

Перспективы развития суперкомпьютерной программы «СКИФ»*

С.М.Абрамов, В.В.Анищенко, Н.Н.Парамонов,
В.И.Стецюренко, А.А.Московский, В.Ф.Заднепровский

В статье рассматриваются перспективы развития суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства, которая была успешно выполнена в 2000–2004 гг. Основное внимание уделено направлениям исследований в формируемой сейчас программе «СКИФ-ГРИД» (планируемые сроки исполнения: 2007-2010)

1. Введение

В данной статье дается анализ основных итогов суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства (раздел 2), рассматриваются направления развития работ в 2005–2006 годах (раздел 3) и определяются перспективы дальнейшего развития, которые закладываются в направлениях исследований программы «СКИФ-ГРИД» Союзного государства (раздел 4).

2. Итоги суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства

2.1. 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:

- Речь идет не о «чисто академическом исследовании», а о доведении дела до серийного производства. Значит, помимо исследовательских, необходимо выполнение и конструкторских работ. Необходимы: разработка в соответствии со стандартами программной и конструкторской документации (КД и ПД), прохождение в установленном порядке нормоконтроля, подготовка производства, выпуск опытных образцов, проведение предварительных и приемочных (государственных) испытаний, выпуск литерной документации (с литерами «О» и «О1») и т.п. Серийное производство означает учет требований потенциального рынка. Значит, предстояло кроме обеспечения высоких технических показателей учитывать реальную покупательную способность отечественных предприятий и учреждений, бороться за приемлемые значения цены и отношения «производительность к цене».
- Целью программы являлся не одиночный уникальный образец, а семейство моделей (Ряд 1 и Ряд 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 GFlops), до триллионов операций в секунду (до 15 TFlops).
- Недостаточно было разработать только семейство машин и базовое программное обеспечение (ПО) для них. Для того чтобы обеспечить широкое внедрение суперкомпьюте-

* Данная работа выполнена с частичной поддержкой по следующим проектам: программы «СКИФ», «Космос-СГ» и «ТРИАДА» Союзного государства; программа фундаментальных научных исследований ОИТВС РАН «Высокопроизводительные вычислительные системы, основанные на принципиально новых методах организации вычислительных процессов»; программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка фундаментальных основ создания научной распределенной информационно-вычислительной среды на основе технологии GRID»

ров семейства «СКИФ», предстояло разработать прикладные системы и даже законченные прикладные комплексы.

Программа «СКИФ» выполнялась пять лет, с 2000 по 2004 годы. В программе были определены государственными заказчиками-координаторами:

- 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 главным исполнителем программы «СКИФ» от Российской Федерации, главным 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 — по десятку предприятий от каждой страны.

2.2. Выпуск опытных образцов суперкомпьютеров семейства «СКИФ»

За пять лет исполнения программы «СКИФ» было выпущено шестнадцать опытных образцов¹ суперкомпьютеров семейства «СКИФ» [4], шесть из них было размещено в Беларуси, десять — в России. Каждый год создавались установки в широком спектре производительности. И среди них была установка с наибольшей (на текущий год) для семейства «СКИФ» Linpack-производительностью — так называемое «подсемейство Top-СКИФ» (Таблица 1).

Таблица 1. Основные показатели вычислительных установок с наибольшей для семейства «СКИФ» Linpack-производительностью на текущий год («Top-СКИФ»).

Год	Наименования	Количество и вид процессоров	Производительность, GFlops	
			Пиковая	Linpack
2000	Первенец 2 экз.: Россия и Беларусь	32×Intel Pentium III (600MHz)	20	11
2001	ВМ-5100 Беларусь	32×Intel Pentium III (1400 MHz)	45	31
2002	Первенец-М Россия	32×AMD AthlonMP 1800+ (1533 MHz)	90	57
2003	СКИФ К-500 Беларусь	128×Intel Pentium Xeon (2.8 GHz)	717	474
2004	СКИФ К-1000 Беларусь	576×AMD Opteron 248 (2.2 GHz)	2534	2032

Из таблицы 2 видно, что Linpack-производительность моделей Top-СКИФ росла из года в год почти по экспоненциальному закону и за пять лет выросла в 185 раз (с 11 GFlops до 2032 GFlops).

Из всех моделей семейства «СКИФ» особо отметим «СКИФ К-500» и «СКИФ К-1000» — эти суперкомпьютеры вошли в список [1] пятисот самых мощных компьютеров мира²:

- «СКИФ К-500» — 417 место в редакции рейтинга от ноября 2003 года;
- «СКИФ К-1000» — 98 место в редакции рейтинга от ноября 2004 года.

Существенный вклад внесли суперкомпьютеры семейства «СКИФ» в парк высокопроизводительных установок, размещенных на территории СНГ. В ноябре 2004 года семь суперкомпьютеров «СКИФ» вошли в список [3] пятидесяти самых мощных суперкомпьютеров СНГ под номерами 1, 6, 8, 20, 22, 32, 34. Суперкомпьютер «СКИФ К-1000» занимал тогда первое место в данном рейтинге³, а в целом суперкомпьютерные установки семейства «СКИФ» занимали в ноябре 2004 года в суперкомпьютерном рейтинге СНГ 14% мест, обеспечивали в данном рей-

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

² Еще только одна отечественная ЭВМ собственной разработки с пометкой self made была включена в мировой рейтинг Top500 [1] ранее — июнь 2002 года, 64 место, МВС-1000М, совместная разработка ФГУП НИИ «Квант», ИПМ им. М. В. Келдыша РАН и Межведомственного суперкомпьютерного центра (МСЦ).

³ Рейтинг Top50 [3], организован Межведомственным суперкомпьютерным центром РАН и Научно-исследовательским вычислительным центром МГУ им. М. В. Ломоносова при поддержке российской компании «Т-Платформы».

тинге четверть суммарной пиковой и одну треть суммарной Linpack-производительности. То есть, объективно эффективность (КПД) у семейства «СКИФ» была в полтора раза выше, чем в среднем по другим отечественным и зарубежным суперкомпьютерам, установленным в СНГ в ноябре 2004 года.

Необходимо подчеркнуть: шестнадцать опытных образцов создавались в рамках разработки и освоения в производство семейства подобных вычислительных установок. Эти образцы, по сути, являются «верхушкой айсберга», в основании которого лежат исследовательские и конструкторские работы, разработка в соответствии со стандартами КД и ПД, прохождение в установленном порядке нормоконтроля, подготовка производства, проведение предварительных и приемочных (государственных) испытаний, выпуск литерной документации (с литерами «О» и «О₁»). И в этой части, конечно, главный результат не эти 16 установок, а способность и готовность промышленности Беларуси и России выполнить любые заказы отечественных предприятий и организаций на вычислительные системы семейства «СКИФ».

2.3 Спецвычислители (ускорители) в установках семейства «СКИФ»

Высокая эффективность использования спецвычислителей для некоторых видов алгоритмов подвела к решению использовать спецвычислители в семействе суперкомпьютеров «СКИФ». Был изготовлен опытный образец модульно наращиваемой многопроцессорной системы (МНМС), созданный группой (под руководством чл.-корр. Каляева И.А.) разработчиков из НИИ МВС, Таганрог. Осенью 2004 года была выполнена стыковка МНМС с опытным образцом суперкомпьютерной системы ЕС1710.03 и проведены приемочные испытания комплекса.

2.4. Программное обеспечение для семейства суперкомпьютеров «СКИФ»

Огромные усилия, большая доля времени, сил и средств были потрачены в Программе «СКИФ» на разработку программного обеспечения (ПО) и литерной программной документации (ПД). Отметим, что все ПД было разработано в соответствии с требованиями ЕСПД, проведено через нормоконтроль, успешно прошло приемочные (государственные) испытания с присвоением литеры «О₁». Общий объем комплекта ПО для семейства суперкомпьютеров «СКИФ» составляет 10 дисков CD-ROM:

- 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 — см. следующий раздел).
- 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] — 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 (ЧелГУ) — 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 радио-локационных 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, в том числе:
 - ИПС РАН, Росгидромет: Модель проф. В. М. Лосева и другие метеорологические модели; ОИПИ НАН Беларуси. Республиканский Гидрометеорологический центр (РГМЦ): модели регионального прогноза погоды на 48 часов, численные методы прогнозирования погоды.
 - ИЦИИ ИПС РАН: три прикладные системы ИИ:
 - АКТИС — классификации текстов по заданным в процессе обучения классам (глубокий анализ текста, высокая релевантность).
 - INEX — извлечение знаний из неструктурированных текстов на естественном языке, заполнение заданной реляционной БД.
 - MIRACLE (система разработана на OpenTS) — инструментальная система для проектирования интеллектуальных систем.
 - ОИПИ НАН Беларуси, РНПЦ «Кардиология» и УП «НИИЭВМ»: Аппаратно-программный кардиологический комплекс; ИВВиИС: кардиологическая экспертная система реального времени «ADEPT-C».

2.5. Подготовка к серийному выпуску суперкомпьютеров семейства «СКИФ»

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

- суперкомпьютеры с производительностью до 15 TFlops — 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-тор, D330, D337, D335);
- адаптеры сервисной сети СКИФ-ServNet.

2.6. 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 ПО «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 плохообтекаемых тел.
- **Газодинамика**, в том числе: численное моделирование элементарных процессов радиационной газовой динамики.
- **Обработка результатов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ)**: 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 интеллекта (ИИ, аналитические службы, информационный сервис, наука и государственная безопасность)**: классификации 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), гиперзвуковое движение космического тела в плотных слоях атмосферы; удар астероида по поверхности Земли 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, моделирование устойчивости подземных сооружений; напряженно-деформированное состояние 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.
- **Инженерные расчеты**:
 - **Автомобильная промышленность**: расчеты конструкций карьерных самосвалов БелАЗ; расчеты столкновений транспортных средств с препятствиями; расчет 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.
 - **Иное**: моделирование деформационных процессов на земной поверхности; расчеты конструкций шахтных крепей; система охлаждения реактора и др.

3. Развитие направления работ «СКИФ» в 2005–2006 годах

В 2005–2006 годах развитие направления работ программы «СКИФ» связано с усилиями по внедрению и по развитию изделий семейства «СКИФ». В системе программ Союзного государства научное направление «СКИФ» играет системообразующую роль — использование ре-

зультатов Программы «СКИФ» и взаимодополнение с Программой «СКИФ» явно предусмотрены в новых Союзных программах «Космос-СТ» (2004–2007) и «Триада» (2005–2008).

Результаты реализации программы «СКИФ» являются существенным научно-техническим и организационным заделом для дальнейшего развития суперкомпьютерного направления, в том числе для формирования новых программ Союзного государства. Суперкомпьютеры семейства «СКИФ» — база для сформированной Национальной академией наук Беларуси и Министерством образования и науки Российской Федерации научно-технической программы Союзного государства «Развитие и внедрение в государствах-участниках Союзного государства наукоемких компьютерных технологий на базе мультимикропроцессорных вычислительных систем» (шифр «Триада»). Программа «Триада» утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 29 октября 2005 г. № 29. Данная программа объединяет приоритетные проекты, нацеленные на решение ключевых проблем использования суперкомпьютерных технологий в наиболее важных областях приложений — в первую очередь в промышленности. Здесь основным направлением развития суперкомпьютерных технологий «СКИФ» является оптимизация принятых решений с учетом специфики требований современных наукоемких технологий и конкретных приложений.

Существенно дополняется семейство вычислительных установок «СКИФ» в рамках направления программы Союзного государства «Триада», связанного с разработкой персональных кластеров на базе идеологии «СКИФ». Кластерная революция поставила во главу угла соотношение цена/производительность, причем этот показатель приобретает особое значение для персональных суперкомпьютеров. Однако, чтобы персональные кластеры действительно смогли стать «персональными», они должны обеспечить, как минимум, все те возможности, благодаря которым «персоналки» и стали незаменимым любимым вычислительным инструментом для массового пользователя:

- доступность по цене;
- дружественный интерфейс;
- развитое программное обеспечение (системное и прикладное);
- операционная среда, ориентированная на пользователей с разной профессиональной подготовкой — ОС Microsoft Windows;
- небольшие габариты и, как следствие, возможность расположения непосредственно в рабочей зоне;
- включение непосредственно в обычную розетку;
- небольшая потребляемая мощность;
- допустимый для офисных помещений уровень шума;
- круглосуточный режим работы без внешних устройств охлаждения.

В рамках программ «Триада» (и, затем, «СКИФ-ГРИД») предусматривается реализация следующих основных концептуальных технических характеристик семейства персональных кластеров:

- параллельная (кластерная) архитектура;
- программная совместимость с кластерами семейства «СКИФ»;
- работа с ОС Linux и ОС Microsoft Windows Compute Cluster Server 2003;
- реализация вычислительных узлов кластера на 64-разрядных платформах;
- использование перспективных технологий: многопоточность, многоядерность и т.п.;
- использование новых внутренних шин: PCI-Express, Hyper-Transport;
- использование перспективных сетевых решений: Gigabit Ethernet, Infiniband и др.;
- использование энергосберегающих технологий для повышения плотности вычислительной мощности и уровня энергопотребления на единицу объема;
- уменьшение количества внешних связей между вычислительными узлами и сетевыми коммутаторами;
- расширенные сервисные функции: мониторинг внутренней температуры, контроль работы системы вентиляции и др.;
- повышенная отказоустойчивость;
- использование новых конструктивных решений для размещения оборудования.

Использование ОС Windows Compute Cluster Server 2003 (Windows CCS 2003) фирмы Microsoft [5] позволяет использовать на кластерах привычную для пользователей ПЭВМ операционную среду Windows. Реализованная в Windows CCS 2003 поддержка MPI (Microsoft Message Passing Interface, MS-MPI) полностью совместима со стандартом MPI-2 [6]. Интеграция с Active Directory обеспечивает сетевую безопасность, а использование Microsoft Management Console предоставляет привычный интерфейс администрирования и планирования.

4. Перспективы дальнейшего развития: программа «СКИФ-ГРИД» Союзного государства

Самым важным результатом Программы «СКИФ» можно назвать восстановление и создание кооперационных связей, организация такой команды исполнителей, которой по плечу самые сложные задачи в области суперкомпьютерных технологий.

Последний тезис ярко проиллюстрировал опыт создания «СКИФ К-1000». В ноябре 2004 года суперкомпьютер «СКИФ К-1000» занял 98 место в рейтинге Top500. При этом суперкомпьютеры из «первой сотни», кроме участников Программы «СКИФ», выпускали в это время только США, Япония и Китай. Многие иные страны (Западной Европы и Азии) обладают развитой суперкомпьютерной отраслью и создавали в это время суперкомпьютеры, входящие в Top500, ... но не в «первую сотню»! Этот факт показывает, что на этот момент 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.

Разработка новых моделей суперкомпьютеров семейства «СКИФ» завершилась вместе с завершением программы — в 2004 году. С течением времени существующие технические решения, существующая конструкторская документация морально устареет. А это значит, что далее в новых Союзных программах «Космос-СГ» и «Триада» не будет альтернативы закупке зарубежных суперкомпьютерных решений. Если вовремя не продолжить разработку новых моделей (Ряд 3 и Ряд 4) отечественного семейства суперкомпьютеров «СКИФ».

Тем самым, со всей очевидностью есть 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.

С середины 2004 года в сотрудничестве с белорусскими и российскими организациями (Федеральному агентству по науке и инновациям и Национальной академии наук Беларуси, ИПС РАН, ОИПИ НАН Беларуси и др.) ведется формирование новой суперкомпьютерной программы Союзного государства: «Разработка и использование программно-аппаратных средств ГРИД-технологий и перспективных высокопроизводительных (суперкомпьютерных) вычисли-

тельных систем семейства "СКИФ" (шифр "СКИФ-ГРИД")». Наполнение программы было составлено с учетом более ста предложений организаций России и Белоруссии, ведущих исследования и разработки в суперкомпьютерной отрасли. Программа планируется для исполнения в 2007–2010 годах и включает четыре направления работ:

- **GRID-технологии:** развитие, исследование и внедрение средств высокопроизводительных вычислений на основе GRID-технологий; развитие, исследование и внедрение средств поддержки 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.

В целом, программа «СКИФ-ГРИД» направлена на развитие и поддержку оригинальных отечественных технологий высокопроизводительных вычислений. Поэтому акцент будет сделан не просто на заимствовании чужих решений, а на создании отечественных технологий, в том числе, с учетом и использованием зарубежного опыта.

В следующих четырех подразделах рассматриваются подробнее четыре направления работ программы «СКИФ-ГРИД».

4.1. Направление «GRID-технологии»

В направлении «GRID-технологии» программы «СКИФ-ГРИД» предполагается исполнение проектов в рамках двух мероприятий:

- **мероприятия «SO-Grid»** — создание сервисно-ориентированной грид-среды;
- **мероприятия «SKIF@Home»** — разработка и реализация средств для проведения высокопроизводительных расчетов с использованием персональных компьютеров и рабочих станций добровольцев (организаций и частных лиц).

Цели проектов мероприятия «SO-Grid» — разработка средств доступа к суперкомпьютерным ресурсам посредством грид-интерфейсов, создание сервисно-ориентированной среды для научных вычислений. При этом должны быть решены следующие задачи:

- Упрощение доступа к высокопроизводительным установкам
- Создание компонентной среды, позволяющей легко комбинировать источники данных, вычислительные приложения.

При решении данных задач будут учитываться следующие требования:

- Использование суперкомпьютеров семейства «СКИФ», как базовой платформы.
- Сервисно-ориентированная грид-среда должна использовать отраслевые стандарты (WS-I и другие).
- Требуется создать простые, дружественные пользователю, средства программирования приложений: создания сервисов, оркестрации сервисов, добычи данных.

При реализации проектов направления «SO-Grid» предполагается широкое использование стандартных свободных систем виртуальных машин виртуальных машин (VM) для разработки средств конфигурирования грид-системы, настроек и изоляции приложений друг от друга.

Цель подпроекта «SKIF@Home» — разработка и создание средств для проведения высокопроизводительных расчетов с использованием персональных компьютеров и рабочих стан-

ций добровольцев (организаций¹ и частных лиц), для того, чтобы разгрузить суперкомпьютерные установки от задач, которые могут быть решены при помощи систем типа SETI@Home [7]. При этом потребуются решить следующие задачи:

- Реализовать систему поощрения добровольцев за счет «обмена» процессорного времени персональных компьютеров на возможность доступа к суперкомпьютеру суперкомпьютерным ресурсам Грид-Полигона (описан ниже).
- Разработать дружественные пользователю средства поддержки высокопроизводительных вычислений в распределенной вычислительной среде SKIF@Home.
- Разработать «справедливую» систему распределения задач между участниками: участники могут быть заинтересованы в получении задач. Разработать систему учета времени, предоставленного каждым из участников.
- Разработать единую систему учетных записей (account) для SKIF@Home и для доступа к суперкомпьютерным ресурсам Грид-Полигона (описан ниже).
- Создать сеть SKIF@Home и за счет этого реализовать проведение высокопроизводительных расчетов с использованием компьютеров добровольцев (организаций и частных лиц).

4.2. Направление «Суперкомпьютеры семейства «СКИФ» (Ряд 3 и 4)»

В направлении «Суперкомпьютеры семейства «СКИФ» (Ряд 3 и 4)» программы «СКИФ-ГРИД» предполагается исполнение проектов в рамках двух мероприятий:

- **мероприятия «Аппаратные средства суперкомпьютеров»** — создание сервисно-ориентированной грид-среды;
- **мероприятия «Программное обеспечение»** — разработка и реализация комплектов программного обеспечения суперкомпьютеров семейства «СКИФ» (Ряд 3 и 4).
- **мероприятия «Грид-Полигон»** — разработка, реализация и сопровождение грид-системы:
 - основанной на решения, созданных в рамках направления «GRID-технологии»;
 - объединяющей кластеры и суперкомпьютеры семейства «СКИФ»;
 - являющейся платформой для разработок направления «Пилотные системы».

Цели проектов мероприятия «Аппаратные средства суперкомпьютеров» — разработка оригинальных отечественных решений для суперкомпьютеров семейства «СКИФ», создание суперкомпьютеров «СКИФ» (Ряд 3 и 4) нового поколения на базе новых перспективных процессоров и вычислительных узлов, новых технических средств системной сети, управления системой, спецвычислителей и гибридных узлов. В первые два года задачами проектов данного мероприятия будут:

- Обеспечение платформы для прикладных систем и для построения Грид-Полигона за счет кластерных систем на базе многоядерных процессоров и многопроцессорных узлов.
- Изготовление опытного образца крупной кластерной системы (60–80 TFlops).
- Накопление технологий для высокопроизводительных кластерных систем и систем следующего поколения. В том числе, освоение в отечественном производстве конструктивов основанных на «лезвиях» (blade), сетевых решений класса Infiniband и т.п.

В третий и четвертый годы целью проектов мероприятия «Аппаратные средства суперкомпьютеров» будут обеспечение технологической независимости и накопление задела для дальнейшего развития отечественной суперкомпьютерной отрасли, а задачами:

- разработка платформ на низкопотребляющих процессорах или «системах на кристалле»;
- создание технологии, масштабируемой до уровня производительности 1 PFlops;

¹ Одна из потенциальных целевых групп сети SKIF@Home — вычислительные классы ВУЗов: ВУЗ может быть заинтересован предоставить свои компьютеры взамен доступа к суперкомпьютеру суперкомпьютерным ресурсам Грид-Полигона (описан ниже).

- поиск перспективных платформ для высокопроизводительных вычислений по критериям: соотношение «производительность/потребляемая мощность», обеспечения лучшей масштабируемости и плотности компоновки по сравнению с обычными кластерами;
- создание опытного образца на выбранной аппаратной платформе.

Цели проектов мероприятия **«Программное обеспечение»** — разработка и реализация комплектов программного обеспечения суперкомпьютеров семейства «СКИФ» (Ряд 3 и 4). При этом должны быть решены следующие задачи:

- **Разработка комплекта базового программного обеспечения** кластеров и суперкомпьютеров «СКИФ». Создание набора программного обеспечения, обеспечивающего основные потребности пользователей кластеров и суперкомпьютеров «СКИФ»: операционная система, гипервизор, средства администрирования, средства мониторинга, набор тестов производительности и т.п. Предполагается по возможности использовать существующее программное обеспечение с открытыми исходными текстами. Стандартный комплект базового программного обеспечения призван унифицировать работу с разными вычислительными установками семейства «СКИФ».
- **Разработка инструментальных средств и технологий параллельного программирования:** языки, библиотеки, средства оптимизации и т.п. В перспективе хотелось бы разработать среду для переносимого параллельного программирования (единый код для многоядерного процессора, SMP, кластера, грид, GPU и т.п.). Цели данного направления:
 - Упрощение создания параллельного программного обеспечения, в том числе для нестандартных аппаратных решений (см. развитие задела по аппаратным средствам на 3-4 годах программы)
 - Повышение масштабируемости прикладных программ.
- **Разработка средств и технологий для реализаций кластеров виртуальных машин.** Создание технологии, позволяющей загружать один образ виртуальной машины на узлы кластера, иметь несколько «виртуальных кластеров» на одном физическом. При этом из виртуальной машины должен быть обеспечен эффективный доступ к быстрой сети (interconnect) кластера. Цели данного направления:
 - Упрощение управление конфигурацией кластера
 - Динамическое управление ресурсами, виртуализация ресурсов, поддержка грид-вычислений.

Цели проектов мероприятия **«Грид-Полигон»** — для проведения расчетов, развития пилотных прикладных систем предусматривается разработка, реализация и сопровождение грид-системы:

- основанной на решения, созданных в рамках направления «GRID-технологии»;
- объединяющей кластеры и суперкомпьютеры семейства «СКИФ»;
- являющейся платформой для разработок направления «Пилотные системы».

К этому же мероприятию относятся практические работы по развертыванию, поддержке и эксплуатации системы SKIF@Home.

4.3. Направление «Защита информации»

Направление «Защита информации» программы «СКИФ-ГРИД» предусматривает разработку, реализацию и применение средств обеспечивающих информационную безопасность создаваемых систем семейства «СКИФ», в том числе и территориально-распределенных систем, использующих публичные сети для взаимодействия узлов системы. В рамках данного направления белорусские исследователи планируют и другие разработки: средства контроля НСД, защита от съема информации и т.п.

4.4. Направление «Пилотные системы»

Результаты направлений «GRID-технологии», «Суперкомпьютеры семейства “СКИФ” (Ряд 3 и 4)» и «Защита информации» не могут быть представлены и оценены без реализации пилотных проектов на основе этих результатов. Цель направления «Пилотные системы» — демонстрация возможностей создаваемых суперкомпьютерных установок, программного обеспечения, грид-технологий и средств защиты информации. На базе анализа предложений, поступивших на этапе формирования программы «СКИФ-ГРИД», был составлен возможных проектов этих пилотных (список проектов будет уточняться по ходу программы):

- Высокопроизводительные вычисления в научных приложениях: новые материалы, биоинформатика, геоинформатика: моделирование свойств наноматериалов, молекулярное моделирование для биосистем (докинг); грид-сервисы для работы с распределенными архивами текстовых документов (поиск, анализ, каталогизация), комплекс грид-сервисов хранения и обработки медицинских изображений и сопутствующей клинической информации.
- Проектирование новых инженерных систем с использованием грид-технологий, например — моделирование канала «Спутник-станция управления»: системы схемотехнического моделирования микросхем на транзисторном уровне, поддержка проектирования новых электронных устройств; решение нелинейных трехмерных обратных задач вычислительной диагностики и волнового зондирования, моделирование системы передачи информации, цифровая обработка сигналов, вихревая динамика.
- Моделирование и прогнозирование свойств окружающей среды. Выявление новых закономерностей на основе накопленных данных и моделей, без дополнительных измерений, в том числе в интересах прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций: добыча данных (data mining) об окружающей среде, прогноз последствий аварий на АЭС.

Заключение

Выполнение суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства (2000–2004 годы) позволило восстановить кооперационные связи и организовать команды исполнителей, способной решать самые сложные задачи в области суперкомпьютерных технологий. Авторы надеются, что в рамках программы «СКИФ-ГРИД» эта кооперация будет расширена и за счет решения запланированных задач будут созданы отечественные суперкомпьютерные технологии, обеспечивающие независимость (в необходимой мере) от закупки импортных суперкомпьютерных средств и должный уровень развития собственных средств высокопроизводительных вычислений для отечественной науки, различных отраслей экономики и органов государственного управления. Кроме того, авторы надеются, что данная статья позволит довести до научной общественности цели и направления исследований и разработок программы «СКИФ-ГРИД» и, возможно, найти новых участников и партнеров в планируемых работах.

Литература

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. Т-система с открытой архитектурой // Труды Международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение. SSA'2004», 26–28 октября 2004 г. Минск, ОИПИ НАН Беларуси, с. 18–22
3. Список 50 наиболее мощных компьютеров СНГ // Информационный ресурс в сети Интернет, <http://www.supercomputers.ru>
4. Абламейко С.В., Абрамов С.М., Анищенко В.В., Парамонов Н.Н., Чиж О.П. Суперкомпьютерные конфигурации СКИФ. Мн.: ОИПИ, 2005. — 170 с.

5. Windows Compute Cluster Server 2003 // Информационный ресурс в сети Интернет, <http://www.microsoft.com/windowsserver2003/ccs/default.mspx>
6. Message Passing Interface Forum // Информационный ресурс в сети Интернет, <http://www.mpi-forum.org/>
7. SETI@home — Search for ExtraTerrestrial Intelligence at home, Поиск внеземного разума на дому // Информационный ресурс в сети Интернет, <http://setiathome.berkeley.edu/>