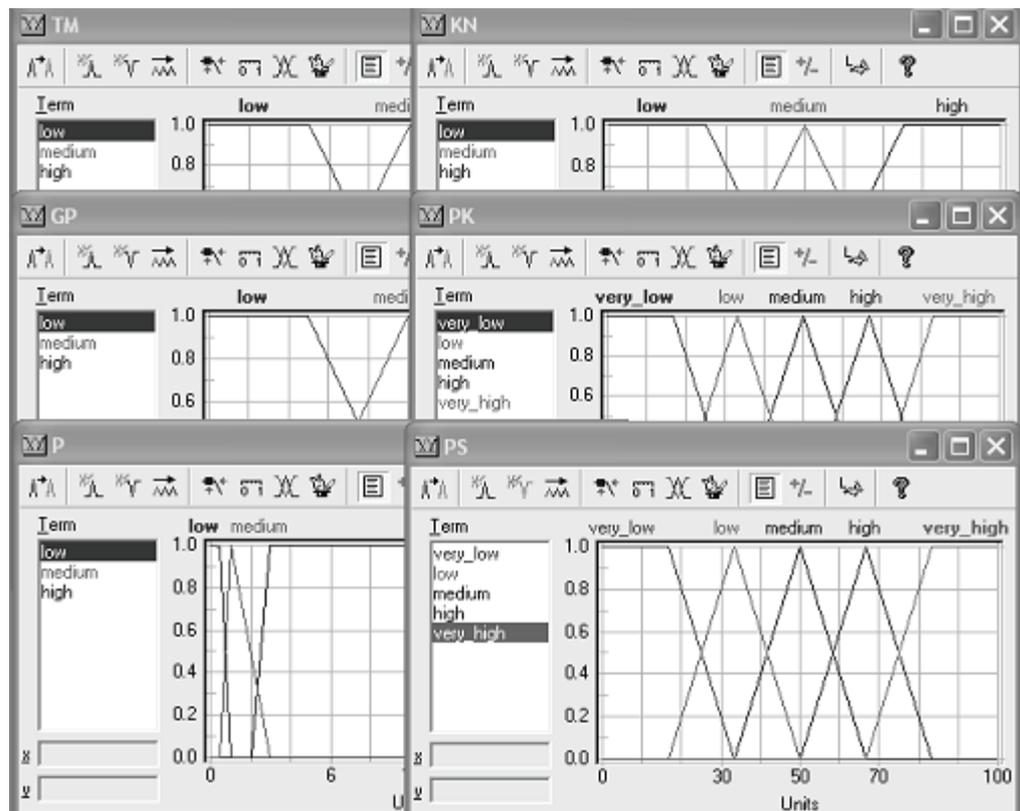


Рисунок 2 – Функции принадлежности термов лингвистических переменных

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ ...

В проекте использована схема нечёткого вывода на базе метода Мамдани. Для операции агрегирования подусловия в правилах соединены с помощью нечёткой операции И (*Min*-конъюнкция). Для спецификации результата агрегирования или композиции правил для получения окончательных значений функции принадлежности термов заключений использована операция максимума (*Max*-дизъюнкция). Дефаззификация введена методом центра максимума (*Best Compromise*).

Блоки правил на рис. 3 отражают влияние результатов учебной и воспитательной работы и реального состояния рынка труда на степень профессиональной адаптации выпускника образовательного учреждения.

#	IF KN	PK	THEN DoS
1		very_low	1.00
2		low	1.00
3	medium	medium	1.00
4	medium	high	1.00
5	medium	very_high	1.00
6	high	medium	1.00
7	high	high	1.00
8	high	very_high	1.00
9	low	medium	1.00
10	low	high	1.00
11	low	very_high	1.00

#	IF GP	TM	THEN DoS	A
1	low		1.00	low
2		low	1.00	low
3	medium	medium	1.00	medium
4	medium	high	1.00	high
5	high	medium	1.00	high
6	high	high	1.00	high

#	IF A	PP	THEN DoS	PS
		medium	1.00	low
		very_low	1.00	very_low
		low	1.00	low
		high	1.00	medium
		very_high	1.00	medium
		medium	1.00	medium
		high	1.00	high
		very_high	1.00	high
		medium	1.00	medium
		high	1.00	very_high
		very_high	1.00	very_high

Рисунок 3 – Виды редактора правил нечётких продукций для различных блоков правил

Блок правил RB1 применён для промежуточной оценки профессионального позиционирования выпускника, определяемого его профессиональными, коммуникативными компетенциями, способностью к самопрезентации, составлению и рассылке резюме и т.п. Блок правил RB2 использован для получения промежуточного заключения по общей адаптируемости молодого специалиста на рынке труда, проявляющейся как степень готовности к повышению квалификации, опережающему обучению, а также как выражение трудовой мобильности.

Блок правил RB3 предназначен для выработки значения выходной переменной – оценки профессиональной адаптации. Блок отражает преобладающее влияние напряжённости на рынке труда по рассматриваемой специальности, позволяющее использовать преимущество адаптируемости молодого специалиста только при условии сопоставимой потребности в специалистах и предложения труда. Блок правил RB4 применён для получения интегрированной оценки уровня образования и полезных навыков, приобретённых в годы обучения, способствующих продвижению молодого специалиста в направлении профессиональной адаптации.

В результате работы с моделью (в режиме отладки) получены поверхности нечёткого вывода, позволяющие установить зависимость оценки профессиональной адаптируемости выпускников от отдельных значений входных переменных. На основании полученных наглядных зависимостей возможна выработка управляющих переменных по повышению адаптируемости молодого специалиста на рынке труда – корректирующих и управляющих действий. Примеры таких зависимостей приведены на рис. 4, 5. Не используемые при построении графика переменные заданы средними значениями (по умолчанию). На рисунках показаны поверхности вывода при различных состояниях напряжённости рынка труда: на рис. 4 – при низкой напряжённости, повышенном спросе на специалистов, на рис. 5 – при наличии 3 заявок на вакансию. В обоих случаях наблюдается пока ещё существующее доминирование коммуникативных навыков над профессиональными компетенциями, выявленное в ходе обработки мнений экспертов.

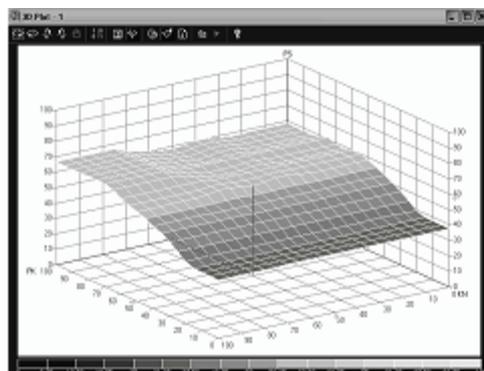


Рисунок 4 – Поверхность нечёткого вывода при отсутствии предложения труда

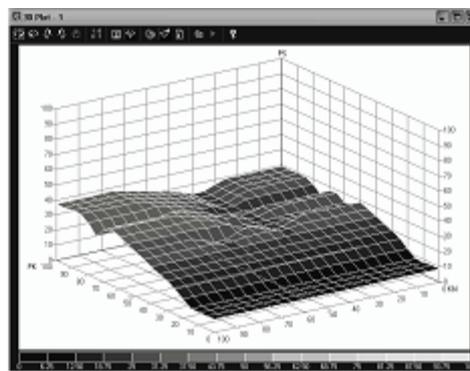


Рисунок 5 – Поверхность нечёткого вывода при отношении спрос/вакансии равно 3

Множество выходных управляющих переменных, детализирующее состояние образовательного процесса по специальностям и формам обучения, позволит более гибко подойти к выработке управляющих воздействий, способствовать развитию подготовки кадров в рамках научно-образовательных центров вузов, созданных совместно с научно-исследовательскими институтами и промышленными предприятиями для высокотехнологичного производства, непрерывного профессионального обучения.

Необходимо регулярно проводить мониторинг и исследования наличия выпускников учебных заведений профессионального образования как

клиентов службы занятости. Образовательный процесс учреждения профессионального образования должен быть ориентирован на практическую подготовку специалистов в целях своевременного реагирования на постоянно меняющиеся запросы рынка труда, удовлетворения требований работодателей и современного производства, повышения социальной и профессиональной мобильности населения.

При переходе от нечёткой логической модели к организации образовательного процесса важно выделить состав и содержание управляющих воздействий, способствующих быстрому установлению достаточно высокой степени востребованности и адаптируемости выпускников образовательного учреждения на рынке труда.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс <http://mon.gov.ru/press/reliz/7499/>. Режим доступа свободный.
2. Прокофьев О.В., Сёмочкина И.Ю. Профессиональная адаптация выпускников вуза на рынке труда // Информатизация образования и науки. – 2011. – № 2. – С. 116 – 126.
3. Леоненков А. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Электронный ресурс FuzzyTECH Help. <http://www.fuzzytech.com/>. Режим доступа свободный.
5. Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications in Business and Finance. Constantin von Altrock. / Prentice Hall PTR (November 18, 1996). – 400 p.

УДК: 621.317.7

ББК: 30

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРИБОРОВ

- © *Е.Н. Калинин*, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)
- © *Е.С. Дёмин*, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)
- © *С.Б. Дёмин*, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### MATHEMATICAL MODELLING OF THE FACTORS INFLUENCEING MAGNETOSTRICTIVE INSTRUMENTS PARAMETERS

- © *E.N. Kalinin*, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)
- © *E.S. Demin*, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)
- © *S.B. Demin*, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В статье приведены результаты исследования влияния упругих напряжений и температуры на выходные параметры магнитострикционных преобразователей механических величин с использованием метода математического моделирования.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, магнитострикционные преобразователи, упругие напряжения, температура.

The article contains the research results of elastic pressure and temperature influence on the output parameters of magnetostrictive converters of mechanical quantities with the use of mathematical modelling method.

**Key words:** mathematical modelling, magnetostrictive converters, elastic pressure, temperature

E-mail: dstabor@yandex.ru

**Введение.** Механические напряжения – остаточные и нагрузочные  $P_x$ , температура  $T^\circ$  окружающей среды являются основными дестабилизирующими факторами при работе магнитострикционных преобразователей механических величин (МПМВ). Они вызывают дрейф электрических, магнитных, магнитострикционных параметров МПМВ, отражаясь на их технических и эксплуатационных характеристиках [1 – 4]. Основываясь на известных экспериментальных данных, получим математические модели этих процессов и оценим величину их влияния на основе вычислительного эксперимента с целью выработки рекомендаций по улучшению метрологических и эксплуатационных показателей обозначенных приборов.

**1. Моделирование воздействий упругих напряжений.** Чувствительность магнитострикционных материалов к продольным напряжениям  $P_x$  (сжатие, растяжение) известна [1, 2, 4]. Так, с ростом продольных напряжений в сечении  $S_x$  магниточувствительного элемента (магнитострикционные звукопроводы, приводы) МПМВ  $\sigma_x = P_x / S_x$  экспоненциально увеличивается магнитная восприимчивость  $\chi$  материала и намагниченность  $J$ , стремясь к своему пределу – насыщению  $J_s$ .

Основываясь на результатах экспериментальных исследований магнитострикционных ферромагнетиков группы NiCoFe ряда авторов, можно утверждать, что изменение магнитной восприимчивости  $\chi$  под действием силовой продольной нагрузки  $P_x$  растяжения или сжатия изменяется по зависимости

$$\chi_p = \pm \left[ \chi_0 + \sigma_{\text{гист}} (1 + k_{\text{пр}})^2 \right], \quad (1)$$

где  $\chi_0$  – начальное значение магнитной восприимчивости материала магниточувствительного элемента МПМВ,  $\sigma_{\text{гист}}$  – коэффициент потерь на гистерезис,  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент продольного напряжения,  $\sigma_{\text{п}} \leq [\sigma_{\text{доп}}]$  – про-

дольное напряжение в пределах допустимых значений  $\sigma_{\text{доп}}$  на разрушение структуры (разрыв, смятие).

По аналогичному закону (1) изменяется намагниченность материала магниточувствительного элемента МПМВ  $J_p = \pm \left[ J + \sigma_{\text{гист}}(1 + k_{\text{тр}})^2 \right]$ , где  $J$  – начальная намагниченность материала. Из этого следует, что с ростом продольных напряжений  $P_x$  намагниченность материала возрастает по экспоненте [1, 2, 4].

С ростом продольных напряжений  $\sigma_{\text{п}}$  изменяется удельное электрическое сопротивления  $\rho_{\text{эл}}$  [1] магниточувствительного элемента МПМВ (рис. 1)

$$\rho_{\text{эл},p} = \rho_{\text{эл}} \left[ 1 + k_p (\sigma_{\text{п}} - \sigma_{\text{ост}}) \right], \quad (2)$$

где  $k_p$  – коэффициент пропорциональности продольного напряжения.

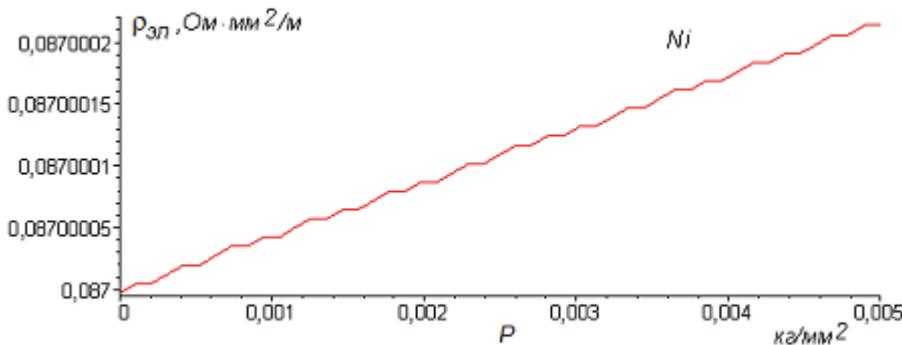


Рисунок 1 – Изменения  $\rho_{\text{эл}}$  для никеля Ni под действием упругих напряжений  $P_x$

Под действием  $P_x$  изменяются значения магнитной проницаемости  $\mu$  материала магниточувствительного элемента МПМВ и коэффициент магнитострикции  $\lambda$  [4]. Их значения изменяются по зависимостям (рис. 2)

$$\mu_p = \mu(1 - k_{\text{тр}}) \text{ и } \lambda_p = \pm \left[ \lambda(1 + k_{\text{тр}}) \right]. \quad (3)$$

Теоретическое исследование полученных моделей (1) – (3) показывает, что с ростом остаточных напряжений  $\sigma_{\text{ост}}$  в материале магниточувствительного элемента МПМВ диапазон изменений значений параметров  $\chi_p$ ,  $J_p$ ,  $\rho_{\text{эл},p}$ ,  $\mu_p$ ,  $\lambda_p$  заметно уменьшается и подтверждается эксперимен-

тальными данными [1, 3, 4]. Поэтому для уменьшения значений  $\sigma_{\text{ост}}$  заготовки магниточувствительного элемента МПМВ его подвергают специальной обработке.

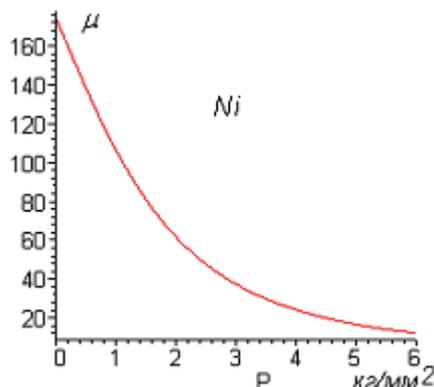


Рисунок 2 – Изменения  $\mu$  в никеле Ni под действием упругих напряжений  $P_x$

**2. Моделирование воздействий температуры.** Заметный дрейф выше перечисленных параметров МПМВ наблюдается под действием температуры от  $T^{\circ} \geq 40$  °С, вызывая отклонения от заданных выходных характеристик приборов. Характер этих изменений связан с тепловыми деформациями кристаллической решетки материала магниточувствительного элемента МПМВ [1, 4].

Для описания тепловых процессов в МПМВ введём показатель температурного изменения параметра:  $k_T = \left(1 - T^{\circ} / T_{\text{Гр}}^{\circ}\right)$ , где  $T^{\circ}$ ,  $T_{\text{Гр}}^{\circ}$  – текущее и граничное (точка Кюри  $T_{\text{К}}^{\circ}$ , точка плавления  $T_{\text{пл}}^{\circ}$ ) значения температуры.

Известно, что с повышением температуры  $T^{\circ}$  среды изменяется коэффициент магнитострикции  $\lambda$  в известных пределах [1]. Эти изменения могут быть описаны выражением

$$\lambda_T = \pm \lambda k_T^{-2} = \pm \left[ \lambda \sqrt{1 - T^{\circ} / T_{\text{К}}^{\circ}} \right]. \quad (4)$$

По аналогии с (4) изменяется магнитная проницаемость материала магниточувствительного элемента МПМВ под действием температуры  $T^{\circ}$  окружающей среды (рис. 3)

$$\mu_T = \mu k_T^{-3} = \mu \sqrt[3]{1 - T^{\circ} / T_{\text{К}}^{\circ}}. \quad (5)$$

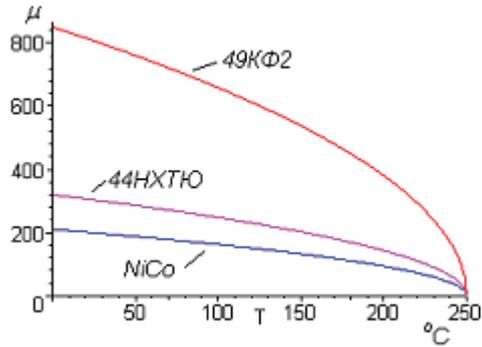


Рисунок 3 – Зависимость  $\mu_T = f(T^\circ)$

Под действием температуры  $T^\circ$  среды изменяется индукция насыщения  $B_s$  магнитострикционных ферромагнетиков по закону

$$B_{s,T} = B_s k_T^{-2} = B_s \sqrt{1 - T^\circ / T_K^\circ}, \quad (6)$$

что вызвано температурной перестройкой его магнитной текстуры.

Тогда можно предположить, что напряжённость магнитного поля  $H_{o,п}$  в зонах прямого и обратного преобразований МПМВ будет изменяться по зависимости вида (рис. 4)

$$H_{o,п,T} = \frac{B_{s,T}}{\mu_o \mu_T}. \quad (7)$$

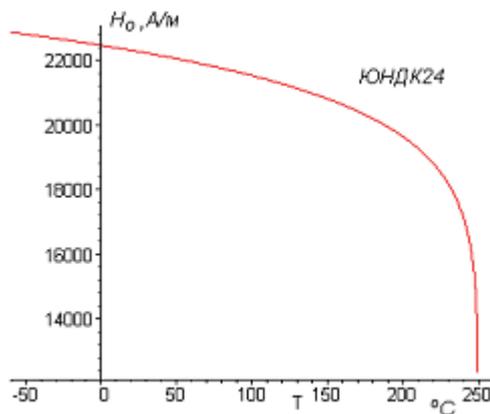


Рисунок 4 – Зависимость  $H_{o,п,T} = f(T^\circ)$

Наиболее сильной тепловой деформации подвержен магниточувствительный элемент МПМВ в продольном направлении. В результате изменения температуры  $\Delta T^\circ = T^\circ - T_{20}^\circ$ , где  $T_{20}^\circ$  – начальная температура

( $T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$ ), первоначальная длина  $L$  магниточувствительного элемента увеличивается пропорционально усреднённому значению коэффициента  $\alpha_T$  температурного расширения материала по известной зависимости

$$\Delta L = L \cdot (1 + \alpha_T \cdot \Delta T^{\circ}). \quad (8)$$

С учётом выражений (1) – (5) под действием внешних факторов влияния  $P_x$ ,  $T^{\circ}$  и  $H_{0,п}$  параметры  $\mu$ ,  $\rho_{эл}$  и  $\lambda$  материала магниточувствительного элемента МПМВ изменяются по зависимостям (рис. 5):

$$\begin{aligned} \mu_{P,T} &= \mu(1 - k_{\text{пр}}) \sqrt{1 - T^{\circ} / T_K^{\circ}}, \\ \rho_{эл.P,T} &= \rho_{эл} \left[ 1 + k_p (\sigma_n - \sigma_{от}) (1 + \alpha_T \cdot \Delta T^{\circ}) \right], \\ \lambda_{P,T,H} &= \pm \left[ \lambda(1 + \lambda_{\text{пр}}) \right] (\sqrt{1 - T^{\circ} / T_K^{\circ}}) \lambda_H. \end{aligned} \quad (9)$$

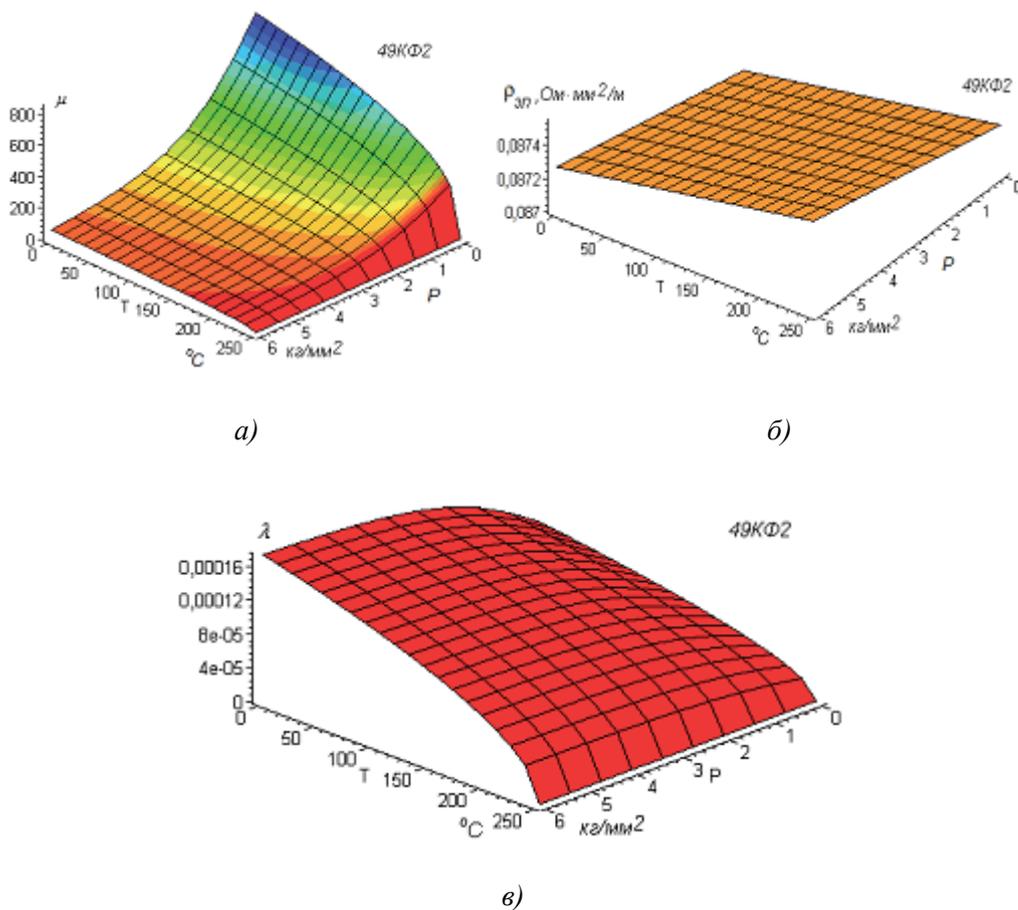


Рисунок 5 – Зависимости: а)  $\mu_{P,H} = f(P, T^{\circ})$ ,

б)  $\rho_{эл.P,T} = f(P, T^{\circ})$  и в)  $\lambda_{P,T} = f(P, T^{\circ})$

**Заключение.** Результаты исследований на основе представленных математических моделей показывают, что влияние температуры ведёт к уменьшению значений магнитных и магнитострикционных показателей МПМВ, сохраняя работоспособность в диапазоне до  $T^{\circ} = 120 - 150$  °С. Упругие продольные напряжения  $F_x$ , наоборот, приводят к существенному увеличению амплитуды выходных сигналов МПМВ за счёт изменения магнитострикционных параметров материала магниточувствительного элемента, и в отдельных случаях могут служить компенсационной мерой по температурному дрейфу параметров прибора, улучшая его метрологические и эксплуатационные характеристики. Электрические параметры МПП в указанном диапазоне значений  $F_x$  и  $T^{\circ}$  изменяются не существенно, и на выходные параметры МПМВ практически не сказываются, что подтверждается физическим экспериментом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов К.П. Упругие, тепловые и электрические свойства металлов. – М. : Гостехиздат, 1951. – 315 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой. – М. : Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. Лившиц Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – М. : Металлургия, 1980. – 380 с.
4. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М. : Наука, 1987. – 160 с.

УДК: 519.711.3

ББК: 30

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА

© Э.В. Карпухин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETIC FIELD OF CONSTANT MAGNET IN PLATED MAGNETOSTRICTIVE LEVEL CONVERTERS

© E.V. Karpukhin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Данная статья посвящена математическому моделированию магнитного поля постоянного магнита МПУ накладного типа. Моделирование проводится на основе анализа эквивалентной магнитной цепи методом введения фиктивной М.Д.С. Полученные результаты позволяют найти оптимальное соотношение конструктивных параметров накладных МПУ с целью повышения их метрологических характеристик и снижения себестоимости изготовления.

**Ключевые слова:** магнитострикционные преобразователи уровня, математическое моделирование, магнитная цепь.

The article is devoted to mathematical modeling of a magnetic field of constant magnet in plated MCL. Modeling is done on the basis of the analysis of an equivalent magnetic circuit by the method of fictitious M.M.F. introduction. The results received allow to find an optimum parity of design data of plated MCL with the purpose of their metrological characteristics increasing and cost of production decreasing.

**Key words:** Magnetostrictive converters of level, mathematical modeling, magnetic circuit.

E-mail: edvar1@rambler.ru

В настоящее время в химической промышленности для измерения уровня жидкостных химических веществ применяются различные виды уровнемеров. По ряду основных параметров, таких как точность, разрешающая способность, быстродействие, взрыво- и пожаробезопасность вне конкуренции остаются магнитоэстрикционные преобразователи уровня (МПУ), принцип работы которых основан на явлении продольной магнитоэстрикции, проявляющемся через эффекты Видемана и Виллари. Одной из наиболее перспективных разновидностей подобных приборов являются накладные ультразвуковые МПУ на волнах кручения. В них используется бесконтактный метод измерения уровня среды [1 – 4].

В качестве объекта исследования выберем накладной МПУ, схема которого приведена на рис. 1. Передача информации об уровне в таком МПУ осуществляется через немагнитную стенку резервуара шириной  $H$ , выбор её значения оказывает существенное влияние на стоимость изготовления, метрологические и эксплуатационные характеристики преобразователя [2, 3]. С целью улучшения этих показателей, а также снижения стоимости МПУ необходимо оптимизировать соотношение параметров конструкции, что можно осуществить путём математического моделирования.

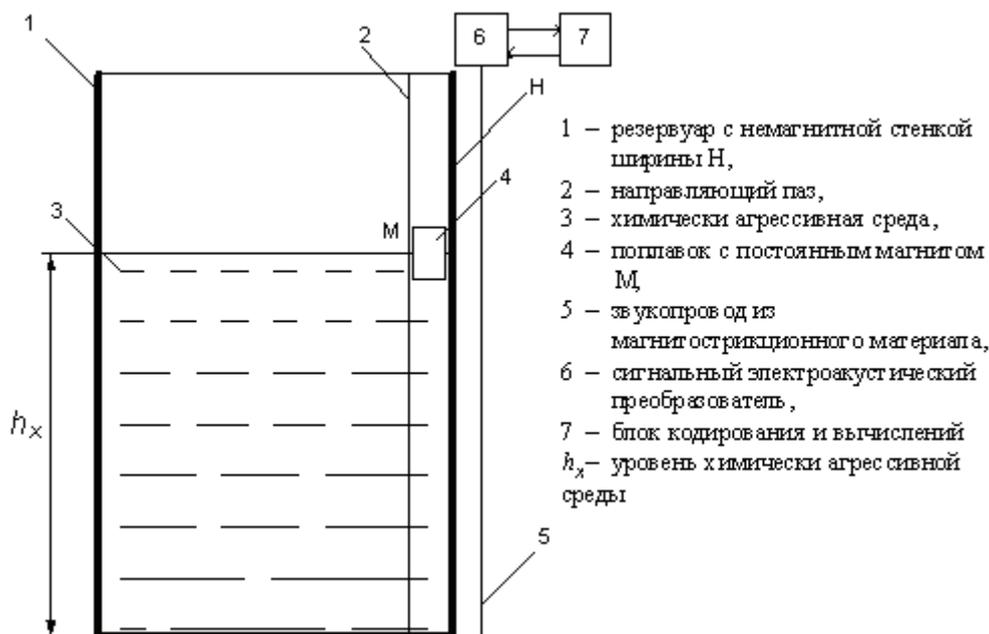


Рисунок 1 – Структурная схема МПУ накладного типа

Для оценки влияния параметров конструкции накладного МПУ на напряжённость магнитного поля в точке поверхности звукопровода 5 вблизи магнита поплавок 4 выполним анализ эквивалентной магнитной цепи [5]. Из рассмотрения горизонтального разреза МПУ на уровне  $h_x$  (рис. 2) следует, что основной магнитный поток  $\Phi_p$  магнита М проходит дважды через толщу корпуса поплавок 4, зазор, заполненный контролируемой средой, между поплавком и направляющим пазом  $a1$ , толщу направляющего паза 2, толщу немагнитной стенки Н, воздушный зазор  $a2$  внутри экрана звукопровода Э и через сам звукопровод из магнитострикционного материала 5. При этом магнитный поток от магнита М рассеивается вдоль длины корпуса поплавок 4, по длине зазора  $a3$  и ширине немагнитной стенки Н.

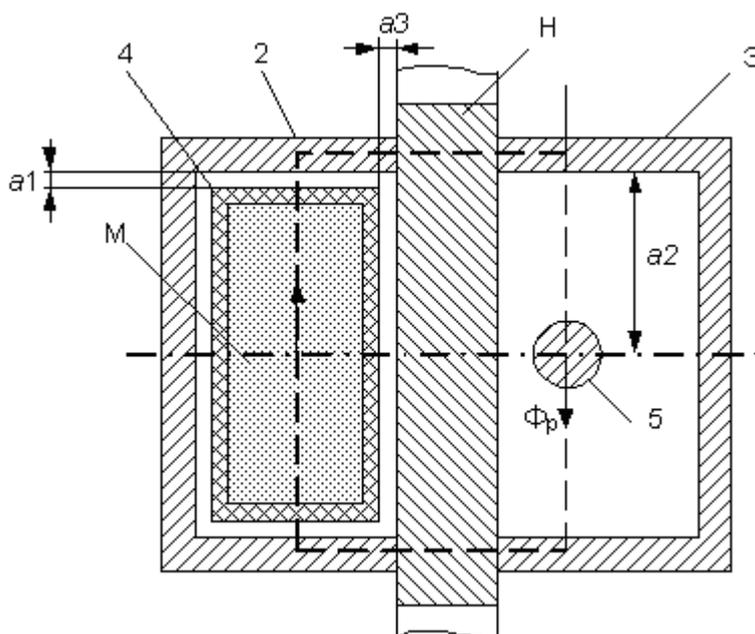


Рисунок 2 – Расчётная схема МПУ накладного типа:  $a1$ ,  $a2$ ,  $a3$  – зазоры

Значение  $\Phi_p$  необходимо выбрать таким образом, чтобы сформированная ультразвуковая волна вдоль оси звукопровода из магнитострикционного материала 5 обладала достаточной энергией, чтобы быть считанной сигнальным электроакустическим преобразователем. Искомым параметром является величина магнитодвижущей силы (М.Д.С.) магнита, необходимая для формирования требуемого значения магнитного потока  $\Phi_p$ . При этом считаем значение величины  $\Phi_p$  известным по данным выпускаемых промышленностью материалов. Сказанное даёт основания для составления схемы замещения магнитной цепи МПУ накладного типа (рис. 3).

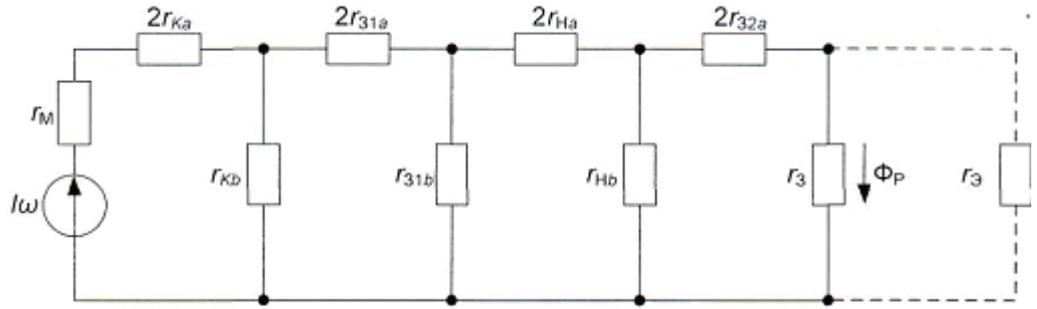


Рисунок 3 – Схема замещения магнитной цепи МПУ накладного типа

На схеме приняты следующие обозначения:  $I_\omega$  – фиктивное значение М.Д.С. постоянного магнита,  $r_M$  – магнитное сопротивление магнита М,  $r_{Ka}$ ,  $r_{Kb}$  – магнитные сопротивления толщины и длины корпуса поплавка соответственно,  $r_{31a}$ ,  $r_{31b}$  – магнитные сопротивления ширины и толщины зазора между поплавком и направляющим пазом, заполненного контролируемой средой соответственно,  $r_{Ha}$ ,  $r_{Hb}$  – магнитные сопротивления толщины и ширины немагнитной стенки соответственно,  $r_{32a}$  – магнитное сопротивление окружающей среды,  $r_3$  – магнитное сопротивление материала звукопровода,  $r_Э$  – магнитное сопротивление материала экрана, которым для приближенного расчёта можно пренебречь. Причём

$$I_\omega = H_\Phi l_m, \quad (1)$$

где  $H_\Phi$  – фиктивное значение коэрцитивной силы постоянного магнита [6].

Для расчёта магнитной цепи постоянного магнита необходимо осуществить его замену эквивалентной фиктивной М.Д.С., путём введения фиктивной коэрцитивной силы. Фиктивная коэрцитивная сила  $H_\Phi$  при этом может быть рассчитана в соответствии с известным выражением

$$H_\Phi = \frac{B_m}{\rho} + H_m, \quad (2)$$

где  $B_m, H_m$  – координаты рабочей точки на кривой размагничивания,

$\rho = \frac{B_r}{H_c} (1 - \alpha)$  – коэффициент возврата,  $\alpha$  – коэффициент выпуклости [6].

Расчёт магнитных сопротивлений  $r_i$  различных участков цепи на рис. 3 может проводиться по формуле

$$r_i = \frac{1}{\mu_0 S_m} \int \frac{dl}{\mu_i}, \quad (3)$$

где  $\mu_i$  – магнитная проницаемость требуемого участка цепи,  $l$  – его форма,  $S_m$  – площадь поперечного сечения участка, в данном случае выбирается равной площади поперечного сечения постоянного магнита. Непосредственное применение формулы (3) для расчёта магнитных сопротивлений на практике затруднено, так как  $\mu_i$  является сложной функцией от магнитного потока, различной для каждого материала, поэтому на практике, для приближенных расчётов, часто предполагается постоянство  $\mu_i$  для того или иного материала. С учётом такого допущения формула (3) может быть переписана в виде

$$r_i = \frac{l_i}{\mu_0 \mu_i S_m}, \quad (4)$$

где  $\mu_i = \text{const}$  – средняя магнитная проницаемость требуемого участка цепи,  $l_i$  – его длина [5].

Так как расчёт проводится для точки, расположенной на поверхности звукопровода (рис. 2), то можно положить  $r_3 = 0$  и искать магнитный поток через магнитное сопротивление  $2r_{32a}$  (рис. 3).

С целью повышения точности расчёт магнитного сопротивления  $r_M$  постоянного магнита может проводиться не по формуле (4), а в соответствии с выражением (5), учитывающим положение рабочей точки магнита

$$r_M = \frac{l_m}{\mu_0 \mu_d S_m}, \quad (5)$$

где  $l_m$  – длина магнита,  $S_m$  – площадь поперечного сечения,  $\mu_d = \frac{dB}{dH}$  – дифференциальная магнитная проницаемость в рабочей точке [5].

С учётом принятых допущений магнитную цепь можно представить упрощённой схемой (рис. 4) [8]. Здесь эквивалентное магнитное сопротивление  $r$  определяется выражением

$$r = \frac{2r_{ka}r_{kb} + 2r_{ka}\eta + r_{kb}\eta}{r_{kb} + \eta}, \quad (6)$$

где  $\eta = \frac{2r_{31a}r_{31b} + 4r_{31a}r_{Ha} + 2r_{31a}r_{Hb} + 2r_{31b}r_{Ha} + r_{31b}r_{Hb}}{r_{31b} + 2r_{Ha} + r_{Hb}}$ .

В связи с тем, что ширина немагнитной стенки Н резервуара с контролируемой средой МПУ накладного типа влияет на эквивалентное магнитное сопротивление  $r$  и является изменяемой величиной, представляется полезным найти указанную зависимость. Результат моделирования выражения (6) приведён на рис. 5.

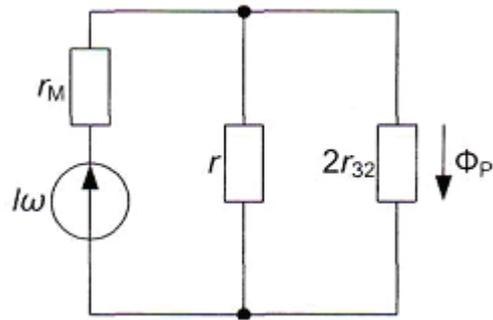


Рисунок 4

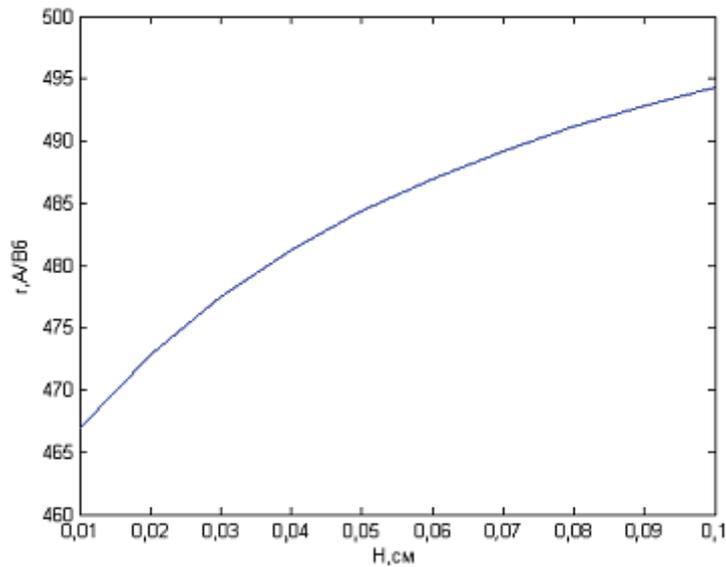


Рисунок 5 – Зависимость эквивалентного сопротивления магнитной цепи МПУ от ширины немагнитной стенки  $H$

Для проведения дальнейшего моделирования, воспользовавшись равенством (6), для магнитной цепи на рис. 4 получим

$$\Phi_P = \frac{rI\omega}{rr_M + 2r_M r_{32} + 2rr_{32}} \quad (7)$$

Зависимость (7) магнитного потока в точке на оси звукопровода вблизи постоянного магнита поплавка при фиксированном значении фиктивной М.Д.С. от ширины немагнитной стенки  $H$  для различных материалов постоянных магнитов приведена на рис. 6. Выражая из (7) значение фиктивной М.Д.С. и применяя известное соотношение [7]  $\Phi = \mu_0 \mu S H$ , запишем

$$I\omega = \frac{\mu_0 \mu S_m H (rr_M + 2r_M r_{32} + 2rr_{32})}{r} \quad (8)$$

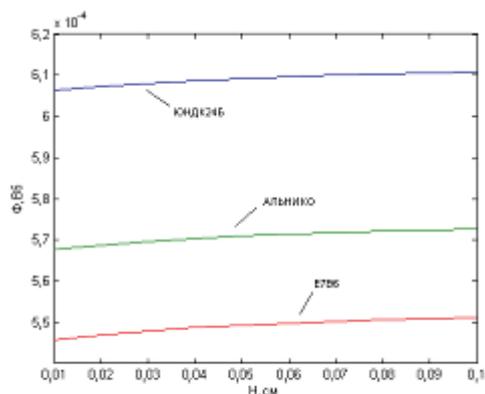


Рисунок 6 – Зависимость магнитного потока от ширины немагнитной стенки

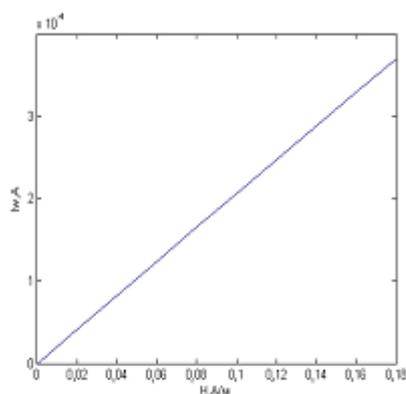


Рисунок 7 – Зависимость фиктивной М.Д.С. от напряжённости поля

График зависимости фиктивной М.Д.С. от напряжённости магнитного поля в точке на оси звукопровода показан на рис. 7.

Результаты оценки совместного влияния ширины немагнитной стенки  $h$  и требуемой напряжённости магнитного поля постоянного магнита на величину фиктивной М.Д.С. (8) приведены на рис. 8.

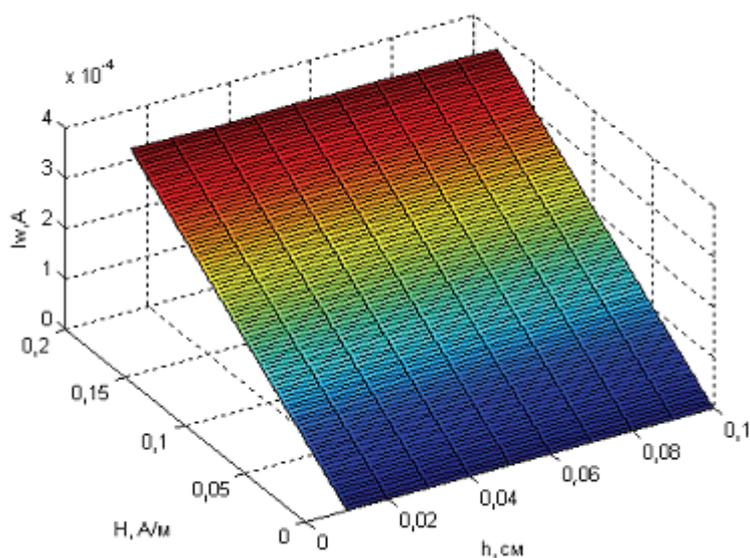


Рисунок 8 – Совместное влияние ширины немагнитной стенки  $h$  и напряжённости магнитного поля на величину фиктивной М.Д.С.

Таким образом, полученное выражение (8) позволяет аналитически найти необходимое значение фиктивной М.Д.С. и затем, с учётом (1) и (2), подобрать постоянный магнит с эквивалентными параметрами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Патент RU №2298154, МПК7: G01F23/28. Ультразвуковой уровнемер / С.Б. Демин, А.С. Фролов. – Оубл. 27.04.2007. – Бюлл. № 12.
2. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев // Наука и образование – 2011 : Сб. статей международной НТК. – Мурманск : МГТУ, 2011. – С. 85 – 91.
3. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей первичного преобразователя магнитострикционного преобразователя перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев // Актуальные вопросы современной информатики : Сб. статей международной НПК, апрель 2011, в 2 т. Т. 2. – Коломна: МГОСГИ, 2011. – С. 24 – 28.
4. Дёмин С.Б. Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования : Монография. – Пенза : ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
5. Арнольд Р.Р. Расчёт и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. – М. : Энергия, 1969. – 184 с.
6. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. – М. : Энергия, 1972. – 248 с.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике : Пер. с нем. / Под ред. Е.М. Лейкина. – М. : Мир, 1983. – 520 с.
8. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2 / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб. : Питер, 2009. – 432 с.

**УДК: 519.711.3**

**ББК: 30**

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА**

© Э.В. Карпухин, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© В.С. Дятков, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

**PROGRAM COMPLEXES FOR MODELING MAGNETIC FIELDS  
OF PLATED MAGNETOSTRICTIVE CONVERTERS OF LEVEL**

© E.V. Karpuhin, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© Dyatkov V.S., Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена математическому моделированию магнитных полей МПУ накладного типа. Моделирование проводится с использованием системы ELCUT, а также разработанной авторами программы “Накладной МПУ”. Результатом моделирования является непрерывная зависимость характеристик магнитного поля накладного МПУ от его геометрических параметров.

**Ключевые слова:** магнестрикционные преобразователи уровня, математическое моделирование, магнитное поле, моделирование в ELCUT.

The article is devoted to mathematical modeling of magnetic fields of plated MCL. Modeling is spent with use of system ELCUT, and also the program developed by authors "Plated МПУ". Result of modeling is continuous dependence of characteristics of a magnetic field plated MCL from its geometrical parameters.

**Key words:** Magnetostrictive converters of level, mathematical modeling, magnetic field, modeling in ELCUT.

E-mail: edvar1@rambler.ru

К настоящему времени создано универсальное и специализированное программное обеспечение (ПО) для решения многих задач математического моделирования [1 – 4]. Однако известные продукты ПО обладают рядом недостатков, затрудняющих их применение для моделирования магнитных полей магнестрикционных преобразователей уровня (МПУ) накладного типа [5].

Рассмотрим МПУ накладного типа, расчётная схема которого изображена на рис. 1. Для полного описания конструкции МПУ должны быть заданы следующие параметры: длина и ширина расчётной области ( $A$ ,  $B$ ), немагнитной стенки ( $h1$ ,  $H$ ), корпуса поплавка ( $lp$ ,  $hp$ ), постоянного магнита ( $l$ ,  $h2$ ), экрана звукопровода ( $le$ ,  $he$ ), толщина направляющего паза поплавка ( $p$ ) и экрана звукопровода ( $e$ ), значения зазоров между поплавком и направляющим пазом ( $z1$ ), между звукопроводом и немагнитной стенкой ( $z2$ ), а также радиус осевого сечения звукопровода ( $r$ ).

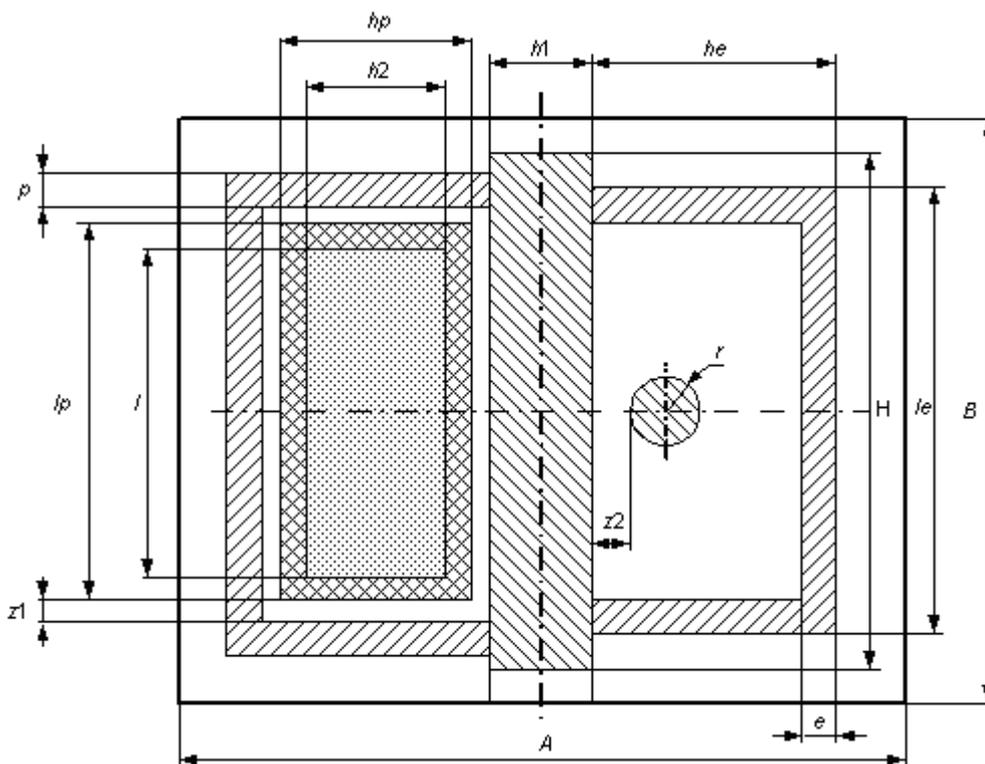


Рисунок 1 – Расчётная схема МПУ накладного типа

Возникает задача поиска оптимальной ширины немагнитной стенки Н, при которой напряжённость продольного магнитного поля постоянного магнита будет достаточной для формирования ультразвуковой волны (УЗВ) кручения в среде звукопровода из магнитострикционного материала и обладать энергией, достаточной для верного считывания сигнальным электроакустическим преобразователем. При этом дальнейшее увеличение ширины немагнитной стенки Н не будет значительно влиять на процесс формирования УЗВ кручения в среде звукопровода из магнитострикционного материала [6, 7]. При попытке решения данной задачи с использованием отечественной моделирующей системы ELCUT для расчётной области МПУ накладного типа (рис. 1) были получены картины силовых линий напряжённости магнитного поля, изображённые на рис. 2.

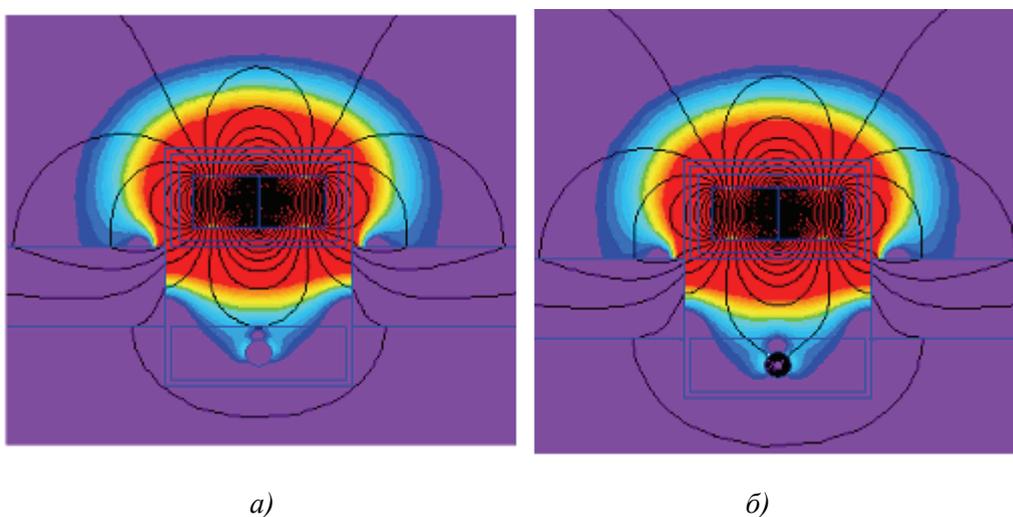


Рисунок 2 – Картины силовых линий напряжённости магнитного поля МПУ накладного типа, полученные с помощью системы ELCUT:  
а) в момент отсутствия токового импульса;  
б) в момент подачи токового импульса в среде звукопровода

Также в результате моделирования в системе ELCUT представляется возможным получение различных интегральных характеристик магнитного поля вдоль заданных контуров. Например, с помощью ELCUT можно найти зависимость индукции результирующего магнитного поля МПУ накладного типа вдоль оси звукопровода [6, 7]. Однако для решения задачи оптимизации ширины немагнитной стенки Н резервуара с контролируемой средой необходимо наличие непрерывных зависимостей характеристик поля в заданной точке от геометрических размеров элементов расчётной области. Такая возможность в ELCUT не предусмотрена, поэтому поставленная задача в этой среде может быть решена лишь приближенно путём ручного перебора всей совокупности возможных значений геометрических размеров.

Для получения непрерывной зависимости напряжённости продольного магнитного поля магнита поплавка от ширины немагнитной стенки Н корпуса

резервуара накладного МПУ в точке на поверхности звукопровода из магнито-стрикционного материала необходимо разработать комплекс программ для ЭВМ, реализующий численный метод расчёта магнитного поля на основе решения системы уравнений Максвелла для электромагнитного поля [8]:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \bar{H} = \bar{j} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \bar{D} = \rho; \\ \operatorname{div} \bar{B} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Известно, что методом сеток система (1) может быть сведена к системе конечно-разностных уравнений, записываемых для каждого узла сетки методом баланса, вида [9, 10]:

$$A_1 k_1 + A_2 k_2 + A_3 k_3 + A_4 k_4 - A_0 (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) = -i_0, \quad (2)$$

где  $k_1 = \frac{\nu_4 + \nu_1}{2}$ ,  $k_2 = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$ ,  $k_3 = \frac{\nu_2 + \nu_3}{2}$ ,  $k_4 = \frac{\nu_3 + \nu_4}{2}$ ,  $A_i$  – иско-

мые значения магнитных потенциалов в узлах,  $\nu_i = \frac{1}{\mu_i}$  – величина, обрат-

ная магнитной проницаемости  $i$ -го узла сетки. Таким образом, система уравнений вида (2) является алгебраической и может быть решена численными методами с любой степенью точности. С этой целью в среде Borland Delphi 7 была разработана программа “Накладной МПУ”, реализующая численный метод верхней релаксации [9] для решения системы уравнений вида (2), описывающей магнитное поле МПУ накладного типа. Главное окно этой программы представлено на рис. 3.

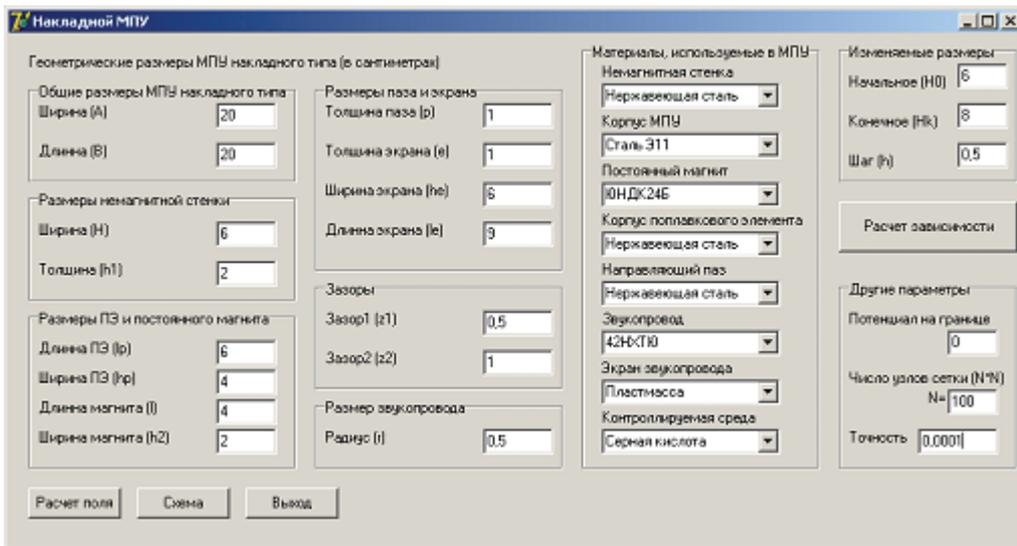


Рисунок 3 – Главное окно программы “Накладной МПУ”

При разработке программы была предусмотрена возможность просмотра промежуточных результатов (кнопка “Расчёт поля” на рис. 4), то есть возможность получения картины магнитного поля при заданных параметрах МПУ. При нажатии этой кнопки группа параметров “Изменяемые размеры” игнорируется, и расчёт поля производится при фиксированном значении ширины немагнитной стенки  $H$ , указанной в блоке “Размеры немагнитной стенки”. Созданный в результате  $m$ -файл будет содержать программу и числовые данные для построения в системе MATLAB зависимости напряжённости магнитного поля МПУ от координат точки расчётной области. Результаты моделирования магнитного поля МПУ накладного типа при фиксированных значениях параметров конструкции с помощью разработанной программы приведены на рис. 4.

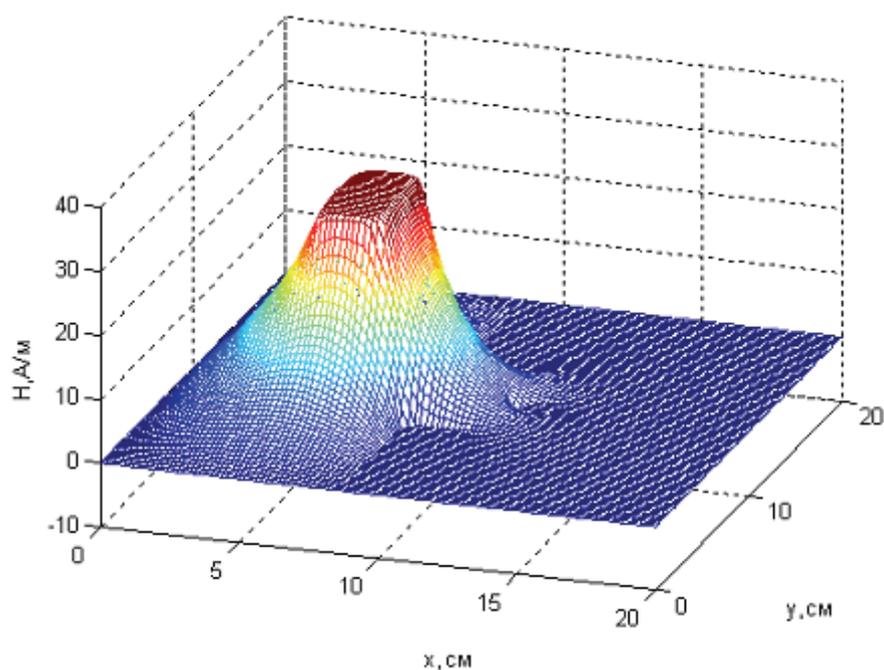


Рисунок 4 – Зависимость напряжённости магнитного поля МПУ накладного типа от координат

Непрерывная зависимость напряжённости магнитного поля постоянного магнита МПУ накладного типа от ширины немагнитной стенки  $H$  резервуара с контролируемой средой, полученная с помощью программы “Накладной МПУ”, приведена на рис. 5. Разработанная программа позволяет получать непрерывную зависимость напряжённости магнитного поля постоянного магнита от ширины немагнитной стенки  $H$  резервуара, что даёт дополнительные возможности моделирования магнитных полей МПУ накладного типа. Программа позволяет осуществить выбор минимально необходимого значения ширины немагнитной стенки  $H$ , сократить расход дорогостоящих материалов, а следовательно, и стоимость накладных МПУ при их серийном производстве.

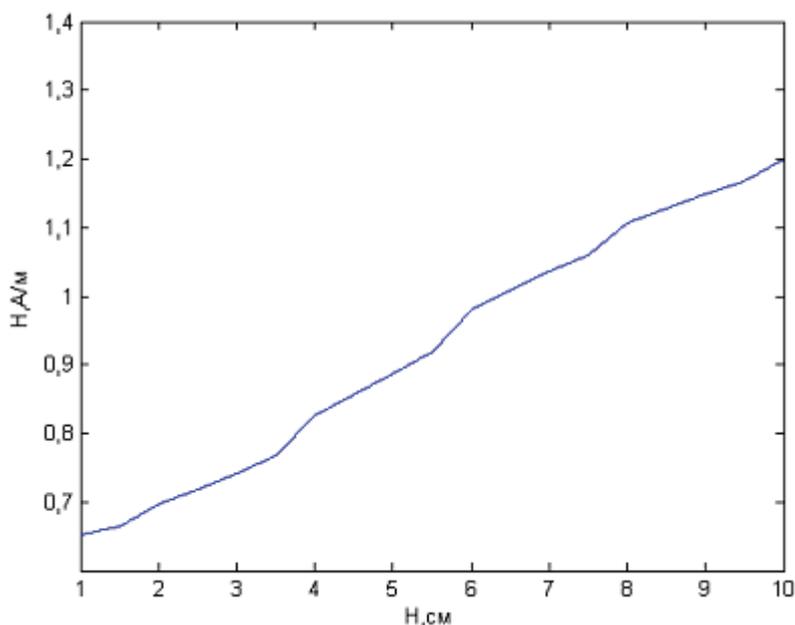


Рисунок 5 – Зависимость напряжённости магнитного поля постоянного магнита от ширины немагнитной стенки  $H$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Е.Р. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9. – М. : ИТ Пресс, 2006. – 496 с.
2. Андреева Е.Г. Конечно-элементный анализ стационарных магнитных полей с помощью программного пакета ANSYS / Е.Г. Андреева, С.П. Шамец, Д.В. Колмогоров. – Омск : ОмГТУ, 2002. – 92 с.
3. Дубицкий С. ELCUT – инженерная система моделирования двумерных физических полей / С. Дубицкий, В. Поднос // CADmaster. – 2001. – № 1. – С. 17–21.
4. ELCUT. Руководство пользователя. Производственный кооператив TOP. – Санкт-Петербург, 2007. – 297 с.
5. Патент RU №2298154, МПК7: G01F23/28. Ультразвуковой уровнемер / С.Б. Дёмин, А.С. Фролов. Оpubл. 27.04.2007. – Бюлл. № 12.
6. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев // Наука и образование – 2011 : Сб. статей международной НТК. – Мурманск : МГТУ, 2011. – С. 85 – 91.
7. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей первичного преобразователя магнитострикционного преобразователя перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев // Актуальные вопросы современной информатики : Сб. статей международной НПК, апрель 2011 : В 2 т. Т. 2. – Коломна : МГОСГИ, 2011. – С. 24 – 28.
8. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М. : Высшая школа, 1978. – 231 с.
9. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2 / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб. : Питер, 2009. – 432 с.

УДК 621.3: 681.3

ББК 34

## УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

© *И.В. Ушенина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

## MANAGEMENT PROGRAM FOR MEASURING STAND PARAMETERS OF ELECTRICAL CIRCUITS

© *I.V. Ushenina, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье описывается разработка и реализация на микроконвертере ADuC841 фирмы Analog Devices управляющей программы формирования опорных напряжений и обработки выходных напряжений схемы измерения параметров электрических цепей.

**Ключевые слова:** электрическая цепь, измерение, микроконвертор, ЦАП, АЦП, отсчёты напряжения.

The paper deals with the development and realization of the algorithms of base voltage formation and processing of output voltage of measuring scheme of electrical circuit parameters, which is accomplished on the base of Analog Devices ADuC841 microconverter.

**Key words:** electrical circuit, measuring, microconverter, DAC, ADC, voltage samples.

### Введение

Задачи измерения параметров пассивных двухполюсных электрических цепей и обоснование актуальности её решения даётся, например, в работах [1 – 3]. В данной статье анализируется возможность формирования опорных напряжений и обработки отсчётов выходного напряжения, используя микроконвертор ADuC841, содержащий микроконтроллер архитектуры 8052, 8-канальный 12-битный АЦП последовательного приближения со скоростью выборки 420 тысяч отсчётов в секунду, два 12-битных ЦАП с выходом по напряжению, и другие ресурсы [4].



Рисунок 1 – Отладочная плата с микроконвертором ADuC841

Программное обеспечение проверено на фирменной отладочной плате, содержащей микроконвертор (рис. 1).

#### Алгоритм работы управляющей программы

Алгоритм управляющей программы содержит четыре этапа – приём от ПК задания на проведение измерений, конфигурирование измерительной схемы (ИС), выполнение измерений в соответствии с принятым заданием и отправка измерительной информации на ПК. Управляющая программа использует следующие ресурсы микроконвертора.

Обмен данными с ПК – универсальный асинхронный приёмопередатчик микроконтроллера (UART).

Хранение инструкций на проведение измерительных процедур – ОЗУ.

Формирование и выдача опорного напряжения – ЦАП.

Выборка и преобразование выходного напряжения ИС – нулевой канал АЦП. Управление АЦП и ЦАП – таймер микроконтроллера.

При подаче питания на микроконвертор выполняется его начальная конфигурация – задаются режимы работы АЦП, ЦАП, таймеров, последовательного приёмопередатчика. После этого микроконвертор переходит в режим ожидания задания на измерение.

После приёма задания и конфигурирования ИС управляющая программа определяет форму опорного напряжения, заносит момент времени отсчёта выходного напряжения в регистры таймера и запускает одну из подпрограмм формирования опорного напряжения. Момент отсчёта выходного напряжения ИС, выполняемого АЦП, определяется по формуле

$$t_{\text{отсч}} = \frac{T2_{\text{max}} - T2}{f_{\text{МК}}} + \frac{N_{\text{УВХ}}}{f_{\text{АЦП}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{отсч}}$  – момент отсчёта выходного напряжения ИС;  $T2_{\text{max}}$  – объём счетчика таймера, управляющего АЦП;  $T2$  – значение, записанное в регистр таймера, управляющего АЦП;  $f_{\text{МК}}$  – тактовая частота микроконвертора;  $N_{\text{УВХ}}$  – количество периодов тактовой частоты, в течение которых работает устройство выборки-хранения АЦП;  $f_{\text{АЦП}}$  – тактовая частота АЦП.

Непосредственно перед выполнением подпрограмм в регистры ЦАП заносятся нулевые значения, разрешается обновление выхода ЦАП и запускается таймер. Стартует измерительная процедура, которая для микроконвертора заключается в формировании опорного напряжения согласно принятому заданию. Выполнение подпрограмм формирования опорного напряжения сопровождается инкрементом регистров таймера каждый машинный цикл. По переполнению таймера АЦП берёт один отсчёт выходного напряжения ИС. После того как отсчёт обработан АЦП и результаты записаны в регистры данных АЦП, вызывается процедура его пересылки на ПК.

Обработав отсчёт выходного напряжения измерительной схемы, программа снова попадает в процедуру формирования опорного напряжения, и если требуемое количество отсчётов не получено, начинается новый период измерения, отличающийся от предыдущего временем взятия отсчёта. Если взяты все отсчёты, программа переходит в режим ожидания нового задания.

### Формирование опорных напряжений

Наиболее употребительными формами опорных напряжений для измерительной схемы являются прямоугольная и пилообразная.

Получить прямоугольное напряжение с точки зрения программной реализации довольно просто. Перед началом рабочей части периода опорного напряжения в регистры ЦАП заносится код амплитуды прямоугольного импульса, разрешается обновление значения напряжения на выходе ЦАП и запускается таймер, контролирующий работу АЦП.

При формировании пилообразного опорного напряжения следует стремиться к тому, чтобы максимально приблизить его форму к идеальной. Одной из причин неидеальности формируемого пилообразного напряжения являются “ступеньки”, соответствующие смене кодов ЦАП. Высоту “ступенек” задаёт разрядность ЦАП, а их шириной можно управлять программно. Интерес представляет вариант, когда ширина “ступенек” минимальна, т.е. количество команд, выполняемых микроконвертером между сменой кода в регистрах ЦАП, а также их длительность, сведены к минимуму.

Поскольку требуется сформировать монотонно нарастающее напряжение, можно изменять код непосредственно в регистрах ЦАП командой инкремента. Это позволяет минимизировать ширину “ступенек”.

### Получение и обработка отсчётов выходного напряжения ИС

Специфика работы МК такова, что каждый отсчёт выходного напряжения ИС удобнее брать в отдельном периоде опорного напряжения.

В [1] показано, что при опорных воздействиях пилообразной и прямоугольной формы выходное напряжение ИС содержит постоянную составляющую, линейно изменяющуюся составляющую, убывающую или нарастающую экспоненту или комбинацию этих компонент. Для экспоненциальной компоненты момент взятия отсчёта должен находиться в диапазоне  $0,5 \cdot \phi - 1,5 \cdot \phi$  после старта ЦАП, где  $\phi$  – постоянная времени переходного процесса исследуемой цепи.

На обработку одного отсчёта требуется 20 тактов АЦП (рис. 2).

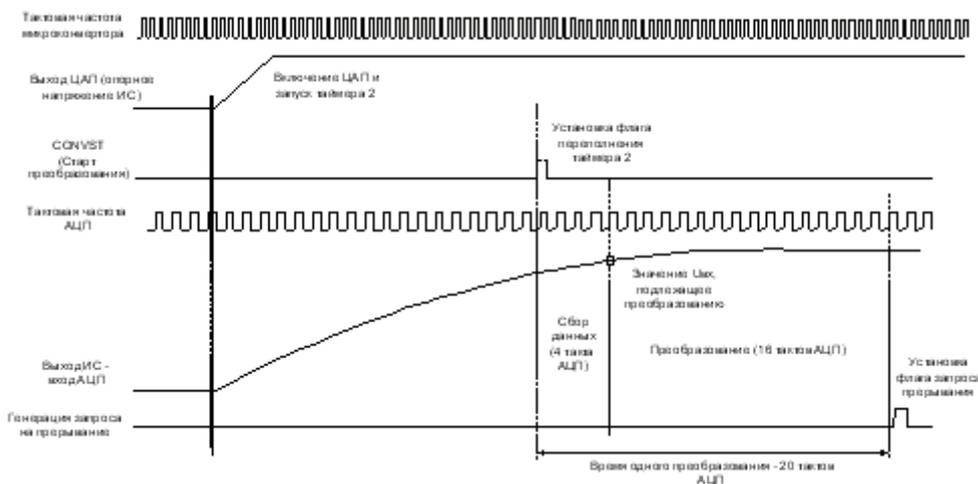


Рисунок 2 – Формирование опорного напряжения и получение отсчёта выходного напряжения ИС

Расчёты показывают, что если за интервал 0,5 – 1,5 мс нужно взять два отсчёта, это удастся сделать, только если  $\varphi \geq 6$  мкс. Кроме того, в режиме работы АЦП под управлением таймера выполнение основной программы, в которой выдаётся опорное воздействие на измерительную схему, прерывается по окончании работы АЦП. В случае прямоугольного опорного напряжения это неважно – на выходе ЦАП останется напряжение прежнего уровня. Если же генерируемый опорный сигнал имеет пилообразную форму, вызов процедуры обработки прерывания остановит нарастание уровня выходного напряжения. По этим причинам за один период всегда берётся один отсчёт. Разумеется, это увеличивает время измерения и снижает быстродействие аппаратной части. Но такой подход позволяет унифицировать процедуру управления измерением для любого опорного воздействия и набора компонент выходного напряжения ИС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светлов А.В. *Принципы построения преобразователей параметров многоэлементных двухполюсных электрических цепей.* – Пенза : Изд-во ПГУ, 1999. – 144 с.
2. Андреев А.Н. *Определение параметров двухполюсников по значениям дискретных отсчетов выходного напряжения измерительной схемы / А.Н. Андреев, В.А. Казаков, А.В. Светлов, Д.А. Светлов // Измерительная техника.* – 1999. – № 8. – С. 19 – 22.
3. Светлов А.В., Ушенина И.В. *Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* – 2008. – № 1. – С. 81 – 89.
4. Ушенина И.В. *Применение готовых аппаратных решений при построении виртуального измерительного комплекса / И.В. Ушенина, Д.А. Ушенин // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : Сб. тр. междунаrod. научно-техн. конф. “Измерения-2006”.* – Пенза : Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2006. – С. 58 – 60.

УДК 531 (075.8)

### ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА

© Ю.Г. Бочкарёва, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

© Н.И. Чижухина, Пензенская государственная технологическая академия  
(г. Пенза, Россия)

### PHYSICAL MODELLING AS AN ELEMENT OF THE STRATEGY OF A SPECIALIST'S INFORMATION COMPETENCE FORMATION

© Y.G. Bochkareva, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© N.I. Chizhuhina, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Обсуждаются проблемы высшей профессиональной школы, возникшие в связи с переходом на новые ФГОС и новые учебные программы по дисциплинам естественно-научного цикла, в частности по дисциплине “Физика”. Дается обоснование смене образовательной парадигмы, связанной с необходимостью компетентного подхода к проблеме подготовки бакалавров по различным направлениям. Указаны основные компетенции, которые должны быть реализованы при изучении курса физики и приведены примеры методических подходов, способствующих быстрейшему и наиболее полному осуществлению поставленных целей.

**Ключевые слова:** компетенция, парадигма, стандарт, физика, информатизация, система, модель, лабораторный практикум, виртуальный эксперимент.

The paper discusses the problems of higher vocational school which have arisen due to the introduction of new federal state educational standards and curriculums of natural-science cycle disciplines (Physics in particular). The alteration of educational paradigm is reasoned, which implies using competence-based approach to bachelors training. The main range of skills that are to be developed while studying physics is specified, the examples of methodical approaches promoting successful goal achievement are given.

**Key words:** competence, paradigm, standard, physics, informatization, system, model, laboratory practical work, virtual experiment.

В текущем учебном году все российские вузы начали работать по новым государственным образовательным стандартам и по новым учебным программам высшего профессионального образования. При переходе на новые стандарты как перед вузами, так и перед отдельными преподавателями возникает множество актуальных проблем, часть из которого уже решена, другая часть требует выполнения уже сформулированных решений, а часть ещё находится на стадии дискуссионных обсуждений. Происходит смена образовательной парадигмы в высшем образовании, связанная с усилением практико-ориентированной подготовки в высшей школе, с требованием обеспечения соответствия образования запросам и возможностям общества периода информатизации и глобальной массовой коммуникации. Традиционная система высшего инженерного образования была рассчитана на формирование знаний, умений, навыков (ЗУН). Признаками нового способа достижения качества образования, нового взгляда на образование становятся компетентность, эрудиция, индивидуальное творчество, самостоятельный поиск знаний и потребность их совершенствования, высокая культура личности. Компетентностный подход не умаляет традиционного значения приобретаемых в процессе обучения знаний, умений и навыков, но открывает перспективы улучшения качества подготовки специалистов за счёт конкретизации учебных целей, альтернативной организации, активизации и технологизации учебного процесса.

Компетентностный подход определён как вектор развития российского образования и олицетворяет инновационный процесс в образовании, соответствует принятой в большинстве развитых стран общей концепции образовательного стандарта и прямо связан с переходом на систему компетентностей в конструировании содержания образования и систем контроля его качества. Для российской образовательной системы компетентностный подход не является принципиально новым. Зачастую новое возникает, не отрицая, а развивая ста-

рое. Элементы этого подхода всегда были в российском образовании неотъемлемой частью управления качеством обучения и подготовки инженеров. В курсе физики как в дисциплине, входящей в цикл математических и естественно-научных дисциплин, при осуществлении компетентного подхода для различных направлений подготовки бакалавров должен выполняться принцип преемственности с ГОС ВПО 2-го поколения. Необходимо сохранение высокого уровня фундаментальной подготовки выпускников различных направлений, сохранение лучших традиций российской высшей школы.

Содержательные изменения базируются на выделении компетенций, не отрицающих ЗУН, но существенно от них отличающихся: от знаний – необходимостью их действенного использования; от умений – переносом на различные объекты воздействия; от навыков – осознанной деятельностью как в привычной, так и в нестандартной обстановке. Например, в разделе “Электричество и магнетизм” рассматривается взаимосвязь напряжённости и потенциала электростатического поля. Если раньше студент должен был дать определение градиента потенциала и записать формулу его связи с напряжённостью, то сейчас ему будет предложено указать практическую значимость этой зависимости с решением конкретных технических примеров. В разделе “Квантовая физика” при изучении свойств полупроводников ранее требовалось, в частности, указать, как изменяется электропроводность полупроводников с температурой. При компетентном подходе студенты должны будут показать, что знают, где используется эта зависимость, как работают терморезисторы или должны будут выполнить небольшую исследовательскую задачу с использованием температурной зависимости сопротивления полупроводников, например, в лабораторной работе.

Для успешной работы в вузах по методике компетентного подхода необходимо:

- преподавателям чётко представлять, какие группы компетенций вырабатываются на преподаваемой ими дисциплине, и конкретные компетенции при изучении каждого раздела;
- кафедрам в целом и отдельным преподавателям обеспечить методическое обеспечение преподаваемой дисциплины с учётом новой образовательной парадигмы;
- разработать и создать новые контрольно-измерительные материалы, которые помогут понять, появилась ли у студентов нужная компетенция.

Информационный и технологический прогресс в обществе перенёс в современном высшем образовании акценты с вопроса “чему учить” на вопрос “как учить”, как формировать мышление, как привить тягу к самосовершенствованию, как развить способность к творчеству. В условиях быстрого обновления информационных технологий важной задачей образования является формирование фундаментальных знаний будущего специалиста и его методической подготовки к будущему непрерывному развитию.

В современных условиях изменяются требования к подготовке будущих специалистов к творческой профессиональной деятельности. Необходимо формирование новых методологических подходов, изменение дидактических концепций, учёт психологических особенностей восприятия студен-

тами новых методик преподавания. Формирование научного мировоззрения студентов технических и технологических вузов осуществляется с помощью комплекса естественных фундаментальных, прикладных и технических дисциплин, таких, как физика, теоретическая механика и др.

В примерных программах по дисциплине “Физика” федерального компонента цикла общих математических и естественно-научных дисциплин для ГОС 3-го поколения обозначена в ОНК “способность приобретать новые знания в области физики, в том числе с использованием современных образовательных и информационных технологий” и в ИК “готовность применять аналитические и численные методы решения физических задач с использованием языков и систем программирования, инструментальных средств компьютерного моделирования”.

Главной целью образования должна быть подготовка специалиста, способного выйти за рамки конкретной науки, видеть мир в целом, уметь получать и обрабатывать информацию, быть готовым к разработке и реализации концепции развития предметной области с учётом достижений не только естественных, но и общественных наук. Оптимальность подхода современного инженера к решению вопросов и задач, связанных с развитием передовых технологий и этапов по изготовлению конкурентоспособной продукции в значительной степени зависит от его умений самостоятельно ориентироваться в меняющихся условиях труда, решать комплексные производственные задачи, одной из характерных особенностей которых является их интегративная основа. Целостное решение таких задач требует от специалистов знаний и умений, сформированных непосредственно в учебном процессе на основе использования физических моделей технических процессов. Несмотря на разносторонность исследований и актуальность проблемы применительно к высшей школе, прослеживается явная недостаточность их реализации в практике вузовской подготовки. Как показывает анализ содержания используемых учебников и учебных пособий, в настоящее время не разработаны рекомендации по целенаправленному использованию междисциплинарных задач, в частности, при подготовке специалистов не разработан системный характер для реализации профессиональной направленности технологической подготовки студентов.

Физика, являясь гибким инструментом исследования явлений и закономерностей природы, позволяет моделировать, изучать и прогнозировать важнейшие научно-технические процессы, происходящие в обществе. Овладение методами физического моделирования является настоящей необходимостью специалистов различных направлений. Значимым дополнением к существующим методикам проведения занятий является постановка виртуальных лабораторных работ и выполнение на практических занятиях расчётно-графических работ с использованием компьютерного моделирования. Основой профессиональной деятельности выпускника технологического вуза (бакалавра, магистра) являются умение строить и использовать физико-математические модели для описания, прогнозирования различных явлений, осуществлять системный количественный и качественный анализ, владеть ком-

пьютерными методами сбора и обработки информации, методами решения оптимизационных задач с использованием информационных технологий. Физико-математическая подготовка должна дать специалистам технологических направлений универсальный инструмент – фундаментальные методы для построения и исследования статических и динамических, непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических моделей и оптимизации характеристик классических и квантовых систем.

Моделирование в качестве универсальной формы познания применяется при исследовании и преобразовании явлений в любой сфере действительности. Системный подход к вопросам моделирования в учебном процессе позволяет определить модель как систему, исследование которой служит средством получения информации о другой системе. При построении моделей важно соблюдение условий подобия или репрезентации и экстраполяции полученных данных на исследуемый объект. Математической моделью физического явления называется совокупность уравнений или формул, описывающих это явление. В методике разработки математической модели исследования физического процесса выделяются следующие этапы:

- разработка содержательного описания объекта (явления, системы) моделирования;
- формализация поставленной задачи, т.е. составление формульной схемы модели;
- расчёт физических величин, параметров, характеристик системы, явления, процесса и графическое отображение установленных функциональных связей.

На занятии перед обучаемыми ставится общая задача, например расчёт характеристик электростатического поля системы зарядов или расчёт параметров цепи переменного тока, или расчёт энергетических величин абсолютно чёрного (или реального) тела и т.д. Численные параметры системы, выдаваемые студентам, индивидуальны. Студенты персонально на компьютере должны создать модель физического процесса, рассчитать характеристики, параметры разработанной ими модели и графически (в частности, используя три оси) отобразить функциональные связи физических величин, описывающих модельно представленное явление.

Успешно решать задачи профессионального образования позволяет компьютерное моделирование физических процессов на лабораторных занятиях. Постановка виртуального лабораторного практикума в сочетании с натурным экспериментом способствует наиболее осознанному, более глубокому усвоению физических знаний и позитивной оценке практической значимости этих знаний.

В современных условиях при высокой компьютеризации вузов возможно осуществление любых виртуальных физических процессов без использования дорогостоящей экспериментальной базы.

В Пензенской государственной технологической академии на кафедре физики разработаны и созданы электронные учебные лаборатории, включающие комплект электронных учебных материалов по курсу физики по

разделах “Квантовая физика” и “Электричество и магнетизм”. В комплект входят учебные и электронные учебные пособия “Квантовая физика” [1, 2], “Сборник задач по квантовой физике” [3, 4], “Руководство к лабораторным работам по квантовой физике” [5, 6], “Руководство к лабораторным работам по электричеству и магнетизму” [7, 8]. В стадии разработки находятся электронные пособия “Электричество и магнетизм” и “Сборник задач по электричеству и магнетизму”.

В электронной учебной лаборатории “Квантовая физика” представлены 12 работ, начиная с квантовой оптики и завершая ядерной физикой. В электронной учебной лаборатории “Электричество и магнетизм” имеется 10 работ. Название работы, авторы и разработчики указаны в бегущей строке (см. рис. 1), в частности, программирование выполнялось студентами 2-го курса. В начале описания работ сформулирована цель и указаны приборы и принадлежности. Каждая работа содержит разделы:

- теоретическое введение;
- описание установки и метода измерения;
- порядок выполнения работы;
- проведение эксперимента;
- обработка результатов эксперимента;
- контрольные вопросы;
- тесты.

Виртуальный эксперимент проводится на мультимедийной установке, соответствующей натурной лабораторной установке, если таковая имеется в лаборатории. Последнее не всегда осуществимо, как показано на примере лабораторной работы “Изучение радиоактивного распада”. Виртуальный эксперимент позволяет смещать любые временные интервалы и проводить измерение радиоактивности некоторого вещества через несколько дней или веков, например 100 лет. Установка по проведению такого эксперимента показана на рис. 1.

Постановка мультимедийных лабораторных работ позволяет расширить не только временные рамки, но и произвольно ускорять или замедлять физические процессы, как, например, в лабораторной работе “Изучение движения электронов в электростатических полях”, в которой модельно показано движение электронов (см. фрагмент эксперимента на рис. 2).

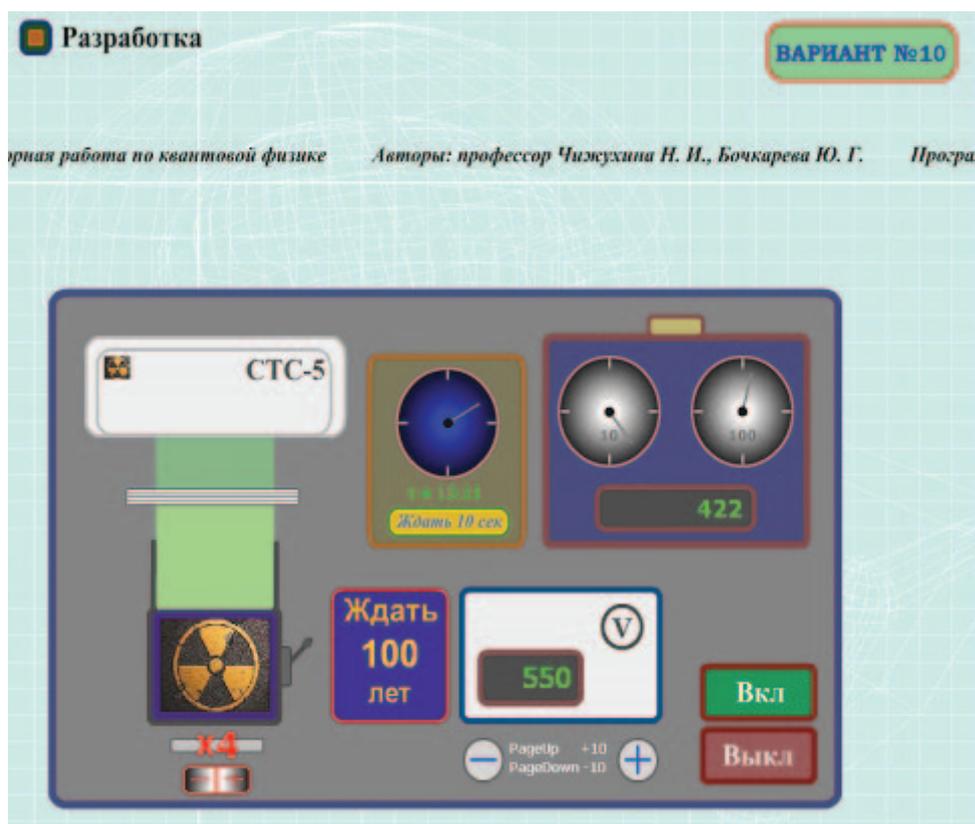


Рисунок 1 – Мультимедийная установка к лабораторной работе “Изучение радиоактивного распада”

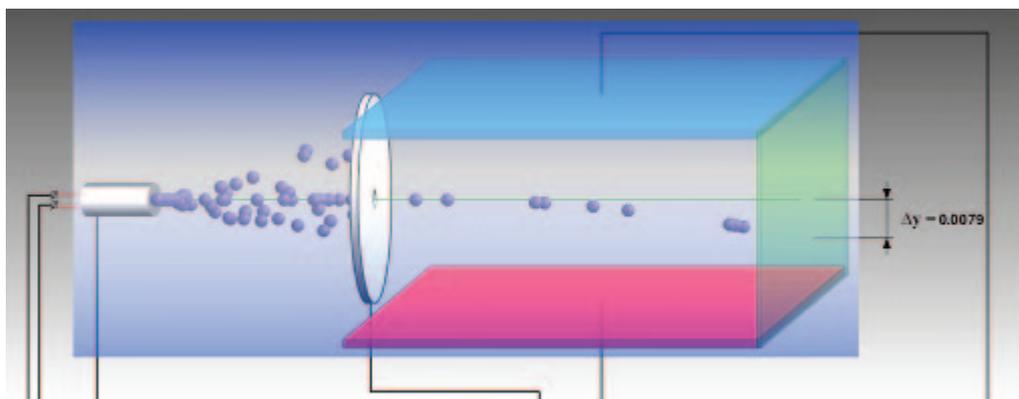


Рисунок 2 – Мультимедийная установка к лабораторной работе “Изучение движения электронов в электростатических полях”

Каждая лабораторная работа имеет 10 вариантов с различными параметрами установок, что позволяет осуществлять на занятии фронтальное выполнение работ.

Компьютерное выполнение лабораторных и расчётно-графических работ: во-первых, способствует более глубокому усвоению студентами сущности рассматриваемого процесса, явления или закона, во-вторых, формирует в сознании студента представления о том, что физика – фундамент естествознания, на котором базируются технические дисциплины; в-третьих, экономит время на расчётах; в-четвертых, совершенствует умения в общении с компьютерной техникой, в частности в приобретении навыков построения графиков функциональных зависимостей нескольких величин, и, в-пятых, способствует более глубокому усвоению физического материала, упрочению физических знаний в целом, развитию физического мышления и даже, возможно, научной интуиции [9].

Процессы моделирования физических процессов способствуют формированию таких слагаемых информационной компетенции, как умение ориентироваться в информационном потоке, способность использовать рациональные способы получения и преобразования информации, навыка актуализации её в творческой деятельности, овладение новыми мультимедийными технологиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижухина Н.И., Бочкарева Ю.Г. *Квантовая физика : Учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2010. – 286 с.*
2. Чижухина Н.И., Бочкарева Ю.Г. *Квантовая физика : Электронное учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2007. – 4,04 МБ.*
3. Бочкарева Ю.Г., Чижухина Н.И. *Сборник тестовых заданий по квантовой физике : Учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2010. – 176 с.*
4. Бочкарева Ю.Г., Чижухина Н.И. *Сборник задач по квантовой физике : Электронное учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2008. – 9,73 МБ.*
5. Чижухина Н.И., Бочкарева Ю.Г. *Руководство к лабораторным работам по квантовой физике : Учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2010. – 134 с.*
6. Чижухина Н.И., Бочкарева Ю.Г. *Руководство к лабораторным работам по квантовой физике : Электронное учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2008. – 4,34 МБ.*
7. Бочкарева Ю.Г., Чижухина Н.И. *Руководство к лабораторным работам по электричеству и магнетизму : Учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2010. – 105 с.*
8. Бочкарева Ю.Г., Чижухина Н.И. *Руководство к лабораторным работам по электричеству и магнетизму : Электронное учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2009. – 6,47 МБ.*
9. Бочкарева Ю.Г., Чижухина Н.И. *Эвристика в сфере промышленных технологий и сервиса : Учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2008. – 247 с.*

---

## **ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОТРЕБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, Академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

## **СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

© **С.Н. Борисова**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: snl\_simona@mail.ru

© **Е.М. Боброва**, аспирантка 1 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

## **АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И УТИЛИТАРНЫЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОНОВ**

© **В.В. Рыжаков**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Техническое управление качеством” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: rvv@pgta.ru

## **АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ КООРДИНАТ ОБНАРУЖЕННОГО ОБЪЕКТА**

© **Н.А. Кочкин**, помощник генерального директора ЦНИИ “Циклон”, г. Москва

E-mail: bak-1960@mail.ru

## **АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛНЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ, ОРТОГОНАЛЬНОМУ ОСИ ОХРАНЯЕМОЙ ЗОНЫ**

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, Академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

---

© **М.Н. Чернышев**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17  
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРОПУСКАНИЯ  
ПРИ ДИФРАКЦИИ ЭМ-ВОЛН НА НАРУШИТЕЛЕ**

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, Академик РАН

E-mail: iis@pgta.ru

© **Н.И. Чернышев**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: cher@pgta.ru

**АЛГОРИТМ УДАЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ  
С ИЗОБРАЖЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ФОНА**

© **А.В. Бурмистров**, ассистент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: bibika@pgta.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

© **Н.Г. Федотов**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Экономическая кибернетика” Пензенского государственного университета, Академик РАН

E-mail: fedotov@pnzgu.ru

© **Д.А. Мокшанина**, к.т.н., доцент кафедры “Экономическая кибернетика” Пензенского государственного университета

© **С.В. Романов**, программист кафедры “Экономическая кибернетика” Пензенского государственного университета.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЛИЧНОСТИ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПЭВМ**

© **С.Н. Борисова**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: snl\_simona@mail.ru

---

## **АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ДАТЧИКАХ**

© **Д.А. Матвеев**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.17  
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”  
E-mail: dimitry88@mail.ru

## **ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”  
E-mail: los@pgta.ru

## **ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СТАНДАРТА РАДИОИНТЕРФЕЙСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”  
E-mail: los@pgta.ru

© **А.Е. Дудров**, аспирант 1 года обучения по специальности 05.13.17  
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

## **МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

© **М.Н. Шмокин**, доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”  
E-mail: ShMNpenza@mail.ru

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

© **А.Б. Андреев**, к.т.н., доцент, профессор, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”  
E-mail: andreev@pgta.ru

---

## АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОМОРФИЗМА СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ

© **В.В. Пикулин**, к.т.н., доцент, профессор кафедры “Прикладная информатика”

E-mail: pvv@pgta.ru

© **Ю.Е. Усачёв**, к.т.н., доцент кафедры “Прикладная информатика”

## СТРУКТУРА ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ ОБЗОРНЫХ СИСТЕМ

© **В.А. Кочкин**, к.т.н., доцент, начальник лаборатории ФГУП “НПО Астрофизика”, г. Москва

© **Ю.Ф. Кутаев**, к.т.н., заместитель директора ФГУП “НПО Астрофизика”, г. Москва

© **Е.А. Рыбина**, научный сотрудник ФГУП “НПО Астрофизика”, г. Москва

E-mail: bak-1960@mail.ru

## МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ВИДЕОКАМЕР В СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

© **В.А. Борисов**, старший преподаватель кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: grommet@mail.ru

## ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

© **Р.М. Адилев**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: arm@pgta.ru

## ДИСПЕТЧЕР ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ С АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ

© **Р.А. Бикташев**, к.т.н., доцент, профессор кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, член-корреспондент Международной академии наук педагогического образования

---

## **ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА "РАНДЕВУ"**

© **Н.П. Вашкевич**, д.т.н., профессор кафедры “Вычислительная техника”, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Академик МАИ и АИО

© **Р.А. Бикташев**, к.т.н., доцент, профессор кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, член-корреспондент Международной академии наук педагогического образования

E-mail: bra559620@sura.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ ПАМЯТИ С БУФЕРИЗАЦИЕЙ ТРАНЗАКЦИЙ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© **А.И. Мартышкин**, аспирант 1 года обучения по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: Alexey314@yandex.ru

## **УСТРОЙСТВО ОПТИМИЗАЦИИ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ ГРАФА НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ КОММИВОВАЖЁРА**

© **Л.И. Федосеева**, доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

## **АНАЛИЗ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ**

© **В.А. Чулков**, д.т.н., доцент, профессор кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: chu@pgta.ru

## **ИНТЕРПОЛИРУЮЩИЙ ХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С СУБВЕНТИЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

© **В.А. Чулков**, д.т.н., профессор кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”,

© **И.В. Димов**, аспирант 1 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **С.А. Нестеренко**, аспирант 1 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: chu@pgta.ru

---

**СЕРВЕРНАЯ ПЛАТФОРМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ПРОФФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

© **Н.Н. Оглоблин**, заведующий лабораторией системного программного обеспечения учебных компьютерных классов ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: nik@pgta.ru

© **Д.А. Митрофанов**, заведующий лабораторией программного обеспечения корпоративных компьютерных сетей, ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: govard@pgta.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ  
ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ НЕЧЁТКОЙ  
ЛОГИКИ**

© **И.Ю. Сёмочкина**, к.т.н., доцент, начальник учебно-методического управления ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: ius@pgta.ru

© **О.В. Прокофьев**, к.т.н., доцент Всероссийского заочного финансово-экономического института (филиал в г. Пензе)

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ  
НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРИБОРОВ**

© **Е.Н. Калинин**, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского

© **Е.С. Дёмин**, студент 2-го курса Пензенского государственного университета

© **С.Б. Дёмин**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой “Электроника и электротехника”

E-mail: dstabor@yandex.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ПОСТОЯННОГО МАГНИТА МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА**

© **Э.В. Карпухин**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: edvar1@rambler.ru

---

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МПУ НАКЛАДНОГО ТИПА**

© **Э.В. Карпухин**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.18  
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.С. Дятков**, доцент кафедры информационных компьютерных технологий ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

E-mail: edvar1@rambler.ru

**УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

© **И.В. Ушенина**, к.т.н., доцент кафедры “Вычислительные машины и системы” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

---

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого  
и проблемы настоящего** *плюс*



Редактор Л.Ю. Горюнова  
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 17.10.11. Формат 70x108 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.  
Усл. печ. л. 16,09. Уч.-изд. л. 13,2. Заказ № 2098. Тираж 118.

Пензенская государственная технологическая академия.  
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1<sup>а</sup>/11.