

# РАЗВИТИЕ СЕМЕЙСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ «СКИФ» В РАМКАХ ПРОГРАММЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА «СКИФ-ГРИД»

С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, В.Ф. Заднепровский, А.А. Московский, А.М. Криштофик, В.Ю. Опанасенко,  
Н.Н. Парамонов

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных направлений программы Союзного государства «СКИФ-ГРИД» является создание суперкомпьютеров семейства «СКИФ» [1–7] нового поколения на основе отечественных разработок и передового мирового опыта. Главная цель этих работ — создание конструкторской и программной документации (КД и ПД), опытных образцов суперкомпьютеров «СКИФ» нового поколения. Эти суперкомпьютеры должны поддерживать высокопроизводительные расчеты в интересах развития современных наукоемких технологий, а также быть ориентированными на использование в Грид-системах.

В данной работе дается краткий обзор предыдущего этапа развития суперкомпьютеров семейства «СКИФ» (2000–2007 гг. — Ряд 1 и Ряд 2), текущее положение дел и перспектива развития суперкомпьютеров «СКИФ» (2007–2010 гг. — Ряд 3 и Ряд 4, и далее).

## РЯД 1 И 2 СЕМЕЙСТВА СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ «СКИФ»

СуперЭВМ «СКИФ» Ряда 1 [1, 3–6] и Ряда 2 [2, 3–6] производительностью в диапазоне от десятков миллиардов (Gflops) до нескольких триллионов (Tflops) операций в секунду разрабатывались и выпускались в рамках программы Союзного государства «СКИФ» (2000–2004 гг.) и в последующие годы (2005–2007 гг.) [7]. Эти системы использовались как для отработки программного обеспечения (ПО) суперкомпьютеров «СКИФ», так и для реальных вычислений в интересах предприятий и учреждений Беларуси и России.

Комплект ПО суперкомпьютеров «СКИФ» включал в себя:

— системное ПО: операционная система; базовые библиотеки поддержки параллельного счета; файловые системы; системы очередей, мониторинга и управления; стандартные системы программирования — С, С++, Fortran; и т. п.;

— средства разработки параллельных программ — программные системы, инструментальные средства и библиотеки: Grace, Open TS, MIRACLE и др.;

— два десятка параллельных прикладных систем для различных областей.

Суперкомпьютеры «СКИФ» Ряда 1 разрабатывались и выпускались в 2000–2003 гг. Упомянем некоторые из систем Ряда 1: «СКИФ Первенец», «СКИФ ВМ-5100», «СКИФ Мугин», «СКИФ Первенец-М», «СКИФ ЕС1710.03 ТКС». Эти системы создавались на базе одноядерных 32-х разрядных процессоров, сетевых решений Fast Ethernet, SCI (2D-Torus), Muginet. Использовались конструктивы с форм-фактором 1U–4U.

Суперкомпьютеры «СКИФ» Ряда 2 разрабатывались и выпускались в 2003–2007 гг. Наиболее известные модели: «СКИФ T-Forge-32», «СКИФ К-500», «СКИФ К-1000». Эти системы создавались на базе одноядерных 32-х и 64-х разрядных процессоров, сетевых решений Gigabit Ethernet, SCI (3D-Torus), InfiniBand. Для управления суперкомпьютером была разработана специальная сервисная сеть: СКИФ ServNet v.1 и v.2. Использовались конструктивы с форм-фактором 1U, опробовались первые blade-решения (в установке «СКИФ T-Forge20НВ»).

Суперкомпьютеры «СКИФ К-500» (осень 2003) и «СКИФ К-1000» (осень 2004) входили в соответствующие редакции списка Top500. При этом суперкомпьютер «СКИФ К-1000» (старшая модель семейства «СКИФ» Ряда 2) с пиковой производительностью 2,5 триллиона операций в секунду входил в четыре подряд идущие редакции списка Top500, что убедительно свидетельствует о высоком уровне принятых технических решений.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ СЕМЕЙСТВА «СКИФ» РЯДА 3 И 4

В 2007 году официально началось выполнение суперкомпьютерной Программы «СКИФ-ГРИД» Союзного государства, в рамках которой предусмотрено создание КД, ПД и опытных образцов суперкомпьютеров семейства «СКИФ» Ряда 3 и 4 на основе современной элементной базы. При этом должна быть обеспечена оптимизация технических характеристик суперЭВМ, в первую очередь потребляемой мощности, производительности, массогабаритных показателей [7].

Заметим, что научный задел и первые решения для суперЭВМ «СКИФ» Ряда 3 начал создаваться еще до официального начала выполнения Программы. Как пример, упомянем разработку и реализацию суперкомпьютера «СКИФ Cyberia» (февраль 2007, «Т-платформы» при участии ИПС РАН), в которой использовались двуядерные процессоры. Эту суперЭВМ по праву можно отнести к первой модели Ряда 3 семейства суперкомпьютеров «СКИФ».

В Программе «СКИФ-ГРИД» сформулированы следующие основные требования к суперкомпьютерам «СКИФ» Ряда 3 и 4:

- использование современных 64-разрядных многоядерных процессоров;
- повышенные плотность вычислительной мощности и уровень энергопотребления на единицу объема (в 1,5–2,0 раза больше по сравнению с кластерами семейства «СКИФ» Ряда 1 и 2);
- новые технологии взаимодействия узлов и управления узлами и кластерами;
- уменьшение количества внешних связей между вычислительными узлами и сетевыми коммутаторами в 2,0–2,5 раза по сравнению с кластерными системами семейства «СКИФ» Ряда 1 и Ряда 2;
- расширенные сервисные функции (мониторинг внутренней температуры, контроль работы системы вентиляции и др.);
- поддержка использования суперкомпьютеров в Грид-системах, поддержка режимов виртуализации.

#### ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ СЕМЕЙСТВА «СКИФ» РЯДА 3 И 4

В рамках программы «СКИФ-ГРИД» разработка суперкомпьютеров Ряда 3 и 4 выполняется в два этапа:

- этап 1 (2007–2008 гг.) — создание базовых конфигураций суперкомпьютерных систем «СКИФ» Ряда 3 (БКСС-3);
- этап 2 (2008–2010 гг.) — создание базовых конфигураций суперкомпьютерных систем «СКИФ» Ряда 4 (БКСС-4).

На первом этапе должны быть выполнены следующие основные работы по исследованию и отработке отечественных технических решений и выпуску моделей суперкомпьютеров семейства «СКИФ» Ряда 3:

- Исследование и разработка перспективных отечественных технических решений и создание модулей и узлов для суперкомпьютеров семейства «СКИФ» Ряда 3.
- Разработка необходимых КД, ПД и создание в России на базе отечественных blade-решений и 4-х ядерных процессоров суперкомпьютера Ряда 3 «СКИФ МГУ» — базовой конфигурации суперкомпьютерных систем Ряда 3, нового флагмана семейства «СКИФ».
- Разработка необходимых КД, ПД и создание в Беларуси суперкомпьютерной системы Ряда 3 «СКИФ К-1000М» путем модернизации суперкомпьютера Ряда 2 «СКИФ К-1000». Будут выполнены: замена одноядерных процессоров на двухядерные, расширение функциональных возможностей, уменьшение энергопотребления при увеличении производительности.

На втором этапе должны быть выполнены следующие основные работы по исследованию и отработке отечественных технических решений и выпуску моделей суперкомпьютеров семейства «СКИФ» Ряда 4:

- Исследование и разработка перспективных отечественных технических решений. Создание модулей и узлов для суперкомпьютеров семейства «СКИФ» Ряда 4: отечественный интерконнект, решения в области ускорителей, конструктивно-технологические решения и т. п.
- Разработка необходимых КД, ПД и создание в России суперЭВМ с гибридной архитектурой Ряда 4 «СКИФ Т-4» (название рабочее) за счет использования в суперЭВМ стандартных процессоров и ускорителей.
- Разработка необходимых КД, ПД и создание в Беларуси суперЭВМ с гибридной архитектурой с использованием ускорителей Ряда 4 «СКИФ ОИПИ Т-4» (название условное) на отечественных blade-серверах и 4-х ядерных процессорах.
- Создание образцов модулей и узлов для проведения исследований и отработки решений на перспективу (после 2010 года), с целью радикального улучшения показателя «производительность на ватт», за счет использования новых многоядерных процессоров, новых архитектурных решений гибридных вычислительных узлов.

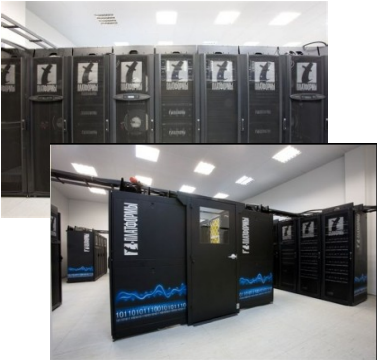
Производительность пиковая/Linpack	60 Tflops / 47.17 Tflops (КПД=78.6%)	
Вычислительных узлов	625	
Число CPU Intel® Xeon® E5472, 3,0 GHz / ядер	1250 / 5000	
Конструктив узла	blade	
Монтажных шкафов вычислителя	14	
<b>Системная сеть DDR InfiniBand (Mellanox ConnectX)</b>		
Скорость передачи между узлами	> 1450 Мб/сек	
Задержка при передаче пакетов данных	< 2.2 мкс	
<b>Вспомогательная сеть</b>	Gigabit Ethernet	
<b>Сервисная сеть</b>	IPMI + СКИФ ServNet v.3	
Суммарная память узлов: RAM / HDD	5.5 ТБ 15ТБ	
<b>Система хранения данных T-Platforms ReadyStorage ActiveScale Cluster 60 ТБ</b>		
Занимаемая площадь	96 кв.м	
Потребляемая мощность установки в целом	520 кВт (в пике 20кВт)	
<b>Климатическая система: модульная, внутрирядная. Резервирование N+1</b>		
Холодопроизводительность	400 кВт	
Теплоноситель внешнего контура	фреон /	
Теплоноситель внутреннего контура	вода+этиленгликоль	
Кондиционеров / холодильных машин	8 / 3	

Рис. 1. СуперЭВМ «СКИФ МГУ» и ее основные характеристики

### СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ «СКИФ» РЯДА 3

В начале 2008 года были созданы суперкомпьютеры Ряда 3:

— «СКИФ МГУ», пиковая производительность 60 Tflops, Linpack-производительность 47.17 Tflops, разработчики: ИПС РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, компания «Т-платформы» при технической поддержке корпорации Intel;

— «СКИФ Урал», пиковая производительность 16 Tflops, Linpack-производительность 12.2 Tflops, разработчик: компания «Т-платформы».

Обе эти суперЭВМ созданы на базе одинаковых технических решений, разработанных в рамках первого этапа программы «СКИФ-ГРИД», в которых использованы самые передовые (на момент создания) технические решения: четырехъядерные процессоры Intel® Xeon® E5472, 3.0 GHz, системная сеть DDR InfiniBand (Mellanox ConnectX), вспомогательная сеть Gigabit Ethernet, сервисные сети — IPMI и СКИФ ServNet v.3. В качестве основного конструктива использованы шасси и blade-серверы, разработанные компанией «Т-платформы».

Суперкомпьютеры Ряда 3 «СКИФ МГУ» и «СКИФ Урал» предназначены для решения задач со сложной логикой и большим количеством вычислений.

<b>Blade-сервер компании «Т-платформы»:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>— CPU: 2 x Intel® Xeon® E5472 3.0 GHz (4 cores, cache L2: 12MB; FSB: 1600 MHz)</li> <li>— RAM: 8GB (8 x 1GB FB-DIMM ECC reg 667MHz)</li> <li>— HDD: 1 x 160GB SATA 8MB 7200rpm</li> </ul>	
<b>Шасси для серверов-лезвий компании «Т-Платформы»</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>— высота: 5U</li> <li>— количество blade-модулей: 10</li> <li>— количество блоков питания: 8 (redundant)</li> <li>— суммарная мощность блоков питания: 5,2кВт</li> <li>— количество вентиляторов: 10</li> </ul>	

Рис. 2. Blade-серверы и шасси компании «Т-платформы»

### СУПЕРКОМПЬЮТЕР РЯДА 3 «СКИФ К-1000М»

В 2008 году путем проведения модернизации суперкомпьютера Ряда 2 «СКИФ К-1000» в ОИПИ НАН Беларуси создан суперкомпьютер Ряда 3 «СКИФ К-1000М».

Целью модернизации являлось улучшение функциональных возможностей, увеличение производительности, снижение уровня потребляемой суперкомпьютером мощности за счет расширения конфигурации и использования двухядерных процессоров.

В результате замены одноядерных процессоров AMD Opteron 248 на двухядерные процессоры AMD Opteron 275 (875):

- пиковая производительность суперкомпьютера увеличилась в 2 раза и составила 5068,8 GFlops;
- Linpack-производительность увеличилась в 1,86 раза;
- потребляемая мощность уменьшилась примерно на 15%.

#### СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ «СКИФ» РЯДА 4

Суперкомпьютеры Ряда 4 будут разрабатываться (2008–2010 гг.) на базе технических решений суперкомпьютеров Ряда 3 за счет добавления в состав технических средств специализированных ускорителей вычислений.

При написании программ для таких суперкомпьютеров фрагменты вычислений с простой логикой, с конвейерным или мелкозернистым явным параллелизмом, с большими потоками информации, требующими обработки в реальном режиме времени, реализуются на ускорителях. Остальные фрагменты вычислений реализуются на стандартных вычислительных узлах, объединенных системной сетью.

Вычислительные ускорители могут реализовываться двумя способами:

- как отдельные вычислительные модули, подключаемые к системной сети;
- как ускорители, включаемые в состав обычных вычислительных модулей — например, подключаемые через шину PCI Express.

В качестве ускорителей могут использоваться мультиядерные кристаллы ClearSpeed, Cell, системы на ПЛИС и т. д. Представляется перспективным использование серверов exCellenT-platforms российской компании «Т-платформы». Основные параметры этих серверов: 2 x CPU Cell 3.2 GHz; RAM: 8 GB; HDD: 2 x SATA 160GB; конструктив 1U. Типы используемых ускорителей должны быть уточнены в процессе отработки идеологии создания суперкомпьютеров «СКИФ» Ряда 4.

#### СУПЕРКОМПЬЮТЕР С ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ РЯДА 4 «СКИФ ОИПИ Т-4»

На базе blade-решений компаний «Т-платформы» современных 4-х ядерных процессоров, с использованием ускорителей запланировано на втором этапе программы «СКИФ-ГРИД» в Беларуси создать Суперкомпьютер с гибридной архитектурой Ряда 4 «СКИФ ОИПИ Т-4». Ориентировочная пиковая производительность суперкомпьютера — 5–10 TFlops.

Как сказано выше, тип ускорителей должен быть определен на этапе отработки решений.

Создание суперкомпьютера «СКИФ ОИПИ Т-4» планируется в два этапа:

- 2008 год — создание экспериментального кластера (40 вычислительных узлов) с пиковой производительностью около 3 TFlops, проработка возможности установки в кластер нескольких вычислительных узлов на базе серверов Cell компании «Т-платформы»;
- 2009 год — создание опытного образца суперкомпьютера «СКИФ ОИПИ Т-4» с гибридной архитектурой с использованием аппаратуры экспериментального образца.

#### ЧТО ЕСТЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО В СУПЕРЭВМ СЕМЕЙСТВА СКИФ?

Суперкомпьютеры (впрочем, как и компьютеры) — технически сложные устройства. Как правило, такого рода изделия создаются с широким использованием мирового распределения труда. Общая практика, когда в суперЭВМ, разрабатываемой одной компанией некоторой страны, широко используются компоненты, разработанные и производящиеся в самых различных компаниях в разных странах мира. В настоящее время ни одна страна мира (за исключением разве что США), не производит все без исключения компоненты компьютерной техники и суперкомпьютеров в частности.

В полном соответствии с данной тенденцией суперкомпьютеры семейства «СКИФ» основываются на использовании зарубежной компонентной базы, что позволяет обеспечить конкурентоспособность по такому важнейшему параметру как производительность. Суперкомпьютеры семейства «СКИФ» разрабатываются, собираются, налаживаются и тестируются нашими специалистами. При этом Беларусь и Россия являются собственниками конструкторской документации на узлы суперЭВМ семейства «СКИФ» и на изделия целиком. На часть разработок имеются патенты. Это еще одно документальное подтверждение оригинальности отечественных разработок.

Независимая экспертиза страны происхождения суперЭВМ выполняется и при включении суперЭВМ в рейтинг Top500. Поданные заявителем сведения о стране происхождения и о производителе проверяются составителями списка и, если нужно, исправляются — такие случаи известны. Во всех случаях вхождения всех суперЭВМ семейства «СКИФ» данная проверка страны происхождения проходила успешно — составители списка оставляли

без изменения сведения о российском происхождении суперЭВМ семейства «СКИФ»: СКИФ К-500, СКИФ К-1000, СКИФ Cyberia, СКИФ МГУ и СКИФ Урал (редакции рейтинга 11/2003, 11/2004–06/2006, 06/2007, 11/2007, 06/2008).

В целом, за всю историю Top500 российское происхождение признавалось только у этих пяти суперЭВМ семейства «СКИФ» и еще у «МВС-1000М» (НИИ «Квант», редакции рейтинга 06/2002–06/2004). Все остальные установленные в России системы, попавшие в Top500, являются импортными — производства: Hewlett-Packard, Sun Microsystem и IBM.

Еще одно объективное доказательство отечественного происхождения суперЭВМ семейства СКИФ — превышение зарубежных аналогов по показателям. Если некоторая суперЭВМ обладает характеристиками, которые превышают достижения отрасли, то это является неоспоримым доказательством уникальности, оригинальности установки. СуперЭВМ семейства «СКИФ» часто показывали лучшие в отрасли результаты. Например:

— «СКИФ К-500», «СКИФ Cyberia», «СКИФ МГУ», «СКИФ Урал» продемонстрировали лучший показатель КПД на процессорах Intel. Да, в суперЭВМ семейства СКИФ используются импортные процессоры, но отечественным разработчикам удается их использовать лучше, чем кому бы то ни было!

— В ноябре 2004 «СКИФ К-1000» занял первое место в мире на тесте «столкновение 3 автомобилей» в рейтинге TopCrunch ([www.topcrunch.org](http://www.topcrunch.org), поддержан DARPA).

— В феврале 2007 «СКИФ Cyberia» выдает показатели лучшие, чем у современных суперЭВМ (Cray, HP, IBM, SUN): лучший (на 8..13%) КПД, лучшую (в 2–1.5 раза) масштабируемость на прикладном инженерном пакете STAR-CD.

Часто разработанные СКИФ-решения превышают зарубежные аналоги и по техническим возможностям:

— blade-решение для суперЭВМ «СКИФ МГУ» и «СКИФ Урал» компании «Т-Платформы», имело (на момент выпуска): плотность упаковки вычислительной мощности процессоров Intel — на 20% лучше всех аналогичных изделий в мире; стандартный разъем PCI Express; «N+1» резервирование и «горячую замену» как блоков питания, так и вентиляторов. Такое сочетание важных эксплуатационных свойств встречается только в данной blade-системе;

— система управления СКИФ ServNet версии 1, 2, 3 (разработана в ИПС РАН) поддерживает ряд уникальных возможностей. Например, функцию «черного ящика» — сохранение последних записей о событиях в отказавшем блоке.

СуперЭВМ семейства «СКИФ» являются отечественными системами, разработанными на базе импортных комплектующих, с постепенно нарастающей долей импортозамещения. В суперкомпьютерах «СКИФ» ряда 1 отечественными были:

- схемотехнические решения;
- конструкторская документация (КД) корпусов и стоек (стойки и корпуса выпускались в Минске);
- программное обеспечение (ПО) кластерного уровня семейства СКИФ — ПО КУ СКИФ.

При этом набор отечественного базового программного обеспечения (ПО КУ СКИФ) разрабатывался и на основе оригинальных разработок, и на основе доработок и адаптации программного обеспечения с открытыми исходными текстами.

СуперЭВМ «СКИФ» Ряд 2 также разработаны по оригинальному проекту. И здесь отечественными являлись:

- схемотехнические решения;
- конструкторская документация (КД) корпусов и стоек;
- разработка и программное обеспечение — ПО КУ СКИФ.

Кроме того:

- отдельные компоненты узлов были доработаны по документации российских разработчиков — например, материнские платы для «СКИФ К-500» и «СКИФ К-1000»;
- суперЭВМ «СКИФ» ряда 2 оснащались сетью управления и мониторинга отечественной разработки — ServNet версии 1 и 2, разработка ИПС РАН;
- в суперкомпьютере «СКИФ ЕС1710.03» использовался интерконнект отечественного производства (НИЦЭВТ, интерконнект SCI 2D-тор).

Суперкомпьютеры «СКИФ» ряда 3 «СКИФ МГУ» и «СКИФ Урал» созданы на основе blade-серверов собственной разработки («Т-Платформы»), имеющих уникальные показатели. Таким образом, здесь отечественными были:

- схемотехнические решения;
- конструкторская документация на сами blade-серверы и шасси;
- программное обеспечение — ПО КУ СКИФ;
- конструкторская и программная документация на сервисную сеть ServNet версии 3 (платы ServNet T-60 и ServNet SCB) — разработка и изготовление ИПС РАН.

В дальнейшем, в рамках реализации суперЭВМ «СКИФ» ряда 4, к данным отечественным компонентам добавятся ускорители вычислений и гибридные узлы.

#### ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ СЕМЕЙСТВА «СКИФ»

На базе научно-технического задела, полученного в результате создания суперкомпьютеров «СКИФ» Ряда 3 и 4, в 2010 году планируется создание образцов модулей и узлов для проведения исследований и отработки решений на перспективу (после 2010 года). Основная цель этих научно-исследовательских работ — радикальное улучшение показателя «производительность на ватт», использование гибридных вычислительных узлов с многоядерными процессорами и новых архитектурных решений.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках суперкомпьютерной программы «СКИФ-ГРИД» Союзного государства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов, О.П. Чиж. «Кластерные конфигурации СКИФ Ряда 1» // Труды Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение SSA'2004», 26–28 октября 2004 г. Минск, ОИПИ НАН Беларуси, Минск, с. 54–61.
2. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов, О.П. Чиж. «Модели суперкомпьютеров СКИФ Ряда 2» // Труды Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение SSA'2004», 26–28 октября 2004 г. Минск, ОИПИ НАН Беларуси, Минск, с. 73–76.
3. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов, О.П. Чиж. «Принципы построения суперкомпьютеров семейства СКИФ» // Труды Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение SSA'2004», 26–28 октября 2004 г. Минск, ОИПИ НАН Беларуси, Минск, с. 109–115.
4. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов. «Суперкомпьютеры семейства "СКИФ"» // Труды Международной конференции «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, Т. 1, 2004, Наука–Физматлит, М. с. 157–183.
5. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов. «Принципы построения суперкомпьютеров семейства "СКИФ" и их реализация» // Ежеквартальный научный журнал «Информатика», ОИПИ НАН Беларуси, Минск, № 1, январь–март 2004, с. 89–106.
6. С.В. Абламейко, С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов, О.П. Чиж. «Суперкомпьютерные конфигурации СКИФ», Минск: ОИПИ НАН Беларуси, цв. ил., 170 с., 2005, ISBN 985-6744-19-9.
7. С.М. Абрамов, В.З. Заднепровский, А.А. Московский. «Отечественные суперЭВМ и грид-системы. Проблемы развития национальной киберинфраструктуры в России» // В сборнике «Российские суперкомпьютеры: Наука. Технологии. Производство» — Библиотека ЦСПП, Выпуск 2, 100 с, ил., с. 36–54, 2008, ISBN 5-8027-0061-0.