

ИТОГИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «СКИФ» СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

С.М. Абрамов (ИПС РАН)

Данная работа посвящена обзору основных результатов суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства (Россия—Беларусь). Также рассматриваются перспективы использования ее результатов и развития данного научного направления.

Общие сведения о программе «СКИФ»

Полное официальное наименование программы «СКИФ» — «Разработка и освоение в серийном производстве семейства моделей высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (суперкомпьютеров) и создание прикладных программно-аппаратных комплексов на их основе» — очень хорошо показывает специфику данного проекта.

Необходимы разработка в соответствии с принятыми стандартами программной и конструкторской документации, обеспечение нормоконтроля, подготовка производства, выпуск опытных образцов, проведение предварительных и приемочных (государственных) испытаний, выпуск литерной документации и т.п. Серийное производство означает учет требований потенциального рынка. Помимо обеспечения высоких технических показателей, необходимо учитывать реальную покупательную способность отечественного потребителя, бороться за приемлемые цены и оптимальное отношение производительность/цена.

Предусматривается создание семейства моделей (ряд 1 и 2) высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров), совместимых по программному обеспечению, имеющих широкий выбор возможных конфигураций, широкий спектр производительности: от единиц и десятков миллиардов операций в секунду (1—10—100 Гфлопс) до триллионов операций в секунду (до 15 Тфлопс).

Для обеспечения широкого внедрения суперкомпьютеров семейства СКИФ предстояло разработать прикладные системы и даже законченные прикладные комплексы. Например, кардиологический комплекс нового поколения, в котором медицинское оборудование (сенсоры) интегрированы с небольшим вычислительным кластером, реализующим обработку первичной диагностической медицинской информации.

Программа «СКИФ» выполнялась пять лет, начиная с 2000 г. В программе государственными заказчиками-координаторами были определены:

- от Республики Беларусь — Национальная академия наук Республики Беларусь;
- от Российской Федерации — Федеральное агентство по науке и инновациям.

Институт программных систем Российской академии наук (ИПС РАН) являлся головным исполнителем программы «СКИФ» от Российской Федерации, головным исполнителем от Республики Беларусь являлся Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Республики Беларусь (ОИПИ НАН Беларуси). Всего в программе участвовали около двух десятков учреждений и предприятий, примерно поровну от каждой страны.

Выпуск опытных образцов суперкомпьютеров семейства СКИФ

За пять лет исполнения программы «СКИФ» было выпущено шестнадцать опытных образцов¹ суперкомпьютеров семейства СКИФ, шесть из них

¹ Подробнее см. сайт <http://skif.pereslavl.ru>, раздел в меню «Образцы СКИФ/Кластерные системы СКИФ».

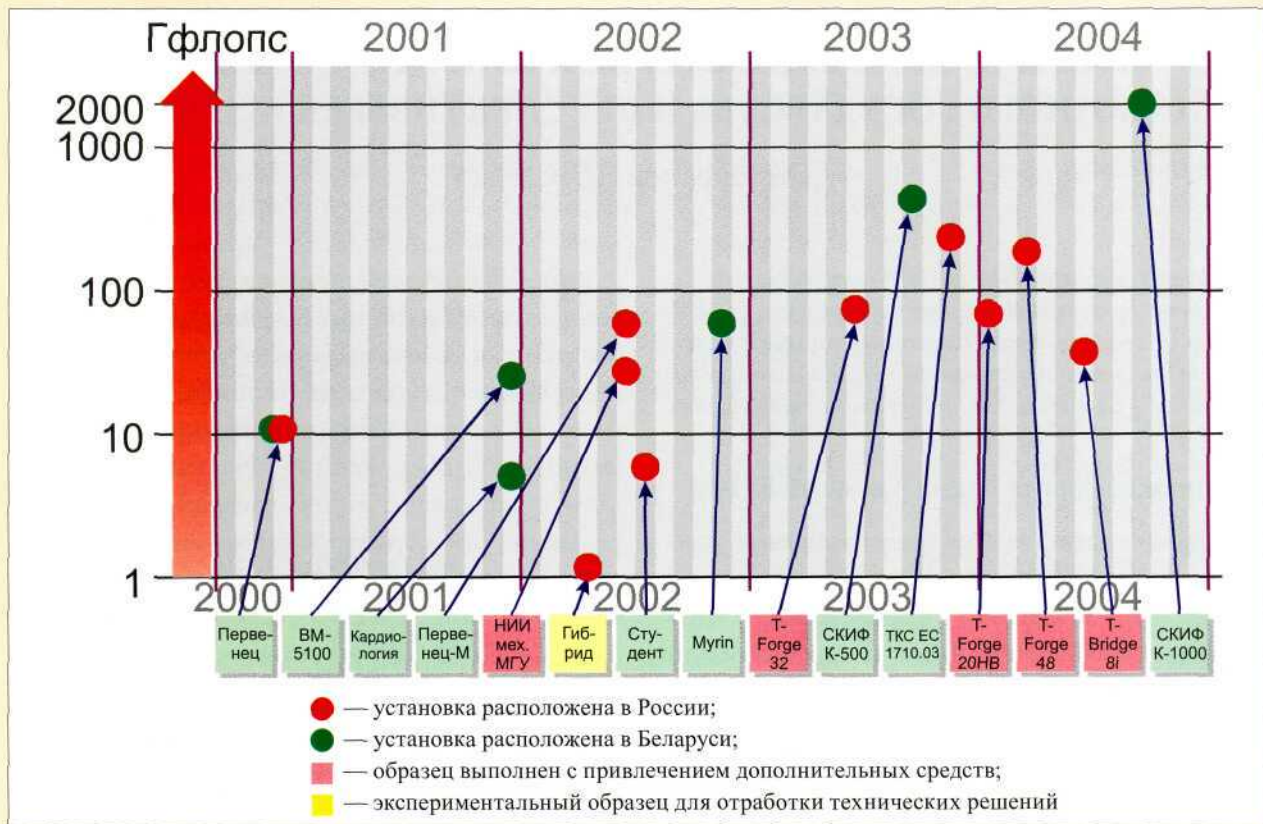


Рис. 1. Linpack-производительность шестнадцати опытных образцов высокопроизводительных установок семейства СКИФ

были размещены в Беларуси, десять — в России. На рис. 1 в виде графика с логарифмической шкалой показана Linpack-производительность¹ этих опытных образцов. Видно, что каждый год создавались установки в широком спектре производительности. Ежегодно выбиралась установка с наибольшей (на текущий год) для семейства СКИФ Linpack-производительностью — так называемое «подсемейство» Тор-СКИФ (см. таблицу).

Из рис. 1 видно, что Linpack-производительность моделей Тор-СКИФ росла из года в год

почти по экспоненциальному закону и за пять лет выросла в 185 раз (с 11 до 2032 Гфлопс). Вообще говоря, экспоненциальный рост характерен для суперкомпьютерной отрасли. Однако в годы исполнения программы «СКИФ» удалось обеспечить более высокие темпы в отечественном секторе, чем по отрасли в целом (рис. 2).

Из всех моделей семейства СКИФ особо отметим СКИФ К-500 и СКИФ К-1000 — эти суперкомпьютеры вошли в список 500 самых мощных компьютеров мира²:

— СКИФ К-500 — 417-е место в редакции рейтинга от ноября 2003 г.;

¹ Максимальная реальная производительность, которую удалось развить на вычислительной установке на задаче решения системы линейных уравнений с 64-разрядными числами с плавающей точкой — так называемый тест Unpack. Именно данный показатель используется для ранжирования суперкомпьютеров в мировом рейтинге пятисот самых мощных ЭВМ мира [1].

² Ранее (в июне 2002 г.) только одна ЭВМ отечественной разработки и производства была включена в мировой рейтинг Top500 — это МВС-1000М (64-е место), совместная разработка НИИ «Квант», ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и Межведомственного суперкомпьютерного центра (МСЦ).

**Основные показатели «подсемейства» вычислительных установок Тор-СКИФ
(установки с наибольшей для семейства СКИФ Linpack-производительностью на текущий год)**

Год	Наименование	Количество и вид процессоров	Производительность, Гфлопс	
			пиковая	Linpack
2000	Первенец (2 экз.), Россия и Беларусь	32xIntel Pentium III (600 МГц)	20	И
2001	ВМ-5100, Беларусь	32xIntel Pentium III (1400 МГц)	45	31
2002	Первенец-М, Россия	32xAMD AthlonMP 1800+ (1533 МГц)	90	57
2003	СКИФ К-500, Беларусь	128xIntel Pentium Xeon (2,8 ГГц)	717	474
2004	СКИФ К-1000, Беларусь	576xAMD Opteron 248 (2,2 ГГц)	2534	2032

— СКИФ К-1000 — 98-е место в редакции рейтинга от ноября 2004 г.

Существенный вклад внесли суперкомпьютеры семейства СКИФ в парк высокопроизводительных установок, размещенных на территории СНГ. В ноябре 2004 г. семь суперкомпьютеров СКИФ вошли в список пятидесяти самых мощных суперкомпьютеров СНГ под номерами 1, 6, 8, 20, 22, 32, 34. Суперкомпьютер СКИФ К-1000 занимал тогда первое место в данном рейтинге¹. Также отметим, что хотя суперкомпьютерные установки семейства СКИФ занимали в ноябре 2004 г. в суперкомпьютерном рейтинге СНГ только 14% мест, они обеспечивали в данном рейтинге четверть суммарной пиковой и одну треть суммарной Linpack-производительности, т.е. объективно эффективность (К.П.А.) у семейства СКИФ была в полтора раза выше, чем в среднем по другим отечественным и зарубежным суперкомпьютерам, установленным в СНГ в ноябре 2004 г. Высокие места, занятые в мировых рейтингах и рейтинге стран СНГ, свидетельствуют о важной роли высокопроизводительных вычислительных систем семейства СКИФ в отечественной суперкомпьютерной отрасли.

Все это подтверждает способность и готовность промышленности Беларуси и России вы-

¹ Рейтинг Top50 (www.supercomputers.ru) организован Межведомственным суперкомпьютерным центром РАН и Научно-исследовательским вычислительным центром МГУ им. М.В. Ломоносова при поддержке российской компании «Т-Платформы».

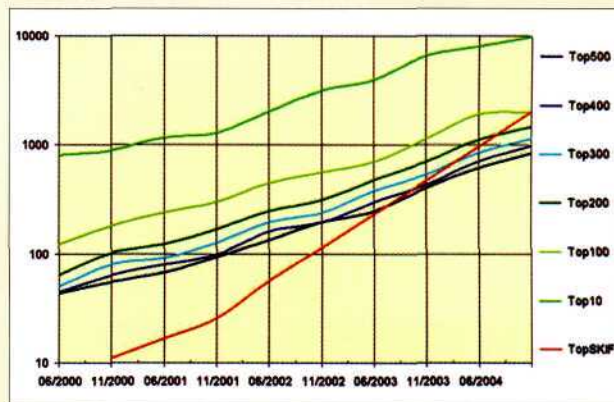


Рис. 2. Сравнение темпов роста Linpack-производительности самых производительных ЭВМ семейства СКИФ (TopSKIF) и самых производительных ЭВМ в мире (Top10 — 10-е место, Top100 — 100-е место, ..., Top500 — 500-е место во всемирном рейтинге)

полнить любые заказы отечественных предприятий и организаций на вычислительные системы семейства СКИФ.

Спецвычислители (ускорители) в установках семейства СКИФ

Помимо разработки универсальных кластерных вычислительных систем, программа «СКИФ» предусматривала и разработку спецвычислителя для потоковых вычислений — однородной вычислительной среды. Как и другие задания (мероприятия) программы «СКИФ», эта разработка была выполнена.

Осенью 2004 г. успешно прошли приемочные испытания опытного образца базового вычисли-

тельного модуля однородной вычислительной среды (рис. 3). Данный модуль содержал 1000 однобитовых процессоров (с возможностью расширения до 4000 процессоров): 2 платы (расширяется до 8) по 20 СБИС, в каждой из которых по 25 процессоров. Испытаниям были подвергнуты и системное программное обеспечение уровня однородной вычислительной среды (диспетчер метапроцессов), и средства программирования однородной вычислительной среды: графовый язык, система подготовки и отладки программ. Отметим, что данная разработка является полностью отечественной: российские и белорусские исполнители программы «СКИФ» разрабатывали принципы работы однородной вычислительной среды, разрабатывали и изготавливали микросхемы, печатные платы, конструктивные элементы, систему электропитания и охлаждения, все аппаратные узлы и систему в целом, все программное обеспечение для нее.



Рис. 3. Базовый вычислительный модуль ОВС, подключенный к кластеру «Первенец-М» (Переяславль-Залесский, ИПС РАН, осень 2004 г.)

Высокая эффективность использования спецвычислителей для некоторых видов алгоритмов позволила расширить спектр спецвычислителей, используемых в семействе суперкомпьютеров СКИФ. Был изготовлен опытный образец модульно наращиваемой многопроцессорной системы (МНМС), созданный группой разработчиков (под руководством члена-корреспондента И.А. Каляева) из НИИ МВС (Таганрог). Осенью 2004 г. выполнена стыковка МНМС с опытным образцом

суперкомпьютерной системы ЕС1710.03 (рис. 4) и проведены приемочные испытания комплекса, в которых проверялись:

- программа управления МНМС;
- библиотека программного интерфейса;
- система разработки приложений;
- демонстрационные параллельные программы;
- система криптоанализа сообщений (DES);
- программа выполнения быстрой свертки группы массивов;
- прикладная система реального времени сопровождения цели.

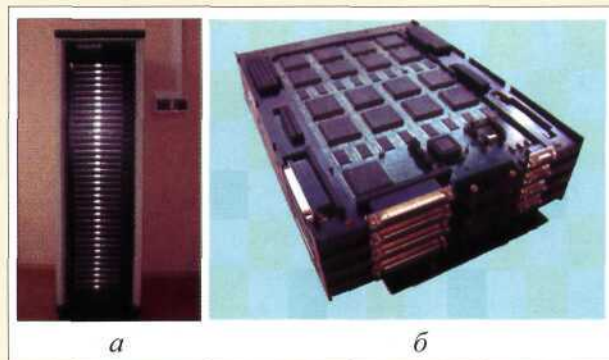


Рис. 4. Опытный образец суперкомпьютерной системы ЕС1710.03 (пиковая 403 Гфлопс, Linpack-производительность 253 Гфлопс, Москва, НИЦЭВТ, осень 2003 г.) (а) и опытный образец модульно наращиваемой многопроцессорной системы (МНМС, НИИ МВС, Таганрог, осень 2003 г.) (б)

Собственное программное обеспечение для семейства суперкомпьютеров СКИФ

Огромные усилия, большая доля времени, сил и средств были потрачены в программе «СКИФ» на разработку программного обеспечения и литературной программной документации. Отметим, что вся программная документация была разработана в соответствии с требованиями ЕСПД, проведена через нормоконтроль, успешно прошла приемочные (государственные) испытания с присвоением литеры О1. Общий объем комплекта программно-

го обеспечения для семейства суперкомпьютеров СКИФ составляет 10 дисков CD-ROM. Перечислим основные компоненты данного комплекта:

— стандартное ядро ОС Linux и модифицированное ядро ОС Linux-SKIF (с большим уровнем информационной безопасности);

— параллельная файловая система PVFS-SKIF (модифицирована под специфику семейства СКИФ);

— система очередей OpenPBS-SKIF (модифицирована);

— оригинальная система мониторинга и управления установками семейства СКИФ FLAME-SKIF (включает среди прочего и поддержку сервисной сети СКИФ-ServNet);

— OpenTS — T-система с открытой архитектурой; оригинальная разработка ИПС РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова, позволяющая существенно облегчить разработку параллельных прикладных программ. T-система [2, 3] — система автоматического и динамического распараллеливания программ. В отличие от большинства аналогов T-система поддерживает практически все параллельные платформы, начиная с многоядерных процессоров и включая все остальные архитектуры — SMP- и PVM-системы, MPI-кластеры, метакластерные системы и Grid-сети;

— TDB — распределенный интерактивный отладчик MPI-программ с поддержкой отладки T-программ (отечественная замена дорогостоящей системы TotalView);

— 12 адаптированных (к особенностям семейства СКИФ) свободных пакетов, библиотек и параллельных приложений;

— 7 прикладных программных систем, разработанных в среде OpenTS:

MultiGen (Челябинский государственный университет) — система расчета биологической активности молекул с учетом их конформационного многообразия, прогнозирование и проектирование в химии (лекарства и другие соединения);

пакет расчета аэромеханики подвижных плохообтекаемых тел (НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова);

обработка и поиск XML-данных (НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова);

программная система формирования фокусированных радиолокационных изображений (НИИ КС);

программная система моделирования широкополосных пространственно-временных радиолокационных сигналов (НИИ КС);

программная система поточечной обработки цветных и полутоновых видеоданных космических систем дистанционного зондирования (НИИ КС);

программная система классификации гиперспектральных изображений со спутника LANDSAT (ИПС РАН);

— 14 параллельных приложений собственной разработки:

модель профессора В.М. Лосева и другие метеорологические модели (ИПС РАН, Росгидромет);

модели регионального прогноза погоды на 48 часов, численные методы прогнозирования погоды (ОИПИ НАН Беларуси, Республиканский гидрометеорологический центр (РГМЦ));

три прикладные системы искусственного интеллекта: АКТИС — классификация текстов по заданным в процессе обучения классам (глубокий анализ текста, высокая релевантность); INEX — извлечение знаний из неструктурированных текстов на естественном языке, заполнение заданной реляционной базы данных; MIRACLE (система разработана на OpenTS) — инструментальная система для проектирования интеллектуальных систем (ИЦИИ ИПС РАН);

аппаратно-программный кардиологический комплекс (ОИПИ НАН Беларуси, РНПЦ «Кардиология» и УП «НИИЭВМ»);

кардиологическая экспертная система реального времени ADEPT-C (ИВВиИС).

Сервисная сеть СКИФ-ServNet

Сервисная сеть СКИФ-ServNet (рис. 5), разработанная специалистами ИПС РАН, предназначена для удаленного управления вычислительными

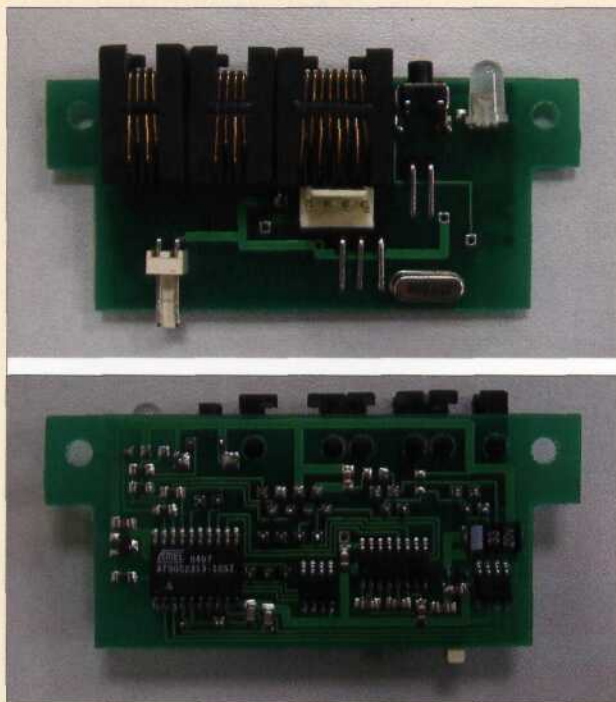


Рис. 5. СКИФ-ServNet ver. 2 с уменьшенными габаритами (66×33 мм)

узлами суперкомпьютерных систем и обеспечивает селективные (для узла или группы узлов) операции¹:

- управление электропитанием (Power On/Off);
- выполнение аппаратного сброса (Reset);
- контроль (Serial Console) программного обеспечения в узлах кластера;
- реализацию функции «черного ящика» — чтение последних сообщений (Serial Console) на неработоспособном узле (группе узлов).

За счет интеграции с системой FLAME-SKIF мониторинга и управления установками семейства СКИФ сервисная сеть СКИФ-ServNet становится мощным средством автоматизированного управления (в том числе и удаленного) аппаратными и программными компонентами суперкомпьютеров семейства СКИФ.

Отметим, что система FLAME-SKIF и сервисная сеть СКИФ-ServNet нашли свое применение не только в установках семейства СКИФ, но и в кластерах других изготовителей.

Совместимость суперкомпьютеров семейства СКИФ с коммерческим программным обеспечением.

Примеры реального использования суперкомпьютеров СКИФ

Очень важным свойством суперкомпьютеров семейства СКИФ является их совместимость с коммерческими инженерными пакетами, такими, как LS-DYNE, STAR-CD и др.

Это позволило наряду с наличием отечественного программного обеспечения СКИФ в короткие сроки обеспечить существенное реальное использование суперкомпьютеров семейства СКИФ в России и Беларуси. Приведем лишь краткий список примеров использования суперкомпьютеров СКИФ:

- химические приложения: квантохимические расчеты, прогнозирование и проектирование в химии (лекарства и другие соединения), проектирование химических реакторов;
- аэрогидродинамические расчеты, включая аэромеханические расчеты для случая плохо обтекаемых тел;
- газодинамика, включая численное моделирование элементарных процессов радиационной газовой динамики;
- обработка результатов дистанционного зондирования Земли: формирование фокусированных радиолокационных изображений, моделирование широкополосных пространственно-временных радиолокационных сигналов, поточечная обработка цветных и полутоновых видеоданных, классификация изображения и др.;
- гидрометеорология: модели регионального прогноза погоды на 48 часов, численные методы прогнозирования погоды, перспективные метеорологические модели;
- прикладные системы искусственного ин-

¹ Подробнее см. сайт <http://skif.pereslavl.ru>, раздел меню «Результаты/2003 год», материал «Управляющая сеть кластеров "СКИФ"».

теллекта (аналитические службы, информационный сервис, наука и государственная безопасность): классификация текстов по заданным в процессе обучения классам; извлечение знаний из неструктурированных текстов на естественном языке; инструментальные системы для проектирования интеллектуальных систем и др.;

— медицина и телемедицина: кардиологическая экспертная система реального времени (по сути, относится к телемедицине);

— расчеты явлений с большой долей энергии излучения: расчет характеристик лазерного факела, моделирование процессов лазерного спекания порошковых материалов (для медицинских изделий), гиперзвукового движения космического тела в плотных слоях атмосферы, удара астероида и др.;

— расчеты в интересах нанотехнологий: численные модели, реализующие методы молекулярной динамики для моделирования наноструктур; программный комплекс расчета зонной структуры твердых тел;

— геомеханические задачи: моделирование деформационных процессов на земной поверхности, устойчивости подземных сооружений, напряженно-деформированного состояния подработанной толщи;

— экологическое моделирование и прогнозирование, в том числе в чрезвычайных ситуациях: комплекс оперативного прогноза ветрового переноса загрязнений при чрезвычайных ситуациях;

— государственная безопасность: специальные математические задачи и алгоритмы, решения задач перебора большой размерности, система идентификации личности по голосу, сбор, учет и поиск лиц по фонограммам их речи;

— радиосвязь (гражданская и военная): оптимизация частотно-территориальных планов радиоэлектронных средств с учетом электронно-магнитной совместимости;

— банковские информационные системы;

— инженерные расчеты:

автомобильная промышленность: расчеты конструкций карьерных самосвалов БелАЗ, столк-

новений транспортных средств с препятствиями, турбокомпрессоров для наддува дизельных двигателей; проектирование карданных валов;

сельскохозяйственные машины: расчеты конструкций перспективных универсальных тракторов «Беларусь», почвообрабатывающих агрегатов;

аэрокосмическая техника: детонационное горение, распространение пламени форсунки камеры сгорания газотурбинной установки, оценка прочности авиационных газотурбинных двигателей;

легкая промышленность: моделирование динамических характеристик швейных изделий и обуви;

иное: моделирование деформационных процессов на земной поверхности, расчеты конструкций шахтных крепей, система охлаждения реактора и др.

Подготовка к серийному выпуску суперкомпьютеров семейства СКИФ

Очень важным результатом программы «СКИФ» является подготовленная производственная база. Возможности участников программы «СКИФ» (ИПС РАН, ОАО «НИЦЭВТ», ООО «Т-Платформы») позволяют серийно выпускать:

— суперкомпьютеры производительностью до 15 Тфлопс — по технологиям, ранее проверенным на семействе СКИФ К-1000;

— адаптеры высокоскоростных сетей SCI для кластеров — полных аналогов адаптеров фирмы Dolphin (SCI PCI64/66 Dolphin ICS, 1D- и 2D-top, D330, D337, D335);

— адаптеры сервисной сети СКИФ-ServNet.

А самым важным результатом программы «СКИФ» можно назвать восстановление и создание кооперационных связей, организацию такой команды исполнителей, которой по плечу самые сложные задачи в области суперкомпьютерных технологий. Это особенно ярко проиллюстрировал опыт создания СКИФ К-1000. В ноябре 2004 г. суперкомпьютер СКИФ К-1000 занял 98-е место в рейтинге Top500. При этом суперкомпьютеры

из «первой сотни», кроме участников программы «СКИФ», выпускали в это время только США, Япония и Китай, а многие страны Западной Европы и Азии, обладая развитой суперкомпьютерной отраслью, создавали суперкомпьютеры, входящие в Top500, но не в «первую сотню». Этот факт доказывает тезис, что к этому времени команда исполнителей программы «СКИФ» действительно достигла мирового уровня в освоении суперкомпьютерных технологий. И не использовать такой ресурс в интересах России и Беларуси было бы ошибкой.

Перспективы развития направления работ программы «СКИФ»

Дальнейшее развитие направления работ программы «СКИФ» связано с усилиями по внедрению и развитию изделий семейства СКИФ¹.

Заметим, что в системе программ Союзного государства научное направление СКИФ играет системообразующую роль — использование результатов программы «СКИФ» и взаимодополнение с ней явно предусмотрены в новых союзных программах «Космос-БР» (2004—2007 гг.) и «Триада» (2005—2008 гг.). Однако разработка суперкомпьютеров семейства СКИФ завершилась вместе с завершением программы в 2004 г. Существующие технические решения, конструкторская документация морально устаревают. Это значит, что в новых союзных программах «Космос-БР» и «Триада» не будет альтернативы закупке зарубежных суперкомпьютерных решений, если вовремя

не продолжить разработку новых моделей (ряд 3 и 4) отечественного семейства суперкомпьютеров СКИФ.

Со всей очевидностью возникает необходимость скорейшей разработки и начала исполнения новой программы, которая стала бы продолжением программы «СКИФ». Эту необходимость понимают и в правительствах России и Беларуси. В Постановлении Совета Министров Союзного государства от 21 апреля 2005 г. № 17 «Об итогах выполнения программы Союзного государства "Разработка и освоение в серийном производстве семейства высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (суперкомпьютеров) и создание прикладных программно-аппаратных комплексов на их основе"» сказано:

«Совет Министров Союзного государства постановляет:

1. Считать завершенной программу Союзного государства «Разработка и освоение в серийном производстве семейства высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (суперкомпьютеров) и создание прикладных программно-аппаратных комплексов на их основе» и одобрить представленный Национальной академией наук Беларуси и Федеральным агентством по науке и инновациям (Министерство образования и науки Российской Федерации) отчет об итогах ее реализации в 2000—2004 годах (прилагается).

2. Федеральному агентству по науке и инновациям и Национальной академии наук Беларуси подготовить и внести установленным порядком в Совет Министров Союзного государства предложение о дальнейшем развитии работ в области создания и разработки высокопроизводительных вычислительных систем в рамках Союзного государства.

3. Настоящее постановление вступает в силу со дня его подписания».

В середине 2004 г. в сотрудничестве ИПС РАН с белорусскими и российскими организациями были подготовлены такие предложения

¹ Результативность усилий по внедрению суперкомпьютеров семейства СКИФ напрямую зависит от результативности формирования в России суперкомпьютерного рынка. В более общем смысле — рынка информационно-коммуникационных технологий. Как заявил в своем выступлении на Президиуме РАН 22 марта 2005 г. министр информационных технологий и связи Л.Д. Рейман, ответственность за формирование ИКТ-рынка в России лежит на правительстве Российской Федерации.

по формированию новой суперкомпьютерной программы Союзного государства: «Разработка и использование программно-аппаратных средств Grid-технологий и перспективных высокопроизводительных (суперкомпьютерных) вычислительных систем семейства СКИФ (шифр СКИФ-Грид)», включающих четыре направления работ:

— Grid-технологии: развитие, исследование и внедрение средств высокопроизводительных вычислений на основе Grid-технологий; поддержка гетерогенных, территориально-распределенных вычислительных комплексов;

— суперкомпьютеры семейства СКИФ (ряд 3 и 4): создание суперкомпьютеров СКИФ нового поколения на базе новых перспективных процессоров и вычислительных узлов, новых технических средств системной сети, управления системой, спецвычислителей и гибридных узлов, разработка соответствующего программного обеспечения;

— защита информации: реализация (аппаратных и программных) средств защиты информации в создаваемых вычислительных комплексах;

— пилотные системы: реализация прикладных систем в перспективных областях применения создаваемых вычислительных установок, решение актуальных задач на суперкомпьютерах и Grid-системах, усилия по подготовке и переподготовке кадров в области суперкомпьютерных и Grid-технологий.

К сожалению, предложения по формированию новой суперкомпьютерной программы Союзного государства СКИФ-Грид до сих пор не согласованы российскими ведомствами (белорусские министерства и комитеты все согласования завершили еще весной 2005 г.). А без государственной поддержки продолжения научного направления программы «СКИФ» научный задел и потенциал команды исполнителей программы «СКИФ» безнадежно теряются: мировые суперкомпьютерные

технологии (см. рис. 2) развиваются «вдвое за год» по всем основным показателям. Это обстоятельство означает, что 1 год простоя приводит к потере 1/2 части нашего задела и нашего потенциала. К сожалению, сегодня уже ясно, что работы по программе «СКИФ-Грид» в 2006 г. начаты не будут. А это значит, что (как минимум) два года отставания от мирового уровня уже обеспечены.

Хочется особенно отметить поддержку наших усилий в рассмотренных здесь исследованиях и разработках со стороны академика-секретаря ОИВТС РАН, Е.П. Велихова. Автор также благодарен всем участникам суперкомпьютерной программы «СКИФ», своим коллегам из России и Беларуси: С.В. Абламейко, А.И. Адамовичу, В.В. Анищенко, Л.А. Гайдар, В.Ф. Заднепровскому, М.Р. Коваленко, А.А. Московскому, В.А. Роганову, Н.Н. Парамонову, О.П. Чижу и многим, многим другим.

Список литературы

1. TOP500 *Supercomputer Sites* — мировой рейтинг пятисот самых мощных компьютеров мира. — Информационный ресурс в сети Интернет, <http://www.top500.org/>.
2. Абрамов С.М., Адамович А.И., Инюхин А.В., Московский А.А., Роганов В.А., Шевчук Е.В., Шевчук Ю.В. *T-система с открытой архитектурой*. — В сб.: *Труды Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение» (SSA'2004)*. Минск, ОИПИ НАН Беларуси, 26—28 октября 2004 г., с. 18—22.
3. Абрамов С.М., Адамович А.И., Коваленко М.Р. *T-система — среда программирования с поддержкой автоматического динамического распараллеливания программ. Пример реализации алгоритма построения изображений методом трассировки лучей*. — *Программирование*, 1999, т. 25 (2), с. 100—107.