



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

*В.Ф. Гузик, И.А. Каляев, И.И. Левин*

# **РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Учебное пособие**

Под общей редакцией И.А. Каляева

Ростов-на-Дону  
Издательство Южного федерального университета  
2016

УДК 004.38  
ББК 32.973  
Г 938

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Южного федерального университета (протокол № 4 от 05 мая 2016 г.)*

Рекомендовано Ученым советом Южного федерального университета для использования в учебном процессе

**Рецензенты:**

член-корреспондент РАН, заместитель директора НИВЦ МГУ

**Воеводин В.В.;**

член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой МФТИ

**Петров И.Б.**

**Гузик, В.Ф.**

**Г 938**

Реконфигурируемые вычислительные системы : учебное пособие / Гузик В.Ф., Каляев И.А., Левин И.И. / под общей редакцией И.А. Каляева. Южный федеральный университет. – Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2016. – 472 с.

ISBN 978-5-9275-1918-7

Книга посвящена перспективному направлению развития суперкомпьютерных технологий – реконфигурируемым вычислительным системам. Основная идея данного подхода заключается в предоставлении пользователю возможности настройки (конфигурации) архитектуры суперкомпьютера под структуру решаемой им задачи. При этом в качестве вычислительного устройства суперкомпьютера используются не стандартные микропроцессоры, а множество соединенных между собой программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) высокой степени интеграции, образующих единое вычислительное поле, в рамках которого пользователь может создавать проблемно-ориентированные вычислительные структуры, адекватные графу-алгоритму решаемой задачи. Данный подход обеспечивает возможность достижения высокой реальной производительности вычислительной системы, близкой к пиковой, а также ее линейный рост при наращивании аппаратного ресурса вычислительного поля ПЛИС, за счет адаптации архитектуры вычислителя к структуре решаемой прикладной задачи. В книге системно излагаются история развития, теоретические и практические основы организации, функционирования, создания и программирования таких реконфигурируемых вычислительных систем.

Книга предназначена для студентов, аспирантов и инженеров, специализирующихся в области проектирования высокопроизводительных вычислительных систем и их применения для решения вычислительно трудоемких прикладных задач.

ISBN 978-5-9275-1918-7

УДК 004.38  
ББК 32.973

© Южный федеральный университет, 2016

© Гузик В.Ф., Каляев И.А., Левин И.И., 2016

# Оглавление

Предисловие.....	10
Введение.....	12
<b>Глава 1. История, современное состояние и тенденции развития суперкомпьютерных технологий.....</b>	<b>17</b>
1.1. Зачем нужны суперкомпьютеры.....	17
1.2. История развития суперкомпьютеров.....	20
1.2.1. История развития суперкомпьютеров за рубежом.....	20
1.2.2. История развития отечественных суперкомпьютеров.....	28
1.3. Архитектуры суперкомпьютеров.....	33
1.4. Тенденции развития суперкомпьютерных технологий.....	45
1.5. Принципы организации реконфигурируемых вычислительных систем.....	61
<b>Глава 2. Этапы развития вычислительных систем с реконфигурируемой архитектурой.....</b>	<b>66</b>
2.1. Аналоговые вычислительные машины.....	66
2.2. Цифровые интегрирующие машины.....	81
2.3. Однородные вычислительные среды.....	100
2.4. Многопроцессорные вычислительные системы с программируемой архитектурой.....	121
<b>Глава 3. ПЛИС – элементная база реконфигурируемых вычислительных систем.....</b>	<b>145</b>
3.1. Принципы организации РВС на основе вычислительных полей ПЛИС.....	145
3.2. Архитектура и характеристики современных ПЛИС.....	151
3.2.1. Программируемые логические интегральные схемы фирмы XILINX.....	153
3.2.1.1. Семейство ПЛИС Virtex-6.....	156
3.2.1.2. Семейство ПЛИС Virtex-7.....	165
3.2.1.3. Семейство ПЛИС UltraScale.....	169
3.2.2. Программируемые логические интегральные схемы фирмы Altera.....	177
3.2.2.1. Семейство Arria 10.....	177
3.2.2.2. Семейство Stratix 10.....	183
3.2.3. Программируемые логические интегральные схемы фирмы Achronix.....	184
3.3. Технологии программирования ПЛИС.....	189
3.3.1. Программирование ПЛИС на языках HDL-группы.....	190
3.3.2. Схемотехническое программирование ПЛИС в редакторе схем.....	195
3.3.2.1. Программирование ПЛИС в редакторе ISE Foundation.....	195

3.3.2.2. Программирование ПЛИС в редакторе <i>Quartos II</i> .....	198
3.3.3. Программирование ПЛИС по технологии Mitrimon.....	201
3.3.4. Программирование ПЛИС по технологии CatarpultC.....	204
3.3.5. Программирование ПЛИС с использованием C/C++ подобных языков.....	206
<b>Глава 4. Реконфигурируемые вычислительные системы на основе ПЛИС.....</b>	<b>209</b>
4.1. Применение ПЛИС в современных вычислительных системах.....	209
4.2. Реконфигурируемые вычислительные системы с макропроцессорной архитектурой (первое поколение).....	225
4.2.1. Организация РВС с макропроцессорной архитектурой.....	226
4.2.2. Реализация РВС с макропроцессорной архитектурой.....	236
4.3. Реконфигурируемые вычислительные системы с макрообъектной архитектурой (второе поколение).....	243
4.3.1. Примеры реализации РВС с макрообъектной архитектурой.....	248
4.3.1.1. РВС «Медведь».....	248
4.3.2. РВС «Мангуст».....	253
4.3.3. РВС «ТОР».....	255
4.4. РВС семейства «Большая Медведица» ( третье поколение).....	256
4.4.1. Базовые модули РВС семейства «Большая Медведица»	257
4.4.2. Вычислительные блоки и рабочие станции.....	262
4.4.3. Реконфигурируемые вычислительные системы семейства «Большая медведица».....	263
4.4.4. Реконфигурируемые ускорители персонального компьютера.....	269
4.5. РВС с высокой плотностью компоновки элементов (четвертое поколение).....	270
4.5.1. РВС «Орион».....	273
4.5.2. РВС «Ригель».....	278
4.5.3. РВС «Тайгета».....	282
4.5.4. РВС-7 «Плеяда».....	285
4.6. РВС с погружной системой охлаждения (пятое поколение).....	294
4.6.1. Принципы работы погружной системы охлаждения.....	294
4.6.2. Модульная реализация РВС с системой жидкостного охлаждения открытого типа.....	299
4.6.3. Конструкция реконфигурируемого вычислительного блока с погружной системой охлаждения.....	301
4.6.4. Подсистема электропитания РВБ.....	304

4.6.5. Конструкция базового модуля РВБ.....	306
4.6.6. Конструкция РВС «Скат» с погружной системой охлаждения.....	312
4.7. Персональный реконфигурируемый компьютер.....	314
<b>Глава 5. Программное обеспечение реконфигурируемых вычислительных систем.....</b>	<b>318</b>
5.1. Средства программирования РВС.....	318
5.2. Комплекс системного программирования РВС.....	323
5.2.1. Структура комплекса.....	323
5.2.2. Программирование РВС на уровне логических ячеек ПЛИС.....	325
5.2.3. Программирование РВС на уровне софт-архитектур и макрообъектов.....	327
5.3. Язык программирования COLAMO.....	334
5.3.1. Принципы организации вычислений на языке программирования высокого уровня с неявным описанием параллелизма.....	334
5.3.2. Организация доступа к памяти.....	338
5.3.3. Сцепление переменных.....	341
5.3.4. Параллельная и конвейерная обработка данных.....	345
5.3.5. Особенности использования условных операторов.....	357
5.3.6. Особенности использования операторов цикла.....	369
5.3.7. Особенности использования вычислительных структур.....	376
5.4. Интегральная среда программирования Argus.....	380
5.5. Транслятор языка COLAMO.....	395
5.6. Синтезатор конфигураций многокристальных схмотехнических решений Fire!Constructor.....	405
5.6.1. Принципы организации и функционирования синтезатора Fire!Constructor.....	405
5.6.2. Графический редактора синтезатора Fire!Constructor.....	416
5.6.3. Создание проекта структурной программы.....	420
5.6.4. Ввод граф-схем структурных программ.....	422
5.6.5. Создание компонентов.....	427
5.6.6. Инструменты навигации в граф-схеме.....	428
5.6.7. Описание структуры РВС и паспорта вычислительного модуля.....	431
5.6.8. Генерация конфигурационных файлов.....	437
5.6.9. Визуализация результатов работы синтезатора Fire!Constructor.....	444
5.7. Синтезатор конфигураций многокадровых прикладных программ Steam!Constructor.....	448
Заключение.....	459
Библиографический список.....	461

## Библиографический список

1. <http://www.top500.org>
2. *Аладышев О.С. и др.* СуперЭВМ: области применения и требования производительности // Известия вузов. Электроника. – 2004. – № 1. – С. 13-17.
3. *Kalyaev A.V., Kalyaev I.A., Levin I.I.* The Base Module of Multiprocessor System with Structural-Procedural Organization of Computing // Parallel Computing Technologies. 4-th Inter. Conf. PaCT-97. Yaroslavl, Russia. September, 1997, pp. 394-396.
4. *Kalyaev A.V., Kalyaev I.A.* STORC-Computer – a Multiprocessor Computer System with Structure Organized Calculation // Engineering Simulation Association. Vol. 10. Amsterdam, Netherland. Gordon and Breach Science Publishers, 1997. – P. 505-520.
5. *Каляев А.В.* Теория цифровых интегрирующих машин и структур. – М.: Изд-во «Советское радио», 1970. – 471 с.
6. *Евреинов Э.В., Хорошевский В.Г.* Однородные вычислительные системы. – Новосибирск: Наука, 1978.
7. *Евреинов Э.В.* Однородные вычислительные системы, структуры и среды. – М.: Радио и связь, 1981. – 208 с.
8. *Каляев А.В.* Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
9. *Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И.* Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры. – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. И.А. Каляева. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
10. *Дордопуло А.И., Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А.* Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы нового поколения // В сб. «Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее». Труды международной суперкомпьютерной конференции. – М., 2011. – С. 42-49.
11. <http://parallel.ru/fpga/supercomputers.html>.
12. <http://www.copacobana.org/>.
13. *Vestiasu M., Neto H.* Trends of CPU, GPU and FPGA for High-Performance Computing. – [http://lis.ei.tum.de/fpe2014/papers/w1a\\_02.pdf](http://lis.ei.tum.de/fpe2014/papers/w1a_02.pdf).
14. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 519 с.
15. *Лебедев С.А., Дашевский Л.Н., Шкабора Е.А.* Малая электронная счетная машина. – М.: АН СССР, 1952.
16. *Лебедев С.А.* К 100-летию со дня рождения основоположника отечественной электронной вычислительной техники. – М.: Физматлит, 2002.
17. *Малиновский Б.Н.* История вычислительной техники в лицах. – Киев: Изд-во «КИТ», 1995.
18. *Бурцев В.С.* Принципы построения многопроцессорных вычислительных комплексов «Эльбрус». – Препринт № 1. – М.: ИТМиВТ, АН СССР, 1977.
19. *Трапезников В.А., Прангизвили И.В., Новохатний А.А., Резанов В.В.* Экспедиционные геофизические комплексы на базе многопроцессорной ЭВМ ПС-2000 // Приборы и системы управления. – 1981. – № 2. – С. 29-31.

20. *Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А.* Многопроцессорная вычислительная система ПС-2000 (история создания) // В кн.: Ивери Варламович Прангишвили: более полувека в науке управления. – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 52-58.
21. <http://www.parallel.ru>. Суперкомпьютер МВС 1000М.
22. *Абрамов С.М., Заднепровский В.Ф., Московский А.А.* Отечественные суперЭВМ и ГРИД-системы. Проблемы развития научной киберинфраструктуры в России // В сб. «Российский суперкомпьютеры: Наука. Технология. Производство». – Библиотека ЦСПП. – Вып. 2. – С. 36-54.
23. <http://www.parallel.ru>. Суперкомпьютер «Ломоносов».
24. *Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.* Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
25. *Джон Т.* Архитектуры вычислительных систем // Электроника, 1989. – № 2. – С. 11-20.
26. *Хуан К.* Перспективные методы параллельной обработки и архитектура суперЭВМ // ТИИЭР, 1987. – № 10. – С. 4-41.
27. <http://clusters.top500.org>
28. *Савин Г.И., Телегин П.Н., Шабанов Б.М.* Кластеры Беовульф // Известия вузов. Электроника. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – № 1. – С. 7-12.
29. *Валиев К.А., Кокин А.А.* Квантовые компьютеры. Надежды и реальность. – М.: Изд-во «НИЦ регулярная и хаотическая динамика», 2004.
30. *Кокин А.А.* Твердотельные квантовые компьютеры на ядерных спинах. – М.: Изд-во «Институт компьютерных исследований», 2004. – 206 с.
31. *Рамбиди Н.Г.* Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. – М.: Физматлит, 2007. – 256 с.
32. *Минкин В.И.* Молекулярные компьютеры // Химия и жизнь. – 2004. – № 2. – С. 13-17.
33. *Рассел Дж.* Оптический компьютер. – Bookvike Publishing, 2012. – 62 с.
34. *Feitelson Dror G.* Optical Computing: A Survive of Computer Scientists. – Cambridge, MA ^ MIT Press, 2008.
35. Программирование на параллельных вычислительных системах / под ред. Р. Бэба. – М., 1991. – 376 с.
36. *Гузик В.Ф.* Модульные интегрирующие вычислительные структуры. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
37. *Анисимов Б.В., Голубкин В.Н.* Аналоговые и вычислительные машины. – М.: Высшая школа, 1971.
38. *Витенберг И.М.* Программирование аналоговых вычислительных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 408 с.
39. *Анисимов Б.В., Голубкин В.Н., Петраков С.В.* Аналоговые и гибридные ЭВМ. – М.: Высшая школа, 1986. – 288 с.
40. *Анисимов В.И., Капитонов М.В., Прокопенко Н.Н., Соколов Ю.М.* Операционные усилители с непосредственной связью каскадов. – Л.: Энергия, 1979. – 151 с.
41. *Волович Г.И.* Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств ДМК ПРЕСС, 2015, Схемотехника. – 978-5-97060-257-7. – 3-е изд., стер. – 310 с.

42. *Аветисов Г.Ш., Гузик В.Ф., Зарецкий Я.Д.* Исследование аналогового вычислительного устройства, моделирующего логическую функцию. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1996. – 16 с.
43. *Аветисов Г.Ш. и др.* Руководство к лабораторным работам по курсу «Аналоговые вычислительные машины». – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1979. – 37 с.
44. *Аветисов Г.Ш., Гузик В.Ф., Каляев И.А. и др.* Руководство к лабораторным работам по курсу «Аналоговые и гибридные вычислительные машины». – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1992. – 42 с.
45. *Волович Г.И.* Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Додека – XXI, 2011. – 528 с.
46. *Каляев А.В.* Введение в теорию цифровых интеграторов. – Киев: Наукова думка, 1964. – 291 с.
47. *Алексенко А.Г., Каляев А.В., Луциенко В.И., Макаревич О.Б.* Перестраиваемые цифровые структуры на основе интегрирующих процессов. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
48. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963.
49. *Гузик В.Ф., Донианц В.Н., Каляев А.В., Лазарев В.Г.* Перестраиваемые однородные цифровые интегрирующие структуры. – Киев: Наукова думка, 1976. – 128 с.
50. *Гузик В.Ф.* Проектирование проблемно-ориентированных вычислительных систем: монография. Ч. 1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 463 с.
51. *Каляев А.В., Гузик В.Ф., Сулин Г.А., Глухов О.Д.* Индикатор равенства потоков приращений для цифровых дифференциальных анализаторов. Свид. №206889. БИПОТ31, 1967.
52. *Евреинев Э.В., Косарев Ю.Г.* Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. – Новосибирск: Наука, 1966. – 308 с.
53. *Евреинев Э.В., Прангишвили И.В.* Цифровые автоматы с настраиваемой структурой. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
54. *Кузьо М.М., Русин Б.П., Шмойлов В.И.* Одноразрядная середовища – элементна база високопродуктивних обчислювальних систем // Управляющие системы и машины. – Киев, 2000. – № 4. – С. 52-62.
55. *Русин Б.П., Кузьо М.Н., Шмойлов В.И.* Реконфигурируемые высокопроизводительные системы на однородных средах // Автоматика и вычислительная техника. – Рига, 2000. – № 3. – С. 72-81.
56. *Богачёв М.П.* Архитектура вычислительной системы с однородной структурой // В кн.: Однородные вычислительные среды. – Львов: ФМИ АН УССР, 1981. – С. 15-21.
57. *Седов В.С.* Матрица одноразрядных процессоров. – Львов: НТЦ «Интеграл», 1991. – 48 с.
58. *Бондарев А.Н., Елисеев В.Р., Самчинский А.А., Шмойлов В.И.* Библиотека микропрограммных модулей арифметических операций для комплексных чисел. – Львов: НТЦ «Интеграл», 1991. – 107 с.
59. *Бонковский А.Г., Карна Н.М., Маланина Т.М., Шимкив А.П., Шмойлов В.И.* Библиотека микропрограммных модулей арифметических и логических операций для чисел с фиксированной запятой. Ч. 1. – Львов: НТЦ «Интеграл», 1990. – 133 с.



60. *Василькевич А.В., Дмитриев А.Г., Лехив Б.И., Шмойлов В.И.* Библиотека микропрограммных модулей для реализации задач обработки изображений на ОВС. – Львов: НТЦ «Интеграл», 1991. – 225 с.
61. *Литвинюк А.А., Погрибная И.М., Рожанковский И.В., Савчин О.М. и др.* Алгоритмы, структуры и библиотека микропрограммных модулей цифровых фильтров с дельта-модуляцией на ОВС. – Львов: НТЦ «Интеграл», 1991. – 108 с.
62. *Майоров С.А., Новиков Г.И.* Структура цифровых вычислительных машин. – Л.: Машиностроение, 1970. – 480 с.
63. *Коллатц Л.* Функциональный анализ и вычислительная математика. – М.: Мир, 1963. – 447 с.
64. *Поспелов Д.А.* Арифметические основы ЦВМ. – М.: Высшая школа, 1976.
65. *Каляев А.В., Леин И.И.* Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. – М.: Янус-К, 2003. – 380 с.
66. *Коуги П.М.* Архитектура конвейерных ЭВМ: пер. с англ. Ф.В. Широкова / под ред. Б.А. Головкина. – М.: Радио и связь, 1985. – 357 с.
67. *Краснов С.А.* Транспьютеры, транспьютерные вычислительные системы и Оккам // Вычислительные процессы и системы. – М.: Наука, 1983. – С. 5-80.
68. *Каляев А.В., Станишевский О.Б.* Принципы построения программно-аппаратных средств супермакрокомпьютеров // Информатика. – 1990. – № 2. – С. 13-21.
69. *Бибило П.Н.* Основы языка VHDL [Текст]: монография. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 328 с.
70. *Botros Nazeih.* HDL. Основы программирования VHDL И Verilog" [Текст]: монография. – Изд-во: Da Vinci инженерно Пресс, 2006. – 506 с.
71. *Антонов А.П.* Язык описания цифровых устройств AlteraHDL [Текст]: практический курс: учебное пособие. – М.: РадиоСофт, 2001. – 223 с.
72. [http:// www.altera.com](http://www.altera.com) (дата обращения 25.01.2016).
73. *Рубанов В.В.* Обзор методов описания встраиваемой аппаратуры и построения инструментария кросс-разработки. [Электронный ресурс]. – <http://citforum.ru/programming/embedded/languages/2.shtml>.
74. *Kalyaev A.V.* The Programming of Virtual Problem-Oriented Parallel Supercomputers in the Structure of Universal Supercomputers with Massive Parallelism. // High-Performance Computing. San Diego, California, USA, 1999. –Pp. 249-255.
75. *Фути К.М.* Языки программирования и схемотехника СБИС. – М.: Мир, 1988. – 224 с.
76. *Мишель Ж.* Программируемые контроллеры: архитектура и применение. – М.: Машиностроение, 1986.
77. *Симонов Б., Малашевич Б.* Базовые матричные кристаллы. [Электронный ресурс]. – <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200006/18.html>.
78. *Рассел Д.* Программируемая пользователем вентиляционная матрица. – М.: Изд-во VSD, 2013. – 199 с.
79. *Вычужанин В.* Состояние рынка и расширение сферы применения ПЛИС // Компоненты и технологии. – 2004. – № 5.
80. [http:// www.xilinx.com](http://www.xilinx.com).
81. <http://www.cray.com/products/xt5/>.

82. Кузьминский М. Векторно-параллельные суперкомпьютеры NEC // Открытые системы. – 1999. – № 03.
83. Тарасов И. Обзор архитектуры ПЛИС семейства Virtex-5 // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9.
84. Тарасов И. Анализ характеристик FPGA Xilinx семейств Virtex-6 и Spartan-6. – 2009. – №12.
85. Virtex-6 Family Overview // [http://www.xilinx.com/support/documentation/data\\_sheets/ds150.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds150.pdf).
86. Virtex-6 FPGA Configurable Logic Block User Guide, ver 2.2, UG364 (v1.2) February 3, 2012.
87. Volnei A. Pedroni Digital Electronics and Design with VHDL / 2008. – 720 с.; ISBN: 978-0-12-374270-4.
88. Зотов В.Ю. Особенности архитектуры нового поколения высокопроизводительных ПЛИС FPGA фирмы Xilinx серии Virtex-6 // Компоненты и технологии. – 2009. – № 8.
89. Зотов В.Ю. Особенности архитектуры нового поколения ПЛИС с архитектурой FPGA фирмы Xilinx // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12.
90. Virtex-6 FPGA Embedded Tri-Mode Ethernet MAC User Guide. Xilinx, 2009.
91. Самофал А. Обзор архитектуры ПЛИС UltraScale // Технологии, ноябрь 2014. <http://trial-news.ru/tehnologii/obzor-arhitektury-plis-ultrascale>.
92. <https://forums.xilinx.com/t5/Xcell-Daily-Blog/The-UltraScale-DSP48E2-More-DSP-in-every-slice/ba-p/394807>
93. Тарасов И. ПЛИС Xilinx семества UltraScale+ и перспективы их применения // Компоненты и технологии. – 2015. – №4.
94. Altera. Arria 10 Core Fabric and General Purpose I/Os Handbook. [https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en\\_US/pdfs/literature/hb/arria-10/a10\\_handbook.pdf](https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/hb/arria-10/a10_handbook.pdf)
95. <http://altera-plis.ru/sbis-pl-arria-V.html>
96. Основные особенности нового семейства высокопроизводительных СБИС ПЛИ Stratix-10 / <http://altera-plis.ru/news/Osnovnie-osobennosti-novogo-semejstva-visokoproizvoditelnih-SBIS-PL-Stratix-10.html>.
97. Семейство Speedster22i® HD, техническое описание. [http://www.achronix.com/wp-content/uploads/docs/Speedster22iHD\\_FPGA\\_Family\\_DS004.pdf](http://www.achronix.com/wp-content/uploads/docs/Speedster22iHD_FPGA_Family_DS004.pdf).
98. Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств / под ред. Н.Я. Матюхина. – М.: Наука, 1968.
99. Абасов Н.В., Каверзина А.В., Чернышов М.Ю. и др. Язык LMPL как средство синтеза прикладных программных моделей и метамodelей на основе принципов математического программирования // Вестник ИргТУ. – 2013. – № 3. – С. 75–80.
100. Fourer R., Gay D.M., Kernighan B.W. AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming. New York: Thomson, Brooks and Cole, 2002. – 517 p.
101. MPL Modeling System, Maximal Software // URL: <http://www.maximal-usa.com> Levin J.A. Dialogue-games: Meta-communication structures for natural language interaction.

102. *Weilkiens T.* Systems Engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design. – Morgan Kaufmann / The OMG Press, 2008.
103. *Авдеев В.А.* Компьютерное моделирование цифровых устройств. – М.: ДМК-пресс, 2012. – 360 с.
104. *Марков А.А.* Моделирование информационно-вычислительных процессов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
105. *Киндлер Е.* Языки моделирования. – М.: Энергия, 1985.
106. Система Моделирования, Построения и анализа тестов для цифровых устройств и БИС (СИМПАТИЯ). – М.: НПО «Алмаз», 1990.
107. *Де Сантис П.* Язык Ада [Текст]: монография / Пабло де Сантис. – М.: Изд-во АСТ, 2005.
108. *Суворова Е.А., Шейнин Ю.Е.* Проектирование цифровых систем на VHDL [Текст]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 576 с.
109. <http://support.aldec.com/SupportArchive/PDFs/000786 Active-HDL8.2sp1-Software Manual.pdf>.
110. <https://www.mentor.com/>.
111. <http://www.cadence.com/en/default.aspx>.
112. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/130848-libero-ide-v9-1-user-s-guide](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/130848-libero-ide-v9-1-user-s-guide).
113. Quartus II Handbook Version 10.1 Volume 1: Design and Synthesis. Altera Corporation 2010.
114. <http://www.mitrionics.com>.
115. Система САТАPULT С SYNTESIS. С++ – FPGA [Текст] / А. Лохов, И. Селиванов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес «Системы проектирования». – Выпуск № 5/2005.
116. <http://systemc.dax.ru/book/1.html>.
117. <http://www.sai.msu.su/sal/Z/1/CYNLIB.html>.
118. <http://www.impulsec.com/>.
119. <http://www.pa.msu.edu/hep/d0/l2/Handel-C/Handel%20C.PDF>.
120. *Хоар Ч.* Взаимодействующие последовательные процессы. – М.: Мир, 1989. – 265 с.
121. <http://www.ni.com/compactrio/>.
122. <http://parallel.ru/computers/reviews/CrayXT4.html>.
123. <https://parallel.ru/fpga/rasc.html>.
124. <http://www.StarBridgeSystems.com>.
125. <http://www.Dinigroup.com>.
126. <http://fpga.parallel.ru/maxwell.html>.
127. <http://www.nallatech.com>.
128. <http://www.alpha-data.com>.
129. <http://www.celoxica.com>.
130. <http://www.mitrionics.com>.
131. VIVA User's Guide, Version 2.2.
132. [http://supercomputer.susu.ru/computers/skif\\_avrora/](http://supercomputer.susu.ru/computers/skif_avrora/).
133. *Левин И.И., Каляев И.А., Семерников Е.А.* Реконфигурируемые вычислительные системы // Гироскопия и навигация. – М.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – ISSN 0869-7035 (спецвыпуск). – № 5. – С.13-26.

134. <http://xputer.de>.
135. <http://www.mathstar.com>.
136. <http://www.sciengines.com>.
137. <http://news.ufl.edu/archive/2011/02/uf-leads-world-in-reconfigurable-supercomputing.html>.
138. *Ast A., Becker J., Hartenstein R.W., Kress R., Reinig H.K.* Data-procedural Languages for FPL-based Machines Schmidt Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern Postfach 3049, D-67653 Kaiserslautern, Germany.
139. <http://www.rosta.ru>.
140. <http://www.rdi-kvant.ru>.
141. *Елизаров Г.С., Горбунов В.С., Титов А.Г.* Аппаратно-программная платформа моделирующей гетерогенной ВС (МГВС), 2013.
142. *Каляев А.В., Каляев И.А., Левин И.И., Пономарев И.М.* Базовый модуль для построения реконфигурируемых под задачу вычислительных систем // Известия вузов "Электроника". – 1998. – № 4. – С. 67-74.
143. *Левин И.И.* Отображение структурно-процедурной формы задачи на архитектуру многопроцессорной системы // Материалы Международной научно-технической конференции "СуперЭВМ и многопроцессорные вычислительные системы". – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – С. 95-98.
144. *Каляев А.В., Каляев И.А., Левин И.И.* Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы с программируемой архитектурой и структурно-процедурной организацией вычислений // Сборник докладов конференции "С.А. Лебедев и развитие отечественной вычислительной техники". – М., 2002. – С. 112-116.
145. *Каляев И.А., Левин И.И.* Многопроцессорные вычислительные системы (суперкомпьютеры): состояние и перспективы // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2004. – № 5. – С. 25-44.
146. *Левин И.И.* Многопроцессорная система с программированием архитектуры на нескольких уровнях // Труды Первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003. – С. 111-118.
147. *Левин И.И.* Принципы построения многопроцессорных структур с макрообъектной архитектурой // Искусственный интеллект. – Донецк: Наука і освіта, 2005. – Т. 4. – С. 22-26.
148. *Каляев И.А., Левин И.И.* Модульно-наращиваемые многопроцессорные вычислительные системы с программируемой архитектурой на основе ПЛИС // Труды Второй Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». – М.: МГУ, 2005. – С. 40-46.
149. *Каляев И.А., Левин И.И., Беседин И.В., Дмитренко Н.Н., Семерников Е.А.* Семейство базовых модулей для построения реконфигурируемых многопроцессорных вычислительных систем со структурно-процедурной организацией вычислений // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет: технологии параллельного программирования». – М.: Изд-во МГУ, 2006. – С. 47-49.

150. Дордопуло А.И., Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А. Семейство многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой // Материалы Четвертой Международной научной молодежной школы «Высокопроизводительные вычислительные системы». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – С. 68-74.
151. Каляев И.А., Левин И.И. Высокопроизводительные модульно-наращиваемые многопроцессорные системы на основе реконфигурируемой элементной базы // Вычислительные методы и программирование. – М., 2007. – Т. 8, № 1. – С. 181-190.
152. Каляев И.А., Левин И.И. Семейство многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой // Труды Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008)». – СПб., 2008. – С. 118-123.
153. Каляев И.А., Левин И.И. Семейство многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой // Вычислительные методы и программирование. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – С. 14-27.
154. Левин И.И. Семейство высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем // Вестник Томского государственного университета «Управление, вычислительная техника и информатика». – Томск: Изд-во ТГУ, 2008. – № 2 (3). – С. 77-93.
155. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А. Принципы построения многопроцессорных вычислительных систем на основе ПЛИС // Вестник Бурятского государственного университета. Серия 9: математика и информатика. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятск. гос. ун-та, 2008. – С. 184-196. – ISBN 1994-0866.
156. Дмитренко Н.Н., Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А. Семейство многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Изд-во Машиностроение, 2009. – Ч. 1. – №6. – С. 2-8. – Ч. 2. – № 7. – С. 2-10.
157. Каляев И.А., Левин И.И., Дордопуло А.И., Семерников Е.А. Высокопроизводительная реконфигурируемая вычислительная система PBC-7 на основе ПЛИС VIRTEX-7 // Труды Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2013)». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 449-455. – ISBN 978-5-696-04396-8 (Челябинск, 1-5 апреля 2013 г.). – С. 449-455.
158. Каляев И.А., Левин И.И., Дордопуло А.И., Семерников Е.А. Вычислительные системы с реконфигурируемой архитектурой на основе ПЛИС VIRTEX-6 и VIRTEX-7 // Вестник ЮНЦ РАН (Юбилейный выпуск). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. – Т.9. – С. 107-114.
159. <http://www.ibm.com>.
160. Левин И.И., Дордопуло А.И., Гудков В.А., Гуленок А.А. Ресурснезависимое программирование вычислительных систем гибридного типа // Materiały XI Międzynarodowej Naukowi-praktycznej Konferencji «Aktualne Problemy nowoczesnych nauk – 2015» 07-15 czerwca 2015 roku Volume 13, Matematyka Fizyka Przemysł Nauka i studia, 2015. – P. 23-26.

161. Левин И.И., Дордопуло А.И., Каляев И.А., Доронченко Ю.И., Раскладкин М.К. Современные и перспективные высокопроизводительные вычислительные системы с реконфигурируемой архитектурой // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Вычислительная математика и информатика. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Т. 4. – № 3.
162. Ilya Levin, Alexey Dordopulo, Vasily Kovalenko, Viacheslav Gudkov, Andrey Gulenok. Programming tools for reconfigurable computer systems based on Virtex-7 FPGAs with using soft-architectures // 13th International Conference on Parallel Computing Technologies (PaCT-2015), Petrozavodsk, Russia, August 31-September 4, 2015. – С. 349-362.
163. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. – М.: Изд-во «Додэка XXI», 2007.
164. VIVA User's Guide, Version 2.2 = 4.11.
165. An Overview and Benchmark Study of the Starbridge Reconfigurable Computing Platform. David Tamjidi, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SAN DIEGO, 2005.
166. Porting EDIF Netlists to the Viva Environment for Integrated Custom Computing Applications. Sreesa Akella. MAPLD-2003: Military Applications of Programmable Logic Devices.
167. XtremeDSP Development Kit Pro User Guide. [http://www.xilinx.com/support/documentation/boards\\_and\\_kits/xtremedsp\\_dev\\_kit\\_user\\_guide.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/boards_and_kits/xtremedsp_dev_kit_user_guide.pdf)
168. Гузик В.Ф., Левин И.И., Сафронов О.О. Язык программирования высокого уровня для многопроцессорной системы с программируемой архитектурой // Сборник «Распределенная обработка информации». – Новосибирск, 1991. – С. 13.
169. Гузик В.Ф., Левин И.И., Сафронов О.О. Представление параллелизма в программах для многопроцессорной системы с программируемой архитектурой // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки, 1996. – С. 14-21.
170. Гуленок А.А. Синтезатор для формирования разбиения информационных графов прикладных задач для многоплатных реконфигурируемых вычислительных систем // Материалы Международной научно-технической конференции «Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы» (МВУС-2009). – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2009. – Т. 1. – С. 154-157.
171. Слостен Л.М. Синтез конфигураций многокадровых параллельно-конвейерных структур // Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции «Суперкомпьютерные технологии СКТ-2012». – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 181-187.
172. Каляев И.А., Левин И.И., Коваленко В.Б., Слостен Л.М. Описание софт-архитектур реконфигурируемых вычислительных систем с использованием языка SADL: учебное пособие для вузов. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – 98 с.
173. Левин И.И., Дордопуло А.И. Программирование перспективных вычислительных систем с реконфигурируемой архитектурой на языке COLAMO // Материалы XI Международной научной и практической конференции «Современная европейская наука (Modern european science –2015)», 30 июня-7 июля 2015, Шеффилд, Англия. – С. 3-9. – ISBN 978-966-8736-05-6.
174. Левин И.И., Дордопуло А.И., Гуленок А.А., Бовкун А.В. Средства трансляции параллельных программ на уровень логических ячеек ПЛИС для многокристальных реконфигурируемых вычислительных систем // Труды Первого Международного симпозиума «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика». – Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2012. – С. 97-107.

175. *Левин И.И., Дордопуло А.И., Гудков В.А., Гуленок А.А., Коваленко В.Б.* Программирование реконфигурируемых вычислительных систем с помощью софт-архитектур // Материали за 11-а Международна научна практична конференция, «Найновите постижения на европейската наука». 2015. Т. 12. Съвременни технологии на информации. Математика. Физика. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД. – С. 10-15. – ISBN 978-966-8736-05-6.
176. *Левин И.И., Гузик В.Ф., Сафронов О.О.* Язык программирования высокого уровня для многопроцессорной системы с программируемой архитектурой [Текст]: сборник трудов “Распределенная обработка информации”. – Новосибирск, 1991.
177. *Левин И.И.* Ресурснезависимое параллельное программирование [Текст] // Искусственный интеллект. – Донецк: Наука і освіта, 2002. – №3. – С. 277-285.
178. *Левин И.И., Дордопуло А.И., Гудков В.А.* Семантические особенности описания переменных на языке программирования COLAMO [Текст] // Труды Третьей Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение. SSA’2010». Республика Беларусь. – Минск, 2010. – С. 176-179.
179. Power-aware RAM Mapping for FPGA Embedded Memory Blocks. <http://www.ecs.umass.edu/ece/tessier/fpga06-rampower.pdf>.
180. Описание языка структурно-процедурного программирования ARGUS. <http://superevm.ru/uploads/Описание%20языка%20Argus.doc>.
181. *Левин И.И., Дордопуло А.И., Гудков В.А.* Программирование реконфигурируемых вычислительных узлов на языке COLAMO: учебное пособие для вузов. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 112 с.
182. *Стерлинг Л., Шапиро Э.* Искусство программирования на языке Пролог [Текст]: монография. – М.: Мир, 1990. – 235 с.
183. *Зубчук В.И. Сигорский В.П., Шкурко А.Н.* Справочник по цифровой схемотехнике. – Киев: Техника, 1990. – 448 с.
184. *Гудков В.А.* Методы трансляции операторов условного перехода на языке COLAMO в структурную составляющую [Текст] // Материали Международной научно-технической конференции «Суперкомпьютерные технологии: разработка, программирование, применение (СКТ-2010)». – Т. 1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 202-206.
185. *Гудков В.А.* Реализация операторов условного перехода в структурной составляющей параллельной программы на языке COLAMO [Текст] // Материали Седьмой Международной научной молодежной школы «Высокопроизводительные вычислительные системы». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 196-201.
186. *Ватутин Э.И., Зотов И.В., Титов В.С. [и др.]*. Комбинаторно-логические задачи синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления при проектировании логических мультиконтроллеров. – Курск: Изд-во КурскГТУ, 2010. – 200 с.
187. *Котляров Д.В., Кутенов В.П., Осипов М.А.* Граф-схемное потоковое параллельное программирование и его реализация на кластерных системах [Текст]. – М: Изд-во РАН, Теория и системы управления, 2005. – № 1.

88. *Гудков В.А., Стоянов С.В.* Библиотека элементов программного комплекса средств разработки прикладных программ реконфигурируемых вычислительных систем [Текст] // *Материалы Международной научно-технической конференции «Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы» (МВУС-2009)*. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – Т.1. – С. 228-230.
89. *Xilinx Constrains Guide. UG625 (v 11.4) December 2, 2009.*
90. *Зотов В.Ю.* Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPACK ISE [Текст]: монография. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 520 с.
91. *Soper A.J, Walshaw C., Cross M.* A Combined Evolutionary Search and Multilevel Optimization Approach to Graph Partitioining, 2004.
92. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы / под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с. – ISBN 5-9221-0510-8.
93. *Залепинос Р.А.* Многоуровневая, эволюционная и муравьиная парадигмы для решения проблемы разбиения графов. [Текст] / *Материалы IV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Компьютерный мониторинг и информационные технологии», г. Донецк, 13-14 мая, 2008 г.*
94. *Audin B.* Recent Advances in Graph Partitioning. Technial Report November 2013, arXiv:1311.3144.
95. *Галкина В.А.* Дискретная математика. Комбинаторная оптимизация на графах. [Текст]: учебное пособие. – М.: Гелиос АРВ, 2003. – 232 с.
96. *Миков А.И., Замятина Е.Б.* Распределенные системы и алгоритмы / Интернет университет информационных технологий intuit.ru. – [Электронный ресурс]. – <http://www.intuit.ru/department/algorithms/distrsa/12>.
97. *Левин И.И., Дордопуло А.И., Гуленок А.А.* Синтез параллельных прикладных программ для многокристальных реконфигурируемых вычислителей. Синтезатор Fire!Constructor: учебное пособие для вузов. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013. – 94 с.
98. *Попов А.Ю.* Проектирование цифровых устройств с использованием ПЛИС: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 80 с. – ISBN 978-5-7038-3317-9.
99. *Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В.* Дискретная математика: графы, матрицы, алгоритмы. – М.: НИЦ РХД, 2001. – 288 с. – ISBN 5-93972-076-5.
100. *Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А.* Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – С. 1104. – ISBN 5-94157-184-4.
101. *Белоусов А.И., Ткачев С.Б.* Дискретная математика: учебник для вузов / под редакцией В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. – ISBN 5-7038-1769-2.