

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**В.Ф. Гузик, Е.В. Ляпунцова,  
Д.А. Беспалов, М.Ю. Поленов**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ  
ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Монография*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2017

УДК.004.7  
ББК 32.973  
П79

*Печатается по решению редакционно-издательского  
совета Южного федерального университета*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой систем  
автоматического управления Института радиотехнических систем и  
управления Инженерно-технологической академии ЮФУ

*В.И. Финаев;*

доктор технических наук, профессор кафедры информатики  
Таганрогского института им. А.П. Чехова (филиал) Ростовского  
государственного экономического университета (РИНХ)

*Н.И. Витиска.*

**Гузик, В.Ф.**

П791 Проектирование высокопроизводительных проблемно-  
ориентированных вычислительных систем : монография /  
В.Ф. Гузик, Е.В. Ляпунцова, Д.А. Беспалов, М.Ю. Поленов –  
2-е изд., испр. и доп. ; Южный федеральный университет.–  
Ростов-на-Дону – Таганрог : Издательство Южного  
федерального университета, 2017. – 517 с.  
ISBN 978-5-9275-2341-2

Монография посвящена современным проблемно-  
ориентированным вычислительным системам различного типа.  
Рассмотрены суперЭВМ и классические многопроцессорные системы.  
Кроме того, приведены арифметические и алгоритмические основы  
проблемно-ориентированных вычислительных систем, в том числе  
систем цифровой обработки сигналов. Приведенные в монографии  
результаты научных исследований позволят в полной мере изучить  
методы проектирования высокопроизводительных проблемно-  
ориентированных вычислительных систем.

Книга предназначена для студентов технических специальностей,  
магистрантов и аспирантов, а также разработчиков современных  
средств вычислительной техники.

УДК 004.7  
ББК 32.973

ISBN 978-5-9275-2341-2

© Южный федеральный университет, 2017  
© Гузик В.Ф., Ляпунцова Е.В.  
Беспалов Д.А., Поленов М.Ю., 2017

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии проведен обширный обзор в области суперЭВМ и их применения. В области многопроцессорных вычислительных систем выполнено исследование методов проектирования проблемно-ориентированных многопроцессорных вычислительных систем, реализующих конвейерно-потокосые вычисления с различной организационной структурой, разработан ряд образцов ПОВС, созданных на базе первого и второго поколения БИС цифровой обработки сигналов, разработанных в НИИ МВС ЮФУ и внедренных заказчиком. Разработаны и практически внедрены в устройствах на ПЛИС алгоритмы цифровой обработки сигналов. В монографии перечислены основные теоретические результаты в области квантового компьютеринга, которым научные сотрудники кафедры ВТ ИКТИБ ЮФУ занимаются более десяти лет.

Монография предназначена для бакалавров, магистрантов, инженеров и аспирантов, специализирующихся в направлении «Информатика и вычислительная техника».

Также является основой курсов «Проблемно-ориентированные вычислительные системы», «Проектирование проблемно-ориентированных вычислительных систем» и «Высокопроизводительные вычислительные системы», читаемых авторами монографии на кафедре ВТ для студентов и аспирантов.

Главы 1, 2 и 5 написаны д.т.н., профессором В.Ф. Гузиком, д.т.н., профессором Е.В. Ляпунцовой и к.т.н., доцентом М.Ю. Поленовым.

Главы 3 и 4 написаны профессором В.Ф. Гузиком совместно с д.т.н., профессором В.Е. Золотовским и к.т.н., доцентом Д.А. Беспаловым.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам кафедры ВТ и НИИ многопроцессорных вычислительных систем, среди которых к.т.н., доценты А.И. Гречишников, И.И. Итенберг, Г.Н. Евтеев, О.Б. Станишевский, Е.А. Семерников, А.Н. Халявко, Е.Б. Механцев, А.В. Ковалев и др., которые внесли существенный вклад в разработку и внедрение первых комплектов БИС и образцов ПОВС для цифровой обработки сигналов, а также всем сотрудникам кафедры ВТ, принявшим участие в оформлении и выпуске этой монографии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малиновский Б.Н. Очерки по истории компьютерной науки и техники в Украине. – Киев: Феникс, 1998. – 452 с.
2. Академик Анатолий Васильевич Каляев – Ученый, Воин, Учитель /И.А. Каляев, А.П. Кухаренко. Изд-во юбилейное. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 330 с.
3. Пьявченко О.Н. Вычислительная и микропроцессорная техника: Фрагменты истории: конспект лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 114 с.
4. Гузик В.Ф. Проектирование проблемно-ориентированных вычислительных систем: монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 463 с.
5. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры. – 2-е изд. перераб. и доп. / под общей редакцией И.А. Каляева. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
6. Гузик В.Ф., Кидалов В.И., Самойленко А.П. Статистическая диагностика неравновесных объектов. – СПб.: Судостроение, 2009. – 304 с.
7. Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю. Многоязыковая трансляция средств виртуального моделирования. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 368 с.
8. Гузик В.Ф. Модульные интегрирующие вычислительные структуры. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
9. Каляев А.В. Введение в теорию цифровых интеграторов. – Киев: Наукова думка, 1964. – 291 с.
10. Каляев А.В. Теория цифровых интегрирующих машин и структур. – М.: Советское радио, 1970. – 472 с.
11. Каляев А.В. Однородные коммутационные регистровые структуры. – М.: Советское радио, 1978. – 336 с.
12. Алексенко А.Г., Каляев А.В., Лукиенко В.И. и др. Перестраиваемые цифровые структуры на основе интегрирующих процессоров. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.

13. Каляев А.В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
14. Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. – М.: Янус – К, 2003. – 380 с.
15. Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. – 196 с.
16. Золотовский В.Е. Арифметические и алгоритмические основы проблемно-ориентированных вычислительных систем: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 185 с.
17. Золотовский В.Е., Гузик В.Ф. Проблемно-ориентированные системы цифровой обработки сигналов: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 276 с.
18. Золотовский В.Е. Проблемно-ориентированные системы структурного моделирования. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 187 с.
19. Золотовский В.Е. Практикум по арифметическим и алгоритмическим основам проблемно-ориентированных вычислительных систем: учебное пособие по проведению практических занятий. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 160 с.
20. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е. Проблемно-ориентированные вычислительные системы: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 306 с.
21. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е. Проблемно-ориентированные высокопроизводительные вычислительные системы: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 236 с.
22. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Беспалов Д.А., Ляпунцова Е.В. Лабораторный практикум по курсу «Проблемно-ориентированные вычислительные системы. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 116 с.
23. Золотовский В.Е. Проектирование высокопроизводительных проблемно-ориентированных систем: монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 356 с.

24. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Беспалов Д.А., Ляпунцова Е.В. Проектирование проблемно-ориентированных вычислительных систем: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 174 с.
25. Бурцев В.С. Информационно-вычислительные системы с автоматическим распределением вычислительных процессов // Труды Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления», 2000.
26. Бурцев В.С. Принципы построения многопроцессорных вычислительных комплексов «Эльбрус» – Препринт № 1. – М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1977.
27. Айлиф Дж. Принципы построения базовой машины. – М.: Мир, 1973. – 118 с.
28. Грис Д. Конструирование компиляторов для цифровых вычислительных машин. – М.: Мир, 1973.
29. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962.
30. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. – Новосибирск: Наука, 1966. – 308 с.
31. Евреинов Э.В., Хорошевский В.Г. Однородные вычислительные системы. – Новосибирск: Наука, 1978.
32. Евреинов Э.В., Прангишвили И.В. Цифровые автоматы с настраиваемой структурой. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
33. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. – Ижевск, 2001. – 352 с.
34. Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Ляпунцова Е.В. Квантовый компютинг: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2012. – 120 с.
35. Каляев А.В., Гузик В.Ф., Сулин Г.А., Глухов О.Д. Индикатор равенства потоков приращений для цифровых дифференциальных анализаторов – Авт. свид. № 206889. БИПОТЗ № 1, 1967.
36. Коллатц Л. Функциональный анализ и вычислительная математика. – М.: Мир, 1969. – 447 с.

37. Микропроцессорный комплект БИС серии К1815 для цифровой обработки сигналов: справочник/под ред. А.И. Сухопарова. – М.: Сов. радио, 1992.
38. Абрамов С.М., Заднепровский В.З., Московский А.А. Отечественные суперЭВМ и грид-системы. Проблемы развития национальной киберинфраструктуры в России // Сб. «Российские суперкомпьютеры: Наука. Технология. Производство». – Библиотека ЦСПП. Вып. 2. – С. 36–54.
39. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – М.: Физматгиз, 1959.
40. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. – М.: ИП, 1963.
41. Майоров С.А., Новиков Г.И. Структура цифровых вычислительных машин. – Л.: Машиностроение, 1970.
42. Guzik V.Ph., Dougal R.A. Structural Modling for Simulation of Power Electronic System. – The F-th workshop on computers in power electronics. IEEE Blacksburg, Virginia, 2000.
43. Гузик В.Ф., Чернухин Ю.В. Нейрокомпьютеры в системах обработки информации: коллективная монография. – М.: Радиотехника, 2003.
44. Дал У., Дейкстра Э., Хоор К. Структурное программирование. – М.: Мир, 1975.
45. Каляев А.В., Гузик В.Ф. Параллельная обработка информации. Т. 4. – Киев: Наукова думка. 1988.
46. Пospelов Д.А. Введение в теорию вычислительных систем. – М.: Советское радио, 1972.
47. Пьявченко О.Н. Интерполяционные цифровые интегрирующие машины параллельного типа с многоуровневыми приращениями. – Киев: Кибернетика, 1965.– № 2.
48. Рабинер Л., Гоулд Д. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978.
49. Гузик В.Ф., Крюков Р.М., Криворучко И.М. Алгоритм работы решающих блоков с автоматическим масштабированием // Сб. «Однородные цифровые интегрирующие структуры». Вып. 8. – Таганрог, 1977.

50. Каляев А.В., Гузик В.Ф. Некоторые математические операции в вычислительных структурах, состоящих из цифровых интеграторов // Вычислительные системы. Вып. 1. – Новосибирск: Наука, 1968.
51. Каляев А.В., Гузик В.Ф. Об одной операции дифференцирования в цифровых интегрирующих машинах // Теория аналоговых и комбинированных вычислительных машин. – М.: Наука, 1969.
52. Гузик В.Ф. Математическая модель интегрирующей вычислительной структуры модульного типа на основе t-алгоритмов. Кибернетика, 1978.– № 6.
53. Гузик В.Ф., Денисенко Н.И. Динамическая коммутация приращений в интегрирующих вычислительных структурах. – Киев: Электронное моделирование.– 1979.– № 1.
54. Пашкеев С.Д. Основы мультипрограммирования для специализированных вычислительных систем. – М.: Советское радио, 1972.
55. Chomsky N. Formal properties of grammas/ – Hand-book of mathematical psychology, Vol 2, 1963.
56. Катцман Г. Операционные системы. – М.: Мир, 1976.
57. Клингман Д. Проектирование специализированных ЭВМ. – М.: Мир, 1989.
58. Dijkstra E.W. Notes on Structured Programming. – Structured Programming/ Academic Press, London, 1972.
59. Фостер Дж. Автоматический синтаксический анализ. – М.: Мир, 1975.
60. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е. Выполнение математических операций в системе символьных вычислений. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2007. – № 3.
61. Petri C.F. Kommunikation mit Automaten. – Ph. D. Thesis University of Bonn, 1962.
62. Байцер Б. Архитектура вычислительных комплексов. – М.: Мир, 1974.
63. Flynn M.T. Some Computer Ovganizations and Treir Effectiveness. – IEEE Trans Computers, 1972. No. 9.

64. Марчук Г.И., Котов В.Е. Модульная асинхронная развиваемая система. – Препринт ВЦ СО АН СССР. – Новосибирск, 1978.
65. Гузик В.Ф., Комисаров А.А., Лисуненко В.В. О построении вычислителя на основе однородных цифровых интегрирующих структур для управления движением манипулятора // Материалы конференции «ЭВМ – 76». – М., 1976.
66. Гузик В.Ф., Серeda А.А. Имитационная модель для исследования отказоустойчивых процессов в мультипроцессорных вычислительных системах // Электронное моделирование. – Киев. – 1977. – № 4.
67. Гузик В.Ф. Тренажерные системы на базе локальных вычислительных сетей. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – № 2.
68. Алексенко А.Г. и др. Применение КМДП – ИС: Справочные материалы. ГОНТИ-5. – 1976. – № 6.
69. Прагишвили И.В. Микропроцессоры и микроЭВМ. – М.: Энергия, 1979.
70. Гузик В.Ф. Качественная оценка методов прогнозирования для их реализации в бортовых вычислителях // Известия ТРТУ. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – № 2.
71. Гузик В.Ф., Карелин В.П., Миронов Б.Н. Об изоморфном вложении сетей цифровых интеграторов в однородную структуру с неисправными коммутирующими элементами // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1973. – № 4.
72. Гузик В.Ф., Донианц В.Н., Каляев А.В. и др. Логико-интегрирующая цифровая вычислительная машина. – Авт. свид. № 529723.
73. Гузик В.Ф., Донианц В.Н., Каляев А.В., Лазарев В.Г. Перестраиваемые однородные цифровые интегрирующие структуры. – Киев: Наукова думка, 1976.
74. Поспелов Д.А. Арифметические основы ЦВМ. – М.: Высшая школа, 1976.
75. Каляев А.В., Гузик В.Ф., Турута Е.Н. Системы на основе транспьютеров и язык ОССАМ для них // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 7.

76. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
77. Каппелини В. и др. Цифровые фильтры и их применение. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
78. Яшин В.В., Калинин Г.А. Обработка изображений на языке С для IBM PC: Алгоритмы и программы. – М.: Мир, 1994.
79. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. – СПб.: Питер, 2002.
80. Introduction to the Quartus // Software. Version 10.0 ALTERA Corporation, 2010.
81. VHDL code for a 4 tap Fir filter. <http://vhdlguru.Blogs.com/2011/vhdl-code-for-4-tap-fir-filter.html>.
82. Бочков С., Быстрицкий В. Быстрое преобразование Фурье и его приложения. <http://alglib.sources.ru/fft/.2009>.
83. Войнаровский М. Быстрое преобразование Фурье. <http://spilologic.narod.ru/fft/fft.htm>.
84. Куприянов М.С., Матюшин Б.Д. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Политехника, 1998. – 592 с.
85. Сергиенко А.М. Поведенческая модель процессора БПФ <http://kanuevsky.kpi.ua/userel-core/behavioral-fft.html>.
86. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем. – СПб., 2004.
87. Степаненко С.А. Оценки ускорения вычислений гибридными системами // V Международная конференция «Параллельные вычисления и задачи управления» – РАСО. – М., 2010.
88. Концепция по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ эксафлопного класса на 2012 – 2020. <http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosatom/rosatomsite/aboutcorporation/nauka/>.
89. Exascale Supercomputers, Architectural Outlines/ S.A. Stepanenko, V.V. Yuzhakov – Email: [ssa@vniit.ru](mailto:ssa@vniit.ru).
90. Эксафлопные технологии. Концепция по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ эксафлопного класса (2012 – 2020).

91. Губанов Д.А., Сташенко В.Б. Перспектива реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе ПЛИС фирмы Altera. МГТУ им. Н.Э. Баумана [Официальный сайт] URL: <http://dsol.ru/stud/book5/df.html> (дата обращения 16.06.2015), 1987.
92. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. – М.: Недра, 1987.
93. Рабинович З.Л. Элементарные операции в вычислительных машинах. – Киев: Техника, 1966.
94. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576с.
95. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
96. LeeS., JohnsonT.A., EigenmannR. Cetus – AnExtensibleCompiler Infrastructure for Source-to-Source Transformation // Languages and Compilers for Parallel Computing: 16<sup>th</sup> International Workshop. CollegeStation, TX, USA, 2004. – P.539 – 553.
97. Гузик В.Ф., Чернухин Ю.В., Поленов М.Ю. Организация системы структурно-процедурного моделирования // Качество и ИПИ (CALS)-технологии. – 2004. – № 1. – С. 30 – 33.
98. Гузик В.Ф., Чернухин Ю.В., Золотовский В.Е., Доугал Р.А. Система процедурно-структурного моделирования // Информационная математика. – 2003. – № 1. – С. 87 – 102.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ЭВМ, СУПЕРЭВМ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ, ЭКОНОМИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Создание и развитие суперЭВМ за рубежом .....</b>	<b>16</b>
1.1.1. История развития суперЭВМ .....	16
1.1.2. Пятерка самых мощных суперкомпьютеров на сегодняшний день .....	28
1.1.3. Перспективы развития суперкомпьютеров .....	32
1.1.4. Суперкомпьютер Tianhe-2 .....	42
<b>1.2. Эксафлопные технологии .....</b>	<b>44</b>
<b>1.3. Этапы развития отечественных ЭВМ .....</b>	<b>48</b>
1.3.1. Развитие отечественных ЭВМ в советский период .....	48
1.3.2. Развитие ЭВМ в современной России .....	55
1.3.3. Отечественный суперкомпьютер «СКИФ МГУ» .....	61
1.3.4. Применение суперкомпьютеров в России .....	63
1.3.5. РАН создала мощный суперкомпьютер .....	64
<b>1.4. Кластерные системы .....</b>	<b>65</b>
<b>1.5. Суперкомпьютерная программа СКИФ как пример кластерной системы .....</b>	<b>70</b>
<b>2. КЛАССИЧЕСКИЕ МНОГОПРОЦЕССОРНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ (МВС) И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ МНОГОПРОЦЕССОРНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ (МВС ПА) .....</b>	<b>74</b>
<b>2.1. Многопроцессорные вычислительные системы, построенные на процессорах фоннеймановской концепции .....</b>	<b>74</b>
<b>2.2. Примеры организации вычислительного процесса процедурным методом .....</b>	<b>77</b>
2.2.1. Операция сложения-вычитания .....	77
2.2.2. Умножение от младших разрядов множителя .....	79
<b>2.3. Процедурно-структурный принцип построения вычислительных систем .....</b>	<b>88</b>
<b>2.4. Многопроцессорные вычислительные системы с программной архитектурой (МВС ПА) .....</b>	<b>92</b>

<b>2.5. Набор крупных операций микропроцессора для МВС ПА.....</b>	<b>95</b>
<b>2.6. Концепция и принципы организации многопроцессорных вычислительных систем с программируемой архитектурой .....</b>	<b>101</b>
<b>2.7. Организация математического обеспечения МВС с программируемой архитектурой .....</b>	<b>116</b>
2.7.1. Основы математического обеспечения современных многопроцессорных вычислительных систем с программируемой архитектурой .....	116
2.7.2. Организация машинных языков высокого уровня и технология программирования МВС с программируемой архитектурой .....	122
2.7.3. Организация параллельных вычислительных процессов в МВС с программируемой архитектурой .....	126
<b>2.8. Организация математического обеспечения МВС с процедурно-структурной организацией вычислений .....</b>	<b>132</b>
2.8.1. Использование МВС в качестве акселераторов вычислений для систем моделирования .....	132
2.8.2. Организация распределенной реализации структурных программ на многопроцессорном акселераторе вычислений .....	138
2.8.3. Организация распределенной реализации процедурных программ на многопроцессорном акселераторе вычислений .....	144
2.8.4. Организация параллельного программирования для многопроцессорного акселератора .....	150
<b>3. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОВС И СИНТЕЗ ОПЕРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ В ЗНАКОРАЗРЯДНЫХ СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ.....</b>	
<b>3.1. Сверхпараллельные сумматоры .....</b>	<b>156</b>
<b>3.2. Быстродействующие умножители .....</b>	<b>167</b>
<b>3.3. Высокоскоростные операционные устройства в знакоразрядных системах счисления.....</b>	<b>188</b>
3.3.1. Общие положения .....	188
3.3.2. Преобразование двоичных чисел в избыточную систему счисления.....	189
3.3.3. Обратное преобразование числа из избыточной двоичной знакоразрядной системы счисления в двоичную .....	196
3.3.4. Выполнение арифметических операций сложения в знакоразрядной избыточной двоичной системе счисления (ДИЗСС) 197	

3.3.5.	Выполнение арифметических операций умножения в знакоразрядной избыточной двоичной системе счисления (ДИЗСС)	204
<b>3.4.</b>	<b>Сумматор в ДИЗСС с плавающей точкой.....</b>	<b>215</b>
<b>3.5.</b>	<b>Организация полноразрядного умножения полей .....</b>	<b>223</b>
3.5.1.	Метод последовательного формирования частичных произведений.....	224
<b>3.6.</b>	<b>Параллельные системы .....</b>	<b>234</b>
3.6.1.	Выполнения операции суммирования .....	234
3.6.2.	Выполнение операции вычитания .....	236
3.6.3.	Выполнение операции умножения в коде "опережающий перенос" .....	237
<b>3.7.</b>	<b>Код в остатках.....</b>	<b>238</b>
3.7.1.	Представление чисел в коде в остатках .....	241
3.7.2.	Сложение, вычитание в коде в остатках .....	242
3.7.3.	Преобразование чисел в код в остатках и из кода в остатках в позиционную систему счисления .....	243
<b>4.</b>	<b>АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКО-ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ.....</b>	<b>245</b>
<b>4.1.</b>	<b>Этапы проектирования проблемно-ориентированных систем.....</b>	<b>245</b>
4.1.1.	Этап постановки задачи.....	245
4.1.2.	Этап формирования технического задания .....	245
4.1.3.	Этап выбора методов решения задачи .....	247
4.1.4.	Этап системного проектирования ПОВС .....	250
4.1.5.	Этап структурного проектирования ПОВС.....	250
4.1.6.	Этап схемотехнического проектирования .....	251
4.1.7.	Этап корректировки проекта.....	251
<b>4.2.</b>	<b>Цифровые сигналы и системы.....</b>	<b>253</b>
4.2.1.	Основные характеристики цифровых сигналов .....	253
4.2.2.	Примеры цифровых сигналов .....	258
4.2.3.	Квантование и дискретизация сигналов .....	260
4.2.4.	Z-преобразование .....	265
<b>4.3.</b>	<b>Дискретные линейные системы.....</b>	<b>269</b>
4.3.1.	Импульсная характеристика линейной системы.....	270
4.3.2.	Передаточная функция линейной системы .....	271

4.3.3.	Частотная характеристика линейной системы .....	271
4.3.4.	Дискретная свертка линейной системы.....	272
4.3.5.	Уравнение линейной системы .....	272
<b>4.4.</b>	<b>Проблемно-ориентированные вычислительные системы цифровой обработки сигналов на основе линейных фильтров .....</b>	<b>273</b>
4.4.1.	Основные положения .....	273
4.4.2.	Описание линейных фильтров.....	279
4.4.3.	Структуры линейных фильтров .....	284
4.4.4.	Расчет и реализация КИХ-фильтров .....	297
4.4.5.	Аналитический расчет и моделирование цифровых фильтров .....	300
4.4.6.	Программная реализация цифровых фильтров .....	306
4.4.7.	Аппаратная реализация цифровых фильтров.....	307
<b>4.5.</b>	<b>Проблемно-ориентированные вычислительные системы цифровой обработки сигналов для спектрального анализа .....</b>	<b>315</b>
4.5.1.	Основные положения .....	315
4.5.2.	Формы представления рядов Фурье .....	315
4.5.3.	Примеры разложения в ряд Фурье различных сигналов ....	318
4.5.4.	Фурье-преобразование последовательности треугольных импульсов .....	322
4.5.5.	Фурье-преобразование цифровых сигналов .....	323
4.5.6.	Дискретное преобразование Фурье с прореживанием по времени .....	326
4.5.7.	Дискретное преобразование Фурье с прореживанием по частоте .....	332
4.5.8.	Обратное дискретное преобразование Фурье цифровых сигналов .....	336
4.5.9.	Аналитический расчет и моделирование цифрового преобразования Фурье.....	339
4.5.10.	Программная реализация преобразования Фурье .....	341
4.5.11.	Аппаратная реализация преобразования Фурье .....	344
4.5.12.	Генерация блоков Фурье-преобразования с аппаратным решением на базе QuartusAltera .....	345
4.5.13.	Генерация аппаратного решения средствами QuartusII .....	349
<b>4.6.</b>	<b>Проблемно-ориентированные вычислительные системы цифровой обработки сигналов методами вейвлет-анализа .....</b>	<b>354</b>
4.6.1.	Основные положения .....	354
4.6.2.	Теоретические основы вейвлет-анализа .....	356

4.6.3. Программирование алгоритмов быстрого вейвлет-преобразования для процессоров цифровой обработки сигналов ... 366

## **5. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ И ОБРАЗЦЫ ПОВС НА ИХ ОСНОВЕ .....379**

**5.1. Микропроцессорный комплект больших интегральных схем с программируемой структурой..... 379**

5.1.1. Микропроцессоры с программируемой структурой и универсальным набором крупных операций ..... 389

5.1.2. Коммутационная система МВС с программируемой архитектурой ..... 396

5.1.3. Организация памяти в МВС с программируемой архитектурой ..... 399

**5.2. Первый комплект БИС для МВС с программируемой архитектурой..... 402**

5.2.1. Микросхема микропроцессора 1815 ВФЗ ..... 409

5.2.2. Микросхема матричного коммутатора КМ 1509 КП1 ..... 418

5.2.3. Большая интегральная микросхема ортогональной регистровой памяти К1517 ИР1 ..... 423

**5.3. Многопроцессорная вычислительная система с программируемой архитектурой ..... 430**

5.3.1. Технические параметры ПВК-460 ..... 433

5.3.2. Система программного обеспечения ..... 437

5.3.3. Эксплуатационные параметры ..... 437

**5.4. Второе поколение микросхем ЦОС мультипроцессорных систем цифровой обработки сигналов ..... 438**

5.4.1. Дальнейшее развитие первого комплекта БИС ..... 438

5.4.2. Структура микропроцессора 1582 ВЖЗ-0034..... 439

5.4.3. Ортогональная память (БИС ОРП 4.601 ВЖЗ – 0032)..... 455

5.4.4. Проектирование коммутаторов (БИС ЦМК К1029; 4.601 ВЖЗ-0106) ..... 459

**5.5. Малогабаритные проблемно-ориентированные комплексы МВС ПА ..... 467**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 469**

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ..... 470**

**СОДЕРЖАНИЕ ..... 478**

**ПРИЛОЖЕНИЯ ..... 484**

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	<b>484</b>
<b>А 1. Основной модуль</b> .....	<b>484</b>
<b>А 2. Модуль задержки</b> .....	<b>486</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b> .....	<b>487</b>
<b>Б 1. Модуль FFT.H</b> .....	<b>487</b>
<b>Б 2. Модуль FFT.C</b> .....	<b>488</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В</b> .....	<b>495</b>
<b>В 1. Модуль FFTbeh.VHD</b> .....	<b>495</b>
<b>В.2. Модуль FFTtst.VHD</b> .....	<b>511</b>
<b>В 3. Модуль SQ_GEN.VHD</b> .....	<b>513</b>
<b>В 4. МодульTO_POLAR.VHD</b> .....	<b>515</b>