

удк 519.68

С. М. Абрамов

ИЦМС ИПС РАН: ретроспективный обзор исследований за 1994–2004 годы

Аннотация. В данной работе рассмотрены научные работы, выполненные в Исследовательском центре мультипроцессорных систем Института программных систем Российской академии наук (ИЦМС ИПС РАН) в 1994–2004 годах и основные результаты этих работ.

Ключевые слова и фразы: Мультипроцессорные системы, технологии для региональных компьютерных сетей, образовательные сетевые ресурсы и сетевые сообщества, метавычисления и функциональное программирование, теории инвариантов узлов и вложенных кривых.

Введение

Исследовательский центр мультипроцессорных систем Института программных систем Российской академии наук является одним из крупных научных подразделений ИПС РАН. Конечно, в год двадцатилетия Института программных систем Российской академии наук можно было бы ожидать выпуск обзора научной деятельности ИЦМС ИПС РАН за весь период существования Института, за все двадцать лет. Именно такая задача и ставилась автором в начале работы над данной статьей. Однако, очень быстро стало ясно, что *очень тяжело* охватить в одном обзоре все исследования, выполненные в ИЦМС ИПС РАН за *такой большой* период времени. Как следствие статья охватывает более скромный отрезок времени: от предыдущего юбилея Института до нынешнего — с 1994 по 2004 год.

В этот период в ИЦМС ИПС РАН работы велись по пяти направлениям, обзорам которых будут посвящены отдельные разделы работы:

- (1) Программное обеспечение мультипроцессорных систем, теория и методы автоматического динамического распараллеливания программ, аппаратные средства мультипроцессорных вычислительных систем — см. раздел 1, — в основном

данные исследования ведутся силами сотрудников лаборатории *программных систем с параллельной архитектурой* (лаборатория ПСПА).

- (2) Экономически эффективные технологии построения региональных компьютерных телекоммуникационных сетей, система телекоммуникаций Переславля-Залесского (СТ «Ботик») — см. раздел 2, — данные работы выполняются сотрудниками лаборатории *телекоммуникаций «Ботик»* (лаборатория «Ботик»).
- (3) Образовательные сетевые ресурсы и сетевые сообщества, телекоммуникации и вычислительная техника в педагогике и психологии — см. раздел 3, — данные исследования ведутся лабораторией *дистанционного образования «Учком»* (лаборатория «Учком»).
- (4) Метавычисления, функциональные языки программирования и компьютерная алгебра, языки и системы программирования Рефал и Flac — см. раздел 4, — это направления работы лаборатории *автоматизации программирования* (лаборатория АП).
- (5) Исследования в областях математики и математической физики, связанных с проблемами теории инвариантов узлов и вложенных кривых, теории динамических систем, уравнений магнитной гидродинамики (с приложением к активным процессам в атмосфере Солнца) — см. раздел 5, — эти работы выполнялись в лаборатории *задач малых размерностей* (лаборатория ЗМР).

Несмотря на разнообразие работ, исполняемых в Центре, тематики различных лабораторий на самом деле тесно переплетены. Так, например, теоретические исследования лаборатория ЗМР сочетала с компьютерными расчетами, что обеспечивало сильную связь работ лаборатория ЗМР с работами лабораторий АП (компьютерная алгебра) и ПСПА (практическое использование высокопроизводительной техники и Т-системы).

1. Программное обеспечение и аппаратные средства мультипроцессорных систем

Тематика высокопроизводительных вычислений и мультипроцессорных систем была одной из основных тематик Института. Если

угодно — исследования в этом направлении были одной из целей создания Института. В работах по данной тематике можно выделить несколько этапов:

- 1984–1992 гг.: участие ИПС РАН в разработке программного обеспечения для мультипроцессора с динамической архитектурой (МДА) ЕС 2704¹.
- 1990–1995 гг.: работы с транспьютерными системами, участие ИПС РАН в Российской транспьютерной ассоциации; начало исследований и первых экспериментов, в том направлении, которое в дальнейшем приведет к созданию Т-системы.
- 1994–1998 гг.: поиск и реализация решений для компонент первых версий Т-системы, в качестве аппаратной базы используются различные сети из ПЭВМ — начиная с самодельных сетей на базе «ускоренного RS-232» (до 1 Mbit/s) и собственных коммутирующих устройств для таких связей; заканчивая кластером на базе FastEthernet (100 Mbit/s).
- 1998–1999 гг.: развитие первой версии Т-системы, налаживание кооперации с коллегами из Минска, формирование суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства.
- 2000–2004 гг.: период исполнения суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства, в которой ИПС РАН определен как головной исполнитель от Российской Федерации.

Ниже остановимся на некоторых результатах, полученных в данных работах.

1993–1994 годы. Работа с транспьютерными системами накладывает свой отпечаток на исследования: ведется разработка алгоритмов маршрутизации сообщений в транспьютерных сетях (многое заимствуется из работ с ЕС 2704 [1–5]), развивается теория расчета оптимальной конфигурации мультипроцессорной системы по заданному составу вычислительных модулей. В последнем случае речь идет о минимизации транзитных передач, устойчивости к отказам и обеспечении равномерности загрузки каналов. Оказывается, что при заданной «валентности» вычислительных узлов транспьютерной сети, то

¹Спецпроцессор Единого Семейства ЭВМ, оригинальная отечественная разработка ЛНИИВЦ АН СССР и НИЦЭВТ [6].

есть, при заданном числе каналов в узле транспьютерной сети², оптимальной конфигурацией являлись *графы с минимальным диаметром*. Отметим, что традиционные архитектуры (многомерные торы, гиперкубы, деревья и т. п.) сильно уступают графам с минимальным диаметром по устойчивости к отказам, поддержке равномерности загрузки каналов и минимизации транзитных передач. Для исследования графов с минимальными диаметрами был реализован комплекс программных средств (лаборатория ПСПА и ЗМР).

В сотрудничестве лабораторий ПСПА и «Ботик» в это время ведутся исследования по возможности ускорения связи ПЭВМ при помощи RS-232, разработано и реализовано коммутационное оборудование для связи между собой ПЭВМ класса IBM PC.

1995 год. В рамках работ по транспьютерной тематике была выполнена разработка оригинальной интерфейсной платы для IBM PC на основе транспьютера T425 (Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В., Позлевич Р. В.). Разработанная плата [9] обеспечивает сопряжение персонального компьютера с аппаратурой на основе транспьютеров: с вычислительной транспьютерной сетью или с аппаратурой сбора экспериментальных данных на базе транспьютеров. Интерфейс с компьютером был построен по принципу разделяемой памяти — это решение обеспечило скорость передачи данных до 5 Мбайт/сек на шине ISA, что приблизительно *на порядок превосходило параметры* всех существовавших в то время транспьютерных плат, использующих метод программного обмена через интерфейсный чип C011.

В это же время был завершен перенос [7] свободного компилятора GNU C Compiler на архитектуру транспьютеров семейств T4, T8 и T9 (Шевчук Ю. В.). Интересно отметить, что заключительная отладка и тестирование компилятора была осуществлена в удаленном режиме на установке GCel фирмы Parsytec в High Performance Computing Laboratory в Афинах (Греция). Тестирование показало, что по качеству генерируемого кода компилятор не уступает коммерческому компилятору ACE, входящему в состав ОС Parix. Показательно, что эти результаты почти десятилетней давности до сих пор пользуются успехом и разработанной системе посвящен раздел в архиве «Internet Parallel Computing Archive» [8].

²В каждом транспьютере, как правило, поддерживалось 4 канала, однако, существовали транспьютероподобные системы с иным количеством каналов в узле.

В 1995 году впервые четко сформулированы базовые принципы Т-системы — системы программирования, обеспечивающей автоматическое распараллеливание программ на этапе выполнения программ в мультипроцессорных вычислительных системах с распределенной памятью [10, 11] (Абрамов С. М., Нестеров И. А., Суслов И. А., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В., Позлевич Р. В., Адамович А. И.). В качестве входного языка системы рассматривались диалекты известных языков программирования, с небольшим количеством дополнительных специальных конструкций и функционально-ориентированных ограничений [12]. Возможность автоматического распараллеливания основывается на представлении вычислений в виде автотрансформации вычислительной сети, состоящей из процессов и обрабатываемых данных. Выполнена первая экспериментальная реализация Т-системы.

Было выполнено исследование применимости методов автоматического распараллеливания к основным алгоритмам вычислительной математики (Нестеров И. А., Суслов И. А.). Показано, что представление характерных для вычислительной математики структур данных возможно на основе специальных списковых структур, используемых при реализациях Т-системы, что не приводит к существенной потере производительности [13].

Первые прототипные программные реализации для экспериментов с Т-системой создавались в среде MS DOS. Именно в 1995 г. начались работы по использованию ОС Linux и локальных сетей UNIX-станций в качестве платформы для Т-системы (Адамович А. И., Позлевич Р. В., Шевчук Ю. В.). Была разработана сетевая компонента Т-системы, обеспечивающая возможность распределенной загрузки задачи и внутризадачного обмена управляющими и информационными сообщениями.

1996–1997 годы. Продолжая разработку рабочей версии Т-системы, решены все основные вопросы по реализации ядра системы.

Для управления звеньевой памятью был разработан алгоритм таблично-страничной компактирующей сборки мусора, являющийся модификацией алгоритма «катящихся таблиц» (Адамович А. И.). Новый алгоритм сохраняет преимущества метода «катящихся таблиц» — отсутствие необходимости отводить дополнительный указатель для каждого элемента данных, хранимых в звеньевой памяти,

но избавляется от основного недостатка — потенциально невысокой эффективности.

Для поддержки отладки T-программ пришлось решать проблему отсутствия повторяемости трассы вычислений от запуска к запуску, обусловленной асинхронным характером взаимодействия компонент T-системы. Был разработан метод отладки, основанный на принципе «повторения трассы выполнения» (Адамович А. И.).

Версия ядра T-системы, разработанная с использованием найденных алгоритмов и методов, была опробована и отлажена в процессе реализации реальной параллельной задачи построения реалистических изображений виртуальных сцен методом трассировки лучей. Был проведен эксперимент по выполнению данной задачи в монопроцессорном режиме, а также на локальной сети (10Base-2) из четырех одинаковых однопроцессорных ПЭВМ, работающих под управлением ОС Linux (Адамович А. И., Коваленко М. Р.). Результаты счета на одном, двух, трех и четырех процессорах показывают, что при низком (1.5-3%) уровне накладных расходов (по сравнению с традиционной непараллельной реализацией) T-система обеспечивает для данной задачи линейный рост производительности в зависимости от числа процессоров [13–17].

1998 год. В начале 1998 года был реализован программно-аппаратный мультипроцессорный комплекс (см. рисунок 1), в котором использовались различные по конфигурации вычислительные узлы (всего 24 процессора Intel PPro-200 и P-II-266, пиковая производительность 5,6 GFlops, RAM 1.4 GB, HDD 70.4 GB).

Заметим, что вычислительные узлы данной установки были первыми компьютерами в ИПС РАН с архитектурой SMP. Данная техника позволила разработать и поддержать в T-системе различные платформы класса «IP-сеть из Intel-совместимых компьютеров с ОС Linux, в том числе с SMP-архитектурой». Весной того же года на языке Рефал Плюс был реализован первый компилятор для T-языка — это было негладкое синтаксическое расширение языка C. Так была завершена разработка первой стабильной прототипной версии T-системы.

За первые полгода опытной эксплуатации в ИПС РАН мультипроцессорного комплекса (см. рисунок 1) с T-системой были реализованы 10 задач из различных прикладных областей, имеющих различную алгоритмическую природу [14, 15, 17]. На данных задачах были

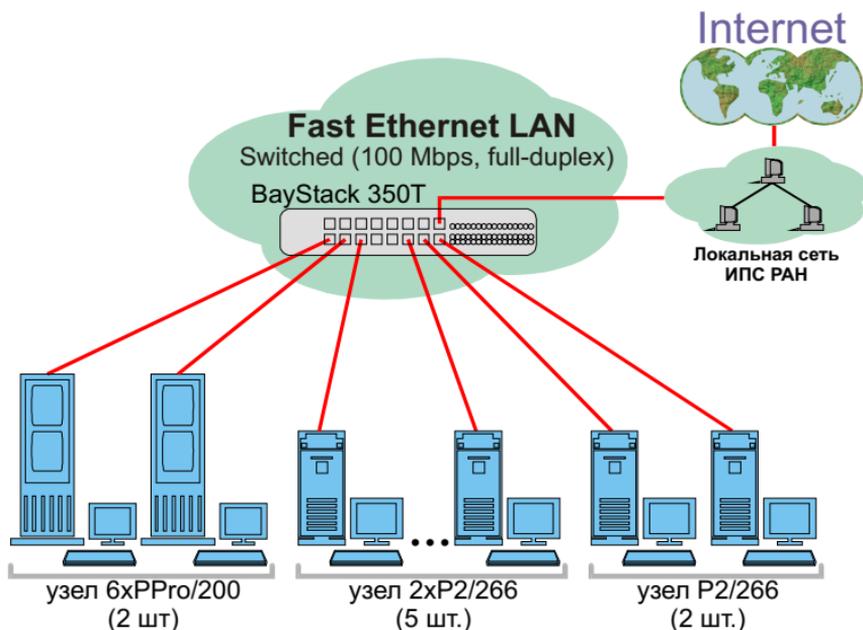


Рис. 1. ИПС РАН, 1998 год, высокопроизводительный вычислительный комплекс

исследованы свойства T-системы и практически продемонстрированы важнейшие свойства данного подхода к организации параллельных вычислений:

- T-система автоматически распараллеливает выполнение T-программ, при этом для многих алгоритмов достигается почти линейный рост производительности при росте числа процессоров (от 1 до 24);
- разработанные на T-языке задачи могут выполняться (без переписывания, перекомпиляции или иных других модификаций) на мультипроцессоре с произвольной аппаратной конфигурацией.

Тем самым T-система позволяет снизить затраты на разработку параллельных программ (автоматизация распараллеливания), увеличить глубину параллелизма и более полно использовать возможности аппаратной части мультипроцессора (за счет распараллеливания в динамике).

В мае 1998 года состоялись первый визит в Минск в НПО «Кибернетика» НАН Беларуси и первые контакты с белорусскими коллегами по тематике высокопроизводительных вычислений. В Минске присутствовали представители московской фирмы «Суперкомпьютерные системы» (СКС) и сотрудники ИПС РАН (Абрамов С. М. и Коваленко М. Р.). Фирма СКС демонстрировала макетный образец однородной вычислительной среды (ОВС), изготовленный на базе микросхем, выпущенных на предприятии «Интеграл» (Минск). Представители ИПС РАН демонстрировали Т-систему и прикладные Т-программы. Обе демонстрации получили положительную оценку у Президента НАН Беларуси Войтовича А. П.

Для более подробного изучения возможной кооперации был назначен ответный визит, который состоялся 5–12 июня 1998 года. В конце визита Войтович А. П., Айламазян А. К. и Татур В. Ю. подписали 12 июня 1998 года трехстороннее соглашение о кооперации в области высокопроизводительных вычислений. Это был первый шаг к формированию суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства.

После возвращения в Минск, Войтович А. П. доложил главе Республики Беларусь о результатах первых контактов и о возможном сотрудничестве между Россией и Беларусью в суперкомпьютерной отрасли. Эти идеи нашли горячую поддержку на высшем государственном уровне Беларуси. Было выделено целевое финансирование, создан временный научный коллектив, целью которого было исследование всех аспектов возможного сотрудничества и формирование (подготовка) совместной программы «СКИФ» Союзного государства³. К концу 1998 года временный научный коллектив завершил свою работу, текст совместной программы «СКИФ» был сформирован. После этого весь 1999 год ушел на согласование программы в министерствах и ведомствах. С осени 2000 года началась реальная работа по выполнению Программы «СКИФ».

³Полное наименование: «Разработка и освоение в серийном производстве семейства моделей высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (суперкомпьютеров) и создание прикладных программно-аппаратных комплексов на их основе».

1999 год. Для поддержки эффективной работы T-системы на SMP-узлах разработана и реализована система управления разделяемой памятью, обладающая следующими особенностями:

- процессы операционной системы, реализующие единое приложение, разделяют виртуальные адресные пространства не полностью, а только частично — в отличие от стандартных POSIX-совместимых реализаций систем поддержки легких процессов;
- когерентное размещение сегментов разделяемой памяти в виртуальное адресное пространство процессов может осуществляться динамически.

Данное свойство позволяет экономно использовать ресурс сегментов разделяемой памяти ОС, общее количество которых ограничено.

В это же время продолжались развитие T-языка, программирование в T-системе демонстрационных и реальных прикладных задач (в сотрудничестве с лабораторией ЗМР), опытная эксплуатация кластера (рисунок 1).

В таком инициативном порядке работы по T-системе развивались до конца лета 2000 года — до начала финансирования суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства.

2000–2004 годы, период исполнения суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства. Первые пять лет нового века работы лаборатории ПСПА проходили в рамках исполнения суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства.

Институт программных систем Российской академии наук является головным исполнителем по программе «СКИФ». Работы по созданию аппаратных и программных средств для семейства суперкомпьютеров «СКИФ» ИПС РАН ведет в тесном сотрудничестве с исполнителями от Республики Беларусь и с основными исполнителями Программы со стороны России:

- ОАО «Научно-исследовательский центр электронно-вычислительной техники» (НИЦЭВТ, Москва);
- Центр научных телекоммуникаций и информационных технологий (ЦНТК РАН);
- НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова;
- Институт высокопроизводительных вычислений и информационных систем (ИВВиИСб С-Пб.);

- Российский НИИ региональных проблем (РосНИИ РП, Переславль-Залесский)
- Фирма «Суперкомпьютерные системы» (СКС, Москва).

Суперкомпьютерной программе «СКИФ» посвящено достаточно много публикаций. Поэтому в данной работе будет дан самый краткий обзор результатов и приведены ссылки на соответствующие публикации.

Во время выполнения Программы «СКИФ» были разработаны две новые версии Т-системы (в сотрудничестве с МГУ им. М. В. Ломоносова):

- GRACE (1999–2002 гг.) — версия [18–20], поддерживающая в качестве базового Т-языка синтаксически-гладкое расширение языка С. Система в 2002 году прошла приемочные (государственные) испытания с присвоением литеры О₁.
- OpenTS (2003–2004 гг.) — Т-система с открытой архитектурой, реализованная в виде надстройки (суперструктуры) над языком С++. Завершение разработки и прохождение приемочных испытаний для OpenTS запланировано в 2004 году.

Остановимся еще на двух разработках, выполненных в ИЦМС ИПС РАН в рамках Программы «СКИФ» — речь идет об *отладчике TDB* и о *сервисной сети* для кластерных установок.

Отладчик MPI-программ TDB создавался как некоммерческая альтернатива отладчику TotalView. То есть, при разработке ставилась цель поддержать в TDB все возможности отладчика TotalView. Это удалось в достаточно полной мере. Кроме того, в TDB предусмотрен расширенный сервис при отладке Т-программ. Первая версия отладчика TDB успешно прошла приемочные (государственные) испытания (3–6 декабря 2002 года, г. Минск) с присвоением литеры О₁. В настоящее время выполняются работы по расширению возможностей отладчика TDB.

Разработка сервисной сети [25] для кластерных систем семейства «СКИФ» выполнено силами лабораторий ПСПА и «Ботик». Разработка интересна тем, что удалось небольшим аппаратным изделием поддержать достаточно богатый набор возможностей. Характеристики управляющей сети приведены в таблице 1. С помощью управляющей сети кластера можно:

- селективно включать и отключать питание на любом узле;

Интерфейс взаимодействия адаптера с узлом:	RS232
Скорость обмена с узлом:	9600 бит/с
Интерфейс с взаимодействия адаптера с шиной УС:	RS-485
Скорость обмена по шине RS-485:	115200 бит/с
Максимально возможная скорость обмена по шине RS-485:	250000 бит/с
Максимально допустимая длина шины УС при скорости обмена по шине 115200 бит/с:	1000 м
Максимально допустимая длина шины УС при скорости обмена по шине 57600 бит/с:	1200 м
Максимально допустимая длина шины УС при максимальной скорости обмена:	500 м
Максимальное количество адаптеров на шине УС:	127
Ток, потребляемый адаптером УС (не более):	150 mA

ТАБЛИЦА 1. Основные технические характеристики управляющей сети (УС) кластера «СКИФ»

- селективно выполнить аппаратный сброс любого вычислительного узла;
- селективно осуществлять виртуальное подключение к порту RS232 узла, а это, в свою очередь, обеспечивает взаимодействие с узлом кластера в консольном режиме *Linux serial console*, а также возможность удаленной работы в режиме BIOS Setup, если BIOS узла поддерживает взаимодействие через последовательный интерфейс.

Возможность удаленного доступа с управляющей станции на сериальную консоль узла позволяет реализовывать разнообразные функции управления узлом:

- (1) Упомянутые выше возможность работы с *Linux serial console* вычислительного узла и удаленной работы в режиме *BIOS Setup*.
- (2) *Возможность управления загрузчиком (LILO) операционных систем вычислительного узла.* На сериальную консоль может быть сконфигурировано управление LILO и, если на узлах установлено несколько различных операционных систем, то можно с управляющей станции выбрать тип ОС,

загружаемой на каждом узле и таким образом на всем кластере (или на части узлов) может быть загружена та или иная ОС (из предустановленных на узле).

(3) *Возможность менять параметры загрузки ядра Linux на каждом узле.*

- Пример 1: загрузка альтернативного ядра Linux:

```
LILO boot: vmlinuz.old
```

- Пример 2: загрузка в однопроцессорном режиме:

```
LILO boot: nosmp
```

(4) *Возможность «посмертного» просмотра некоторого количества последних строк (до 4 Кбайтов), выведенных на серийную консоль. При «зависании» вычислительной системы, когда уже не работают ни системная, ни вспомогательная сети кластера, в независимой памяти адаптера управляющей сети сохраняется информация о состоянии системы перед «зависанием». Таким образом, с управляющей станции можно восстановить картину последних «мгновений жизни» вычислительной системы и понять причину сбоя.*

Основные результаты суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства. В 2000–2003 гг. получены следующие результаты [21–24]:

- Разработана конструкторская документация (КД) и образцы высокопроизводительных систем «СКИФ» Ряда 1, которые прошли приемочные (государственные) испытания. По результатам государственных испытаний конструкторской документации присвоена литера О₁.
- Разработано базовое программное обеспечение кластерного уровня (ПО КУ) и ряд прикладных систем суперкомпьютеров «СКИФ» Ряда 1. Данное ПО прошло приемочные (государственные) испытания. На испытания выносилось более двадцати программных систем, среди них:
 - модифицированное ядро операционной системы Linux-SKIF (ИПС РАН и МГУ);
 - модифицированные пакеты параллельной файловой системы PVFS-SKIF и системы пакетной обработки задач OpenPBS-SKIF (ИПС РАН и МГУ);
 - мониторинговая система FLAME-SKIF кластерных установок семейства «СКИФ»;

- стандартные средства (MPI, PVM) поддержки параллельных вычислений, 12 адаптированных пакетов, библиотек и приложений (ИПС РАН и МГУ);
- Т-система и сопутствующие пакеты: Т-ядро, компилятор tgcc, пакет tcmode для редактора Xemacs, демонстрационные и тестовые Т-задачи (ИПС РАН и МГУ);
- отладчик TDB для MPI-программ (ИПС РАН);
- две первые прикладные системы, разрабатываемые по программе «СКИФ»: одна для автоматизации проектирования химических реакторов (ИВВиИС, СПб.), другая, созданная с использованием технологий ИИ, для классификации большого потока текстов (ИЦИИ ИПС РАН).

По результатам испытаний данным программным системам ПО КУ «СКИФ» присвоена литера О₁.

- В ОАО «НИЦЭВТ» подготовлена производственная база, проведена разработка КД и освоены в производстве адаптеры (N330, N337, N335) системной сети SCI, которые являются полными функциональными аналогами адаптеров SCI компании Dolphin (D330, D337, D335).
- В 2000–2003 гг. построено 12 опытных образцов и вычислительных установок Ряда 1 и Ряда 2 семейства «СКИФ»⁴. Самую высокую производительность из них имеет установка «СКИФ К-500»: пиковая производительность составляет 716.8 Gflops, реальная производительность — 471.6 Gflops (на задаче Linpack, 65.79% от пиковой). На 2004 год запланирован выпуск еще двух моделей суперкомпьютеров, самый мощный из них «СКИФ К-1000» ожидается со следующими показателями: пиковая производительность около 2.6 Tflops (ожидаемая реальная производительность на задаче Linpack: 1.7 Tflops).

Начаты работы по инженерным расчетам на системах семейства «СКИФ» и по созданию единого информационного пространства программы «СКИФ». В рамках приемочных (государственных) испытаний сверх программы и методики испытаний были показаны первые результаты в этом направлении:

⁴В том числе предприятием «Суперкомпьютерные системы» (Москва) совместно с НИИ ЭВМ (Минск) изготовлен и экспериментальный гибридный макет, в котором кластерный уровень сочетается с вычислительными модулями ОВС.

- продемонстрированы результаты исследований, связанных с построением метакластерной распределенной вычислительной структуры на базе сети Интернет и трех кластерных систем «СКИФ» в г. Переславле-Залесском (ИПС РАН), г. Москве (НИИ механики МГУ) и в г. Минске (ОИПИ НАН Беларуси), подтверждающие функциональность и хорошие перспективы использования T-системы в качестве базы для создания высокоуровневой среды поддержки подобных конфигураций;
- проведена проверка режима удаленного доступа из г. Минска к ресурсам одного из ведущих в области механики жидкости и газа инженерных пакетов STAR-CD, установленного на суперкомпьютере «СКИФ» в г. Переславле-Залесском (ИПС РАН);
- проведена проверка режима удаленного доступа из г. Минска с помощью Web-интерфейса к ресурсам программного комплекса для расчета процессов в PECVD-реакторах, установленного на суперкомпьютере «СКИФ» в г. Переславле-Залесском (ИПС РАН);
- показаны результаты использования ведущего в области механики деформируемого твердого тела инженерного пакета LS-DYNA, установленного на суперкомпьютере «СКИФ» в г. Минске (УП «НИИ ЭВМ»).

В Программе «СКИФ» было предусмотрено и мероприятие, связанное с подготовкой и переподготовкой кадров для работы с высокопроизводительными установками семейства «СКИФ». В рамках данного мероприятия летом 2002 и 2003 годов в Переславле-Залесском проведена студенческая школа-семинар по Программе «СКИФ», с участием студентов и аспирантов из России, Белоруссии, Украины. На различных секциях школы студенты занимались инженерными расчетами и программированием на T-системе. В последние дни работы школ проводились конференции, где каждый участник докладывал о результатах, полученных в рамках школы. Подготовлены цифровые видеозаписи всех занятий школы-семинара, пригодные для использования при чтении лекций по T-системе или инженерным расчетам.

1.1. Перспективы развития суперкомпьютерного направления работ в ИЦМС ИПС РАН. Дальнейшие работы данного направления связаны со следующими обстоятельствами и усилениями:

- Т-система с открытой архитектурой оказалась удобной для реализации GRID-технологий и GRID-сервисов. Тем самым, дальнейшее развитие и самой Т-системы и областей ее использования тесно связано с проектами GRID, в том числе с исследованиями, выполняемыми в данном направлении в Российской академии наук.
- Также в рамках академических проектов будут продолжаться работы по вопросам информационной безопасности кластерных вычислительных установок и по перспективным аппаратным средствам для высокопроизводительных вычислений.
- Начаты работы по формированию суперкомпьютерной Программы «СКИФ-2» Союзного государства с рабочим названием: «Разработка и использование программно-аппаратных средств GRID-технологий и перспективных высокопроизводительных (суперкомпьютерных) вычислительных систем семейства «СКИФ»».

2. Технологии построения региональных компьютерных телекоммуникационных сетей

Совместная (ИПС РАН и Российский НИИ региональных проблем Минобразования РФ) лаборатория телекоммуникаций «Ботик» выполняет работы:

- (1) по созданию экономически эффективных технических (аппаратных, программных) решений для построения региональных сетей (масштаба город-район) — в компьютерной прессе разработанный комплект технических решений называли «Ботик-технологиями»;
- (2) по созданию, сопровождению и развитию региональной компьютерной сети города Переславля-Залесского — системы телекоммуникаций «Ботик» (СТ «Ботик»), как полигона для экспериментальной и опытной эксплуатации, доводки «Ботик-технологий»;

(3) по передаче «Ботик-технологий» в другие регионы России и СНГ.

В начале создания СТ «Ботик» предназначалась для обслуживания ИПС РАН и РосНИИ РП. Сегодня данная система является основным средством доступа к городским компьютерным ресурсам и к сети Интернет для большинства предприятий и учреждений города, для сотен горожан.

Эпоха UUCP. Работы в области телекоммуникаций начались в ИЦМС ИПС РАН в начале 1990-ых годов. Это был период, когда в России не было еще TCP/IP-сетей и телекоммуникации развивались только в форме UUCP-сетей с поддержкой электронной почты, BBS- и FIDO-систем. Лидерами в этих работах, пожалуй, была группа «Релком» из Курчатовского института. В силу давних связей (на почве исследований UNIX-подобных операционных систем) ИПС РАН с группой «Релком» стали одними из первых участников разворачиваемой UUCP-сети «Релком».

1994–1995 года. Завершение эпохи UUCP-сетей и начало работ с TCP/IP-сетями совпали по времени с появлением в России первых ПЭВМ с процессорами Intel 80386. В ИЦМС ИПС РАН новые возможности были использованы для осуществления перевода большей части разработок в среду ОС Linux.

В 1994 году было выполнено подключение локальной сети Института к глобальной сети Internet по выделенному телефонному каналу Переславль-Залесский – Москва к академической сети г. Москвы (Абрамов С. М., Позлевич Р. В., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В.). Работа была сопряжена с кропотливым исследованием характеристик различных участков канала, поиском «слабого звена», изначально не позволяющего использовать выделенную линию на высоких скоростях передачи данных. В конце концов низкокачественный участок (узел связи М-5 – здание Президиума Академии наук) был найден, и проблема была решена путем разработки, изготовления и установки в здании узла связи Москва-М-5 специализированного усилителя сигнала (Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В.). После этого удалось поднять скорость в канале до 19.2–21.6 Кбит/сек.

Введение в эксплуатацию выделенного телефонного канала Переславль-Залесский – Москва (сеть EmNet/NIS) обеспечило Институту и другим организациям Переславля-Залесского доступ к сети Интернет [26, 27]. В то же время (2004 год) был организован сервер World

Wide Web (www.botik.ru) для представления в сети работ сотрудников Института и другой информации об ИПС РАН.

1996 год. В рамках реализации проекта «Сеть российских университетов (RUNNet)» было предусмотрено создание одного из узлов сети RUNNet в Переславле-Залесском. Земная станция спутниковой связи (ЗССС) «Калинка» была развернута на крыше здания ИПС РАН зимой 1995–1996 годов. Космический канал (64 Кбит/с) связал Переславль-Залесский и Санк-Петербург («Вузтелекомцентр», главный узел сети RUNNet).

Интересно отметить, что комплект ЗССС «Калинка» для Переславля-Залесского был последним в первой очереди проекта RUNNet, и комплект был не полным — не хватило маршрутизатора фирмы Cisco. Это обстоятельство только подстегнуло исследования в направлении ПК-роутеров — реализации маршрутизаторов на базе ОС Linux, аппаратуры номенклатуры IBM PC и собственных аппаратных и программных разработок [28–30]. Эти спонтанные разработки затем вылились в сознательное накопление экономически эффективных сетевых решений, базирующихся на использовании IBM-совместимых персональных ЭВМ под управлением ОС Linux в качестве роутеров, терминальных серверов, мостов Ethernet, центральных серверов различных телематических служб и т. д. Используя данные решения была развернута компьютерная сеть института с протоколом TCP/IP; практически все научные сотрудники института получили доступ к e-mail и Веб-ресурсам Интернет непосредственно с рабочего места.

Для утилизации емкости сразу обоих каналов — 64 Кбит/с в сеть RUNNet и 21.6 Кбит/с в сеть EmNet/NIS — пришлось изучать тонкости глобальной маршрутизации, организовывать собственную автономную систему (AS5572, BOTIK, Scientific & Educational Network of Pereslavl-Zalessky).

1997–1999 годы, Гражданская сеть «Ботик». Зимой–весной 1997 года произошло сразу несколько значительных событий в истории работ лаборатории «Ботик»⁵:

- Началось использование RadioEthernet и оптоволоконных линий для передачи данных (10 Base-FL) в компьютерной сети города Переславля-Залесского.

⁵См. <http://www.botik.ru/970301/geo.koi8.html>.

- Был создан первый сегмент гражданской сети города Переславля-Залесского, то есть первый сегмент высокоскоростных (10 Мбит/с, 10 Base-T) постоянных подключений компьютеров в квартирах граждан к городской сети с выходом в сеть Интернет.

К весне 1997 года первые 4 жилых дома и детский сад-начальная школа «Почемучка» ИПС РАН были «опутаны» витопарной компьютерной сетью (10 Мбит/с, 10 Base-T), 31 квартира и локальная сеть детского сада получили высококачественный доступ к Сети⁶. Всего система тогда обслуживала 254 компьютера, 143 из которых имели постоянное высокоскоростное подключение, 50 — постоянное низкоскоростное (через модем), а 61 — сеансовое модемное подключение.

С этого момента начались работы и исследования, направленные на разработку аппаратных и программных решений, организационных мер и сетевой политики, для обеспечения продвижения в Переславле-Залесском (а затем и в других регионах России и СНГ) того, что в дальнейшем назовут «Гражданскими сетями» [31, 35]. Речь идет о компьютерных сетях, которые предоставляют на некоторой территории возможность высокоскоростного постоянного подключения к Сети всем жителям и всем предприятиям на данной территории, реализуя принцип «Сеть для всех, по разумной и доступной цене».

Особое значение в этих работах уделялось снижению цены создания сегментов сети и расходов во время эксплуатации системы:

- В 1997 году были разработаны, отлажены и опубликованы технические решения по аппаратным и программным средствам ПК-роутера, что включало оригинальный способ организации «нерушимой» файловой системы и собственной сторожевой таймер (Watchdog) собственной разработки [29].
- В 1998 году завершена разработка законченного комплекта программного обеспечения для городских компьютерных сетей, включающего систему администрирования сети NAdmin. Данная система позволяет минимизировать эксплуатационные расходы на обслуживающий сеть персонал: большое число операций по эксплуатации сети в NAdmin автоматизировано или переложено с высококвалифицированных

⁶См. <http://www.botik.ru/970301/polnet.koi8.html>.

системных администраторов на средний технический персонал.

- В 1999 году созданы технические решения эффективной реализации высокоскоростных (10..1 Мбит/с) каналов передачи данных средней дальности (до 2..3 км) без использования оптических линий со стоимостью кабельного оборудования на уровне \$0.5...1/метр и стоимостью оконечного оборудования на уровне \$60 («удлинённый Ethernet» и «ускоренный RS-232»).

В ноябре 1997 года был опубликован Веб-сайт [32] с подробным описанием всех наших технических решений [33, 34, 36] для построения городских компьютерных сетей. С этого момента началась *передача Ботик-технологий* в другие регионы России и СНГ. Здесь имеется в виду и копирование документации с нашего Веб-сайта и прямые контракты на передачу технологий, в рамках которых мы помогали подбирать местный персонал, проводили теоретическую подготовку персонала и практическое обучение, шеф-монтаж первых участков сети и последующий авторский контроль. Первыми такими проектами передачи технологий стали Гражданские сети Алматы (www.samal.ru, 1998 г.) и Москвы (www.urbannet.ru, 1999 г.).

2000 год. Дальнейшее развитие получили технологии для городских сетей: разработаны решения для создания магистральных линий (10 Мбит/с) длиной до 1 км без использования оптоволоконных кабелей⁷. Существенно развиты методы грозозащиты на «медных» магистральных линиях. Разработаны и внедрены в практику решения по изготовлению необходимых магистральных и абонентских кабельных решений на отечественных заводах. За счет этого на порядки снижены расходы на прокладку магистральных линий (от \$0.18/м до \$0.25/м вместо \$4–10/м, при использовании оптоволоконных решений) и абонентских окончаний (около \$0.11/м).

На новых решениях выполнен проект существенного расширения СТ «Ботик» («Ботик-2000»): введено в эксплуатацию 12 км магистральных линий (10 Мбит/с), магистралью охвачено дополнительно 55 зданий города. Расширен и полностью сменен состав внешних каналов СТ «Ботик» — введены в эксплуатацию канал 256 Кбит/с (Яртелеком) и однонаправленный спутниковый канал (1.5 Мбит/с, http, HeliosNet). Проект «Ботик-2000» еще раз продемонстрировал, что на

⁷См. <http://www.botik.ru/~botik2000/add-tech/>.

базе Ботик-технологий можно экономически эффективно (без внешнего финансирования) строить городские высокоскоростные компьютерные сети, предоставляя учреждениям, организациям и жителям (подключение квартир) постоянные высокоскоростные (10 Мбит/с) подключения к городской сети с выходом в Интернет.

В 2000 году выполнена передача Ботик-технологий в город Раменское (Московская область, www.aviel.ru).

2001–2004 годы. Начиная с 2000 года каждый год (до сего дня) наблюдается экспоненциальное развитие системы телекоммуникаций «Ботик»: все основные количественные показатели (число подключений, объем передаваемых данных и т. п.) за год возрастают примерно в 1,5 раза. Сегодня, в начале 2004 года, к сети подключено более 2 000 компьютеров у 702 абонентов: 99 организаций и 603 частных лиц. Система обслуживала практически все учреждения науки и образования города, ряд медицинских учреждений, большинство коммерческих предприятий, органы самоуправления, сотни горожан, предоставляя всем высококачественный сетевой доступ: 85% подключений, как в организациях, так и в частных квартирах, являются высокоскоростными постоянными подключениями: 100/10 Мбит/сек, Ethernet.

Продолжались работы по совершенствованию Ботик-технологий. В 2001 году была завершена разработка так называемого *коммутирующего модуля для оптоволоконной магистрали*. Модуль разработан с поддержкой устойчивости к низкому качеству электропитания в районных центрах России. Учитывались большой разброс напряжения в сети, частые и длительные перерывы в электропитании. Изготовлено двенадцать таких модулей, и вся оптоволоконная магистраль системы (от села Веськово на юго-западе, до завода «Славич» на северо-востоке системы) модернизирована с применением данных модулей [37].

Как результат, сегодня магистраль является единым сегментом коммутируемого Fast Ethernet и обеспечивает связь «каждый-с-каждым» для 12 магистральных узлов системы со скоростью 100 Мбит/с. Коммутирующие узлы способны поддержать работоспособность магистрали даже если в течение суток будут 16-ти-часовые перерывы в подаче электропитания — для их работы достаточно наличия в течение 8 часов в сутки любого (с отклонением от стандартов) электропитания.



Характеристики коннективности

12 магистральных роутеров
(по результатам $12 \times 11 = 132$
измерений «каждый-с-каждым»)

Характеристика	min	avg.	max
Потери (%%)	0	0	0
Задержка (RTT, мсек)	1.4	3	7
Bandwidth (FTP, КВ/с)	1,030	2,403	5,608

Рис. 2. Модернизированная оптическая магистраль СТ «Ботик» и ее технические характеристики

В 2001 году произошло существенное улучшение во внешней коннективности системы «Ботик»: в дополнение к имеющимся каналам (канал 256 Кбит/с в Яртелеком и однонаправленный спутниковый канал 1.5 Мбит/с, http, HeliosNet) построен выделенный канал связи с емкостью 2 Мбит/с из Переславля-Залесского в Москву (М9, стойка ЦНТК РАН).

Описанные выше работы — модернизация магистрали СТ «Ботик» и построение выделенного канала в Москву, — выполнялись в рамках суперкомпьютерной Программы «СКИФ» Союзного государства. Цель данных работ: обеспечение надежного высокоскоростного доступа к суперкомпьютерным установкам «СКИФ» в ИПС РАН для всех участников Программы «СКИФ» Союзного государства и для других заинтересованных учреждений науки и образования в России и Беларуси.

Перспективы. Развитие исследований, выполняемых в лаборатории телекоммуникаций «Ботик» связано и с ожидаемым завершением сразу нескольких проектов развития Ботик-технологий. Отрадно отметить, что в этих проектах эффективно участвует восемь студентов Университета города Переславля-Залесского им. А. К. Айламазяна: Бурчу С. В., Гумин М. В., Ермилова Е. В., Жбанов П. Г., Карлаш А. В., Кузнецов А. А., Нестеров А. С., Парменова В. В.

В последних подразделах текущего раздела перечислены проекты развития Ботик-технологий в 2003–2004 годах.

Новая версия сторожевого таймера. В 2003 году завершена разработка новой версии сторожевого таймера (watchdog) на базе микроконтроллера Atmel AVR AT90S2313. В новой версии данного изделия, кроме значительно уменьшенных габаритов, бросается в глаза значительно улучшенные эксплуатационные свойства:

- в состав сторожевого таймера включены собственная кнопка, светодиод и миниатюрный динамик (для звуковых сигналов), тем самым, поддержана установка изделия в бескорпусные ПК-роутеры;
- управление изделием осуществляется одной кнопкой;
- предусмотрен звуковой сигнал-предостережение о сбросе за 30 секунд до сброса;
- упрощено подключение, реализована нечувствительность к полярности подключения разъемов RESET и светодиода;
- интерфейс с компьютером реализован через разъем IRDA (совместимость с различными типами материнских плат);
- улучшенная технологичность изделия (однослойная печатная плата, монтаж на поверхность).

Создание нового поколения ПК-роутеров. Частично данный проект завершен. Разработан ПК-роутер нового поколения с улучшенными характеристиками:

- снижено электропотребление изделия (в целом: 10–15 Ватт);
- сильно снижено потребление (и тепловыделение) ЦПУ, процессор устанавливается без вентилятора (элемент частых отказов);
- HDD с механически-подвижными частями (элемент частых отказов) заменен на FLASH-память 128 МБ с ATA-интерфейсом;
- температурный режим контролируется термодатчиками на процессоре и материнской плате;
- ОС Debian GNU/Linux, версия ядра 2.4.x;
- ПК-роутер безкорпусной, оснащается новой версией сторожевого таймера;
- используется штатный блок питания (с единственным вентилятором во всем изделии).

Указанный ПК-роутер внедрен и находится в опытной эксплуатации в СТ «Ботик». Предусмотрена постепенная замена всех ПК-роутеров в СТ «Ботик» на ПК-роутеры нового поколения.

Завершается разработка собственного блока электропитания для ПК-роутера. Данный блок питания будет без вентилятора, со встроенным аккумулятором, который должен поддерживать автономную работу в перерывах электропитания до 30 минут. Ожидаемый срок завершения данного проекта: май 2004 года.

Создание новой версии программного обеспечения для городских компьютерных сетей. Пять лет эксплуатации предыдущей версии программного обеспечения (ПО) для городских сетей вскрыли некоторые недостатки данного ПО. Накопился список желаемых улучшений и в части административной системы NAdmin и в других компонентах ПО. С целью реализации данных улучшений в 2003 году был начат широкомасштабный проект создания новой версии ПО для городских сетей, который включает в себя:

- подсистему поддержки IP-телефонии в СТ «Ботик»;
- новую версию административной системы NAdmin [39];
- модифицированную мониторинговую систему MON [42];
- новую версию ПО для серверов услуги «Web-hosting» [40];
- специализированную ГИС BotikMap [39, 41];
- новую версию ПО для ПК-роутеров;
- систему борьбы с нежелательной (вирусы, SPAM) почтой ClearMail.

Большая часть (а точнее: все, кроме пары последних) из перечисленных компонентов должны быть разработаны и внедрены в опытную эксплуатацию в 2004 году.

Создание простейших устройств, управляемых по TCP/IP. С 2003 года на базе микроконтроллеров Atmel семейства AVR разрабатывается устройство с условным именем EtherBox, допускающее несколько модификаций для тех или иных применений. Базовое свойство данного устройства состоит в том, что оно имеет порт 10 Base-T, поддерживает подмножество семейства протоколов TCP/IP, имеет свой собственный TCP/IP-адрес. Возможны следующие применения различных модификаций изделия EtherBox:

- подключение EtherBox-а к коммутаторам и концентраторам в сети с целью мониторинга и диагностики — для EtherBox-а можно выполнять стандартное ping-тестирование;
- подключение изделия EtherBox к некоторым видам недорогих неуправляемых коммутаторов позволяет поддерживать

для них различные режимы управления по ТСР/IP (считывание статистики по портам, управление режимами портов и т. п.), которые, как правило, доступны только для существенно более дорогих изделий;

- несложно поддержать варианты EtherVox-а, в которых будет предусматриваться возможность подключения внешних устройств-датчиков (съем показаний различных приборов в интересах, например, жилищного хозяйства города), или различных исполнительных механизмов.

В основном (первые две модификации изделия) данная разработка должна быть завершена весной 2004 года.

Создание коммутирующих модулей для витопарных магистралей. Собственный блок электропитания с аккумулятором (разрабатываемый по проекту «Создание нового поколения ПК-роутеров»), недорогой неуправляемый коммутатор FastEthernet, изделие EtherVox с поддержкой мониторинга (ring-тест) и управления портами коммутатора и стандартный вандало-защищенный контейнер в совокупности дадут новое изделие: недорогой коммутирующий модуль для витопарных магистралей, устойчивый к некачественному электропитанию, поддерживающий мониторинг и гибкое управление портами.

Создание маршрутизирующего модуля для сельских беспроводных компьютерных сетей. В 2004 году на базе ПК-роутера нового поколения должен быть разработан модуль для сельских беспроводных компьютерных сетей. Модуль должен поддерживать создание пролетов магистральных радиосетей между селами (11–54 Мбит/с, до 10–15 км) и организацию круговой соты для беспроводного подключения абонентов в населенном пункте (11 Мбит/с, радиус соты до 5–6 км). Модуль должен быть пригоден к установке на вышках и высотных сооружениях (вандалоустойчивость, термоизоляция и терморегуляция, устойчивость к осадкам и конденсату), быть устойчивым к низкому качеству электропитания.

3. Образовательные сетевые ресурсы и сообщества

Лаборатория дистанционного образования «Учком» ИЦМС ИПС РАН выполняет свои исследования в таких областях, как образовательные сетевые ресурсы и сетевые сообщества, телекоммуникации и

вычислительная техника в педагогике и психологии, непрерывное и дистанционное образование.

Rep-Web, психологические ресурсы в Интернет. Первые работы⁸ по технологии извлечения знаний и развития когнитивного пространства личности, основанной на представлении когнитивных структур в WWW [43–45] датированы 1996 годом (Патаракин Е. Д., Травина Л. Л., Голубев А. В.). В последующих работах (1997–1998 годы) рассматривался перенос гуманитарных знаний и практик в среду электронных коммуникаций [46, 47, 57]. Было показано, что такой перенос облегчает освоение информационных технологий. Результаты были внедрены в практику центров начального, среднего, высшего и дополнительного образования.

Дальнейшее развитие данное направление получило в 2001 году, когда была разработана концепция психологической экспериментальной интернет-лаборатории «RepWeb» (Травина Л. Л.) и разработана технология построения психологического исследования в Интернет-среде, спроектированы и реализованы пилотные проекты: «Экспертиза знаний изучающих японский язык», «Представление о своем имидже у руководителей крупных российских интернет-компаний», «Групповая система конструкторов, отражающая представления о преподавателях» [48, 49].

Образовательные ресурсы в Интернет. Достаточное количество усилий лаборатории «Учком» уделяла разработке образовательных Веб-сайтов [50–55].

В 1999 году была предложена и реализована на конкретных примерах технология организации учебных виртуальных классов на базе веб-серверов учебных и художественных центров, были разработаны следующие ресурсы.

Монография «Учебные путешествия на Ботике». В этой сетевой книге⁹ изложены результаты исследований по проблеме использования компьютерных коммуникаций в непрерывном обучении в рамках программы «Информационные технологии в образовании». Наряду с коммуникационными проектами, реализованными в учебных заведениях — Университет, Межшкольные центры, школа, детский сад, летние компьютерные и экологические школы, — в книге

⁸Грант РФФИ № 96-06-80615, 15.33.

⁹См. <http://uchcom.botik.ru/educ/book/>.

представлены проекты, реализованные при взаимодействии информатики с такими областями, как современное искусство, театр, экология, психология, искусственный интеллект.

Сайт «Интернет-студия начальной школы». В материалах¹⁰ особое внимание уделено методам организации и оценки международных коммуникационных проектов. В 1999 году данный проект был отмечен наградами двух конкурсов среди образовательных Веб-сайтов.

Сайт «Учебно-консультационный центр по проведению межрегиональных и междисциплинарных проектов». Ресурс¹¹ ориентирован прежде всего на преподавателей и членов неправительственных экологических организаций. Проект поддержан Институтом Устойчивых Сообществ.

Веб-сайт «Природа Переславского края». Данный сайт¹² разработан и поддерживается в сотрудничестве с естественно-историческим отделом Переславль-Залесского историко-архитектурного и художественного музея. Публикация в сети Интернет материалов из фондов отдела природы музея служит не только распространению уникальной естественно-научной информации среди широкого круга пользователей сети, но и представляет собой ценный материал для преподавателей и школьников для подготовки к урокам по различным предметам естественно-научного цикла. Главным образом материалы сайта ориентированы на школьный курс «Краеведение Переславского района» для 8–9 классов, по которому в настоящее время не существует даже учебника. Сайт может быть рекомендован также для поддержки курсов «Общая экология» для 9–10 классов, «Человек и природа в фольклоре» для 5–6 классов, рекомендованных Советом по экологическому образованию при Президиуме Российской академии образования.

Веб-сайт «Сюжетно-иконографический справочник Апокалипсис Троицкого собора Данилова монастыря в Переславле-Залесском». Данный сайт¹³ разработан при поддержке Института Открытое общество — Фонд Сороса и совместно с Университетом города Переславля. Сайт посвящен описанию росписи Троицкого собора (1662–

¹⁰См. <http://why.botik.ru/>.

¹¹См. <http://www.uic.nnov.ru/pustyn/>.

¹²См. <http://uchcom.botik.ru/nature/>.

¹³См. <http://uchcom.botik.ru/Apocalypse/>.

1668 гг.), которая является одним из наиболее значительных памятников культуры Верхнего Поволжья. По полноте пересказа сюжета роспись Троицкого собора может быть сопоставлена только с лицевыми Апокалипсисами того времени. Каждая сцена снабжена подписью, отсылающей зрителя к определенной главе Откровения Иоанна Богослова. Переславский Апокалипсис интересен, в первую очередь, как иконографический источник. Поэтому сайт реализован в виде сюжетно-иконографического справочника, дающего возможность подробно ознакомиться с программой этой уникальной росписи и сравнить ее с другими известными памятниками. Сайт зарегистрирован на сервере «Музеи России».

Веб-сайт «Виртуальная театральная мастерская». Материалы¹⁴ отражают опыт сетевого сотрудничества ИПС РАН и французской школы Искусств в 1997–1999 году. Проект продолжает свое развитие благодаря поддержке Института Открытое общество — Фонда Сороса.

В 2001 году были разработаны (Гузилова Г. В.) сайт по краеведению «Природа Переславского края» и информационный учебный сайт локальной сети школы для сопровождения учебного курса на примере курса начальной профессиональной подготовки старшеклассников «Информационные технологии в делопроизводстве» [54, 55].

3.1. Компьютерные лагеря и сетевые сообщества. Персонал лаборатории «Учком» принимал участие во многих компьютерных лагерях различной направленности, проводимых как в окрестностях Переславля-Залесского, так и в других регионах. Одним из ярких событий данной работы было проведение в 2000 году проекта «Лагерь 2000». В рамках проекта «Лагерь 2000» создана межрегиональная сеть российских летних школ, технически объединенных электронными коммуникациями, а содержательно связанных общими проектами.

В дальнейшем опыт проведения компьютерных лагерей был использован для изучения сетевых сообществ. В 2001 году была разработана (Патаракин Е. Д.) типология сетевых сообществ, созданы и опробированы программные агенты, поддерживающие развитие сетевых образовательных сообществ [56–62].

¹⁴См. <http://www.osi.nnov.ru/~pat/>.

4. Метавычисления, функциональные языки программирования

Работы лаборатории «Автоматизации программирования» можно условно разбить на следующие направления:

- метавычисления и суперкомпиляция;
- функциональные языки программирования: Рефал, Флас;
- системы компьютерной алгебры: САС, DoCON.

Метавычисления и суперкомпиляция. Термин *метавычисления* означает раздел теории и практики программирования, связанный с построением конструктивных метасистем — метапрограмм над программами, — и, за счет этого, реализации условий для метасистемных переходов (эволюции) в «мире программ», реализации конструктивных и эффективных методов анализа, вычисления и преобразования программ. Заметим, что Кондратьев Н. В., организатор и первый руководитель лаборатории АП, автоматизацию программирования понимал именно как всемерное развитие методов метавычисления (в том числе — суперкомпиляции) и внедрение их в практику программирования.

Работы в области суперкомпиляции для языка программирования Рефал имели для некоторых сотрудников ИЦМС ИПС РАН давнюю предысторию: Кондратьев Н. В. и Абрамов С.М. под руководством профессора Турчина В. Ф. занимались данными исследованиями еще в далекие 1970-ые годы. И в стенах ИПС РАН данные работы выполнялись в тесном сотрудничестве с проф. Турчиным В. Ф., который в эти годы проживал в США и работал на факультете информатики Городского колледжа Нью-Йорка¹⁵.

В данных работах ведущую роль играл Немытых А. П., в разные годы принимали участие Абрамов С. М., Козадой В. Ф., Конышев А. П., Пинчук В. А., Чмутов С. В., Чмутова Н. А.

Суперкомпиляция [63–67] является одним из методов метавычислений, мощной техникой преобразования программ. Ближайшие аналоги (частичные вычисления, deforestation, частичная дедукция, смешенные вычисления) являются более изученными методами, но суперкомпиляция стала более мощным инструментом, при помощи которого можно решить не только решаемые другими методами задачи, но и более сложные. Суперкомпиляция является некоторым видом

¹⁵Computer Science Department, the City University of New York.

абстрактной интерпретации, где используется не только полная информация (как в частичных вычислениях) о некоторых аргументах, но и частичная информация. Результаты работ по суперкомпиляции, полученные в ИЦМС ИПС РАН, неоднократно докладывались на международных конференциях и семинарах в Переславле-Залесском, Новосибирске, New York (США), Copenhagen (Дания), Dagstuhl Castle (Германия).

Данные работы были поддержаны ГКНТ РФ (проект № 2468, «Автоматическое преобразование программ», 1997–1998 гг.) и грантом фонда «The U.S. CRDF», грант № RM1-254, 1997–1998 гг.

По направлению «суперкомпиляция для языка Рефал» в 1994–1993 годах выполнялась разработка основных принципов суперкомпиляции. В 1995 году был разработан метод расширения входного языка суперкомпилятора с плоского диалекта языка Рефал до строгого Рефала (за счет матасистемного перехода), была на практике продемонстрирована способность суперкомпилятора из наивного алгоритма поиска неизвестного образца фиксированной длины автоматически сгенерировать алгоритм Кнута-Морриса-Пратта. В том же году был разработан метод автоматического построения программы, решающей обратную задачу по отношению к заданной программе, разработан язык рекурсивного описания информации о данных специализируемой программы, поддерживающий рекурсивное использование суперкомпилятора [64, 65]. В 1996 году был разработан метод регулярной аппроксимации функциональных программ для их более эффективной специализации [66]. В 1998 году был разработан функциональный язык Мета-Рефал, ориентированный на метавычисления и реализацию формальных преобразователей программ, реализована первая версия компилятора из Мета-Рефал в язык Рефал. В языке синтаксически поддерживаются как метапеременные, так и метакодировка [67]. В 1999 году суперкомпилятор для языка Рефал был доведен до «промышленной версии» (Scp4¹⁶): в качестве входных программ он принимал любые реальные программы на языке Рефал-5. В 2000 году суперкомпилятор Scp4 получил дальнейшее развитие: разработана и реализована первая версия компилятора из языка Рефалграфов (язык внутреннего представления программ в суперкомпиляторе Scp4) в язык программирования C (компилятор оптимизирует функции с «хвостовой» рекурсией и позволяет повысить временную эффективность результата суперкомпиляции, в среднем, в пять раз).

¹⁶См. <http://www.botik.ru/pub/local/scp/refal5/>.

Кроме работ по суперкомпиляции для языка Рефал в ИЦМС ИПС РАН проводится серия работ по общим вопросам метавычислений и их применений в теории и практики программирования (Абрамов С. М.) в рамках которых формулируются и исследуются *новые понятия теоретических основ информатики*:

- инверсное вычисление программ, инверсная семантика, инверсное программирование, повышение эффективности инверсных вычислений [72, 73, 78, 81–84];
- окрестностный анализ и его применение, окрестностное тестирование программ [68–71, 74, 75];
- нестандартные семантики, нестандартные диалекты языков программирования, модификаторы семантик, метавычисления (инверсные вычисления, окрестностный анализ, суперкомпиляция) как примеры нестандартных семантик, использование специализации (суперкомпиляции) для эффективной реализации нестандартных семантик [76, 77, 79, 80].

К области метавычислений относятся и работы 1995 года Пименова С. П. [85, 86], в которых рассматривается связь между специализацией программ и параллельными вычислениями в среде T-системы. Данные работы можно считать предвестниками сегодняшних исследований в ИЦМС ИПС РАН на близкую тему [87].

Функциональные языки программирования: Рефал, Флас.

Разработка систем программирования для функциональных языков было одним из традиционных направлений работ лаборатории АП. В разные годы здесь выполнялись реализации на различных платформах таких языков как: Микро-Пролог, RL, Рефал-6, Флас и др.

В рамках работ по суперкомпиляции для языка Рефал в 1994–2004 годы велось сопровождение (Немытых А. П.) системы программирования Рефал-5 и перенос ее на различные платформы¹⁷: Linux, Windows95/98, Windows-NT, MS-DOS, OS/2 .

В 1991–1992 году лаборатория АП сотрудничает с основными разработчиками языка и системы программирования Рефал Плюс [88, 89], а с 1994 года сопровождение и развитие данной разработки выполняется в ИЦМС ИПС РАН (Козадой В. Ф., Абрамов С. М., Немытых А. П.). В 1995 году выполнен перенос реализации Рефал Плюс в среду операционной системы Linux, выполнены работы по расширению системы в сторону поддержки двух языков: Рефала Плюс и Флас.

¹⁷См. <http://www.botik.ru/pub/local/scp/refal5/>.

Система Флас+Рефал Плюс поддерживалась для различных платформ: MS DOS, MS DOS/Protected Mode, OS Linux.

Сегодня данный проект продолжен в работах, связанных с новым подходом к реализации системы программирования Рефал Плюс для различных платформ (включая и мультипроцессорные системы) [90–92].

Системы компьютерной алгебры: CAS, DoCON. Выполнение серии работ по системам компьютерной алгебры CAS и DoCON заняло более десяти лет (Мешвелиани С. Д.).

В начале 1990-ых годов на языке программирования Флас был разработан прикладной пакет компьютерной алгебры CAS [93], который затем (1994–1993 гг.) был переведен в среду системы программирования Флас+Рефал Плюс. Эти работы стали основой для разработки программы Построитель алгебраических областей (DoCon).

Построитель алгебраических областей (DoCon) [94, 95] является результатом применения функционального программирования и так называемого «категорного подхода» в вычислительной алгебре [95]. Задание вычислений в такой системе основано на том, что всякий конструктор области («Многочлен», «Дробь», «Вектор» и др.) рассматривается как алгоритмический функтор, то есть как функтор, порождающий некий стандартный набор алгоритмов для набора операций (+, −, ×, ...) для области назначения через алгоритмы соответствующего (возможно, другого) набора действий областей, данных функтору.

В 1995 году в качестве платформы для реализации пакета DoCon был выбран современный язык функционального программирования Haskell. На нем была написана первоначальная версия «Построителя алгебраических областей» [94].

Дальнейшее развитие пакета¹⁸ и выпуск (1998|–2003 года) очередных версий пакета DoCon-2 [93] связано с:

- усовершенствованием архитектуры, основанной на правиле «описание области — в элементе области»;
- расширением математической библиотеки (например, реализацией программы разложения на множители многочленов двух переменных над конечным полем коэффициентов методом Григорьева Д. Ю.).

¹⁸См. <http://www.botik.ru/pub/local/Mechveliani/docon/>.

Программный пакет DoCon-2, как средство для символьных вычислений в научных исследованиях, установлен на машине международного центра ресурсов вычислительной алгебры Unite' Mixte de Service MEDICIS¹⁹.

К данной разработке примыкает и реализация проекта стандартной библиотеки²⁰ основной алгебры VAL-0.01 для языка программирования Haskell, в которой предложены средства модификации существующей библиотеки алгебры языка Haskell при использовании его для программирования математических приложений (Мешвелиани С. Д.).

5. Исследование задач малой размерности

В лаборатории *задач малых размерностей* проводились исследования в областях математики и математической физики, связанных с проблемами теории инвариантов узлов и вложенных кривых, теории динамических систем, уравнений магнитной гидродинамики (с приложением к активным процессам в атмосфере Солнца).

Теория инвариантов узлов и вложенных кривых. Теория инвариантов Васильева является бурно развивающейся областью маломерной топологии. Суть ее состоит в том, что инварианты узлов разбиваются (градуируются) на счетное число подпространств, занумерованных натуральными числами — порядком инварианта. Одной из самых актуальных задач этой области является определение размерностей пространств инвариантов порядка n . Эта задача оказалась довольно сложной и полностью она не решена и сегодня.

1995 — 1997 годы. Первая оценка сверху $((n - 1)!)^2$ для размерностей пространств инвариантов порядка n была получена в 1995 году (Дужин С. В., Чмутов С. В., Каишев А. И., Швачко В. А.). Тогда же была установлена связь инвариантов Васильева с функциями Татта для графов, получена новая интерпретация явных формул для инвариантов Арнольда вложенных кривых и новая формула для сферических кривых. Разработано несколько компьютерных программ для вычислений, связанных с инвариантами Васильева и Арнольда [96–98].

¹⁹См. <http://www.medicis.polytechnique.fr>.

²⁰См. <http://www.botik.ru/pub/local/Mechveliani/basAlgPropos>.

Затем оценка сверху размерностей пространств инвариантов порядка n дважды улучшалась, сначала К. Ng (USA), затем А. Stoimelow (Germany, верхняя оценка $n!/e^{pn}$).

До работ, выполненных в лаборатории ЗМР (Дужин С. В., Чмутова С. В.) [96, 97, 99], наилучшая нижняя оценка равнялась n^2 . В указанных работах авторами была исследована структура примитивного пространства инвариантов Васильева узлов. Используя инварианты, возникающие из алгебры Ли gl_N , показано, что с ростом n указанная размерность растет быстрее любого многочлена от n . Точнее, была получена нижняя оценка $n^{\log n}$.

Подготовленный на эту тему препринт немедленно получил широкое распространение и мировое признание. Он послужил толчком к целому ряду научных исследований, в которых принимали участие такие математики как О. Дасбах (Дюссельдорф, Германия), А. Стоименов (Берлин, Германия), Я. Кнайслер (Бонн, Германия), М. Концевич (Париж, Франция), Й. Ронг (Вашингтон, США). Результатами такой бурной атаки явилось, с одной стороны, улучшение нашей оценки до примерно e^{pn} , а с другой стороны, более полное и детальное изучение тонких алгебраических структур на примитивном пространстве инвариантов Васильева.

1998 год. Введена алгебра, порожденная регулярными трехвалентными графами по модулю некоторого семейства соотношений (Дужин С. В., Чмутов С. В., Каишев А. И., Мешвелиани С. Д.). Выяснена связь этой алгебры с теорией инвариантов узлов конечного порядка. При помощи вычислений на мультипроцессорном кластере (см. рисунок 1) найдена система образующих и соотношения между ними в малых размерностях [100, 101]. Программа была реализована на T-языке, и она оказалась хорошим тестовым примером тестирования и исследования текущей (1998 год) версии T-системы.

2001–2002 годы. Разработана программа (Каишев А. И.) для нахождения окрестности «второй совершенной» формы в полиэдре Вороного [102]. Найдена оценка снизу числа неэквивалентных форм-соседей и числа неэквивалентных граней-стенок в размерностях 9–12. Проверены известные результаты в меньших размерностях.

Другие исследования. Кроме теории инвариантов узлов и вложенных кривых в лаборатории ЗМР проводились исследования и в областях математики и математической физики, связанных с теорией

динамических систем, уравнений магнитной гидродинамики (с приложением к активным процессам в атмосфере Солнца). Здесь будут упомянуты некоторые из этих работ.

1995 год. Исследована связь между динамическими системами и линейными связностями в областях на комплексной плоскости (Романовский Ю. Р.) [108, 109]. Установлено, что всякая динамическая система порождает единственную связность без кручения, согласованную с комплексной структурой и сохраняющую поле направлений системы. Оператор параллельного перемещения вдоль каждого предельного цикла системы не зависит от выбора комплексной структуры и задается собственным значением отображения Пуанкаре. Построены примеры динамических систем с плоской связностью и грубыми предельными циклами. Подход может быть использован для разработки компьютерного алгоритма построения динамических систем с требуемой осцилляционной динамикой.

Разработаны новые эффективные методы решения двумерных уравнений магнитной гидродинамики в приближении сильного магнитного поля (Титов В.С.). С помощью этих методов найден широкий класс решений, описывающих процесс магнитного пересоединения. Для полученных решений найдены интересные приложения к активным процессам в атмосфере Солнца (так называемые рентгеновские яркие точки) [104–106].

Проведена серия исследований по применению многомерных матриц и многомерно-матричных функций в решении задач алгебры, логики, дискретной математики и информатики (Гаспарян А. С., Гаспарян А. М.). Разработаны многомерно-матричные модели ряда алгебраических структур. Предложен метод многомерных перманентов для задач перечислительной комбинаторики, с помощью которого решена задача перечисления латинских конфигураций. Разработан многомерно-матричный аппарат для анализа функций многозначной логики и реляционных структур. Получены новые результаты по теории многомерных матриц и обобщения некоторых классических теорем.

1996 год. Вычислен полный набор инвариантов оптимального семейства трехмерных групп симметрий K - ϵ -модели турбулентных течений (Романовский Ю. Р., Титов В. С., Каишев А. И.). На этой основе составлена библиотека моделей симметричных турбулентных течений, состоящая из 14 систем обыкновенных дифференциальных уравнений, к решению которых сводится построение инвариантных решений. Эта библиотека включает в себя 6 цилиндрических моделей, 6 вращательных моделей и 2 пространственно однородных модели.

Благодарности

За то, что посчастливилось работать в Институте программных систем Российской академии наук, автор благодарен судьбе и тем людям, которые способствовали такому повороту в судьбе, в первую очередь: Айламазяну А. К. и Кондратьеву Н. В.

Автор благодарен всем сотрудникам ИПС РАН, с которыми выпала честь работать вместе в 1986–2004 гг.

В работе с благодарностью использовались материалы научных отчетов ИЦМС ИПС РАН, написанные сотрудниками ИЦМС ИПС РАН, фамилии которых упомянуты в основном тексте статьи.

Список литературы

- [1] Абрамов С. М. Программа ДАРОС // Единая система электронных вычислительных машин. СПО ЕС2704: Руководство программиста, № Ц5.00079-01 33 02. — Москва: НИЦЭВТ, 1987. ↑1
- [2] Абрамов С. М., Барбан А. П., Сибиркова Л. А. *Средства взаимодействия с машиной динамической архитектуры в ОС 7 ЕС* // 1-я Всесоюзная конференция «Проблемы создания суперЭВМ, суперсистем и эффект их применения», Минск, 15–17 сентября 1987 г. Т. ч. 1: ИМ АН БССР, 1987, с. 97–98.
↑
- [3] Абрамов С. М., Барбан А. П., Михнушев Д. П., Сибиркова Л. А. Программное обеспечение комплекса ЕС ЭВМ: машина динамической архитектуры // Вопросы РЭ: Тематический сборник, серия ВТ, № 7, 1988, с. 1–25.
↑

- [4] Абрамов С. М., Абакумов А. А., Адамович А. И., Нестеров И. А., Пименов С. П., Рядченко А. В., Хаткевич М. И., Шевчук Ю. В. *Концепция разработки ПО МДА // Всесоюзная конференция молодых ученых и специалистов по проблемам кибернетики и вычислительной техники*. Москва–Переславль-Залесский: Тезисы докладов, 1989. ↑
- [5] Abramov S., Adamowitch A. I., Nesterov I. A., Pimenov S., Shevchuck Yu. V. *Principles of software tools implementation for multiprocessor with automatic dynamic parallelizing // The 16th International School Programming'91*.— Sofia, Bulgaria, 1991. ↑1
- [6] Плюснин В. У., Кушнеров Ф. Р. Вычислительные системы с динамической архитектурой: Статья на Веб-сайте «Виртуальный компьютерный музей», 2003, <http://compmus9.valuehost.ru/histussr/dynaarc.htm>. ↑1
- [7] Шевчук Ю. В. TTOLS: Электронный ресурс, 1996, <http://www.botik.ru/~sizif/ttools/>. ↑1
- [8] IPCA : Transputer : Software : Compilers : Gcc : Pereslavl: Электронный ресурс, раздел «Internet Parallel Computing Archive» <http://wotug.kent.ac.uk/parallel/transputer/software/compilers/gcc/pereslavl/>. ↑1
- [9] Пономарев А. Ю. Интерфейсная плата DAD005: Техническое описание.— Москва: НИЦЭВТ, 1994. ↑1
- [10] Abramov S., Adamowitch A. I., Nesterov I. A., Pimenov S., Shevchuck Yu. V. *Autotransformation of evaluation network as a basis for automatic dynamic parallelizing // The 6th NATUG Meeting, NATUG'1993 Spring Meeting «Transputer: Research and Application», May 10–11, 1993*.— Vancouver, Canada: IOS Press, 1993. ↑1
- [11] Абрамов С. М., Адамович А. И., Нестеров И. А., Пименов С. П., Шевчук Ю. В. Автотрансформация вычислительной сети — основа для автоматического и динамического распараллеливания // Теоретические и прикладные основы программных систем.— Переславль-Залесский: Институт программных систем РАН, 1994, с. 103–124. ↑1
- [12] Adamovich A. I. *cT: an Imperative Language with Parallelizing Features Supporting the Computation Model “Autotrasformation of the Evaluation Network” // Parallel Computing Technologies: Third International Conference, 1995*, с. 127–141, see also: <ftp://pier.botik.ru/pub/local/RCMS/SSPA/cT-95.ps.Z>. ↑1
- [13] Nesterov I. A., Suslov I. V. *Towards programming of numerical problems within the system providing automatic parallelizing // The 7th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*.— San-Francisco, CA, 1995, с. 716. ↑1, 1
- [14] Абрамов С. М., Адамович А. И. Т-система — среда программирования с поддержкой автоматического динамического распараллеливания программ // Программные системы. Теоретические основы и приложения / ред. Айламазян А. К.— М.: Наука-Физматлит, 1999, с. 201–214. ↑1
- [15] Адамович А. И., Коваленко М. Р., Позлевич Р. В. Реализация в Т-системе программы построения качественных изображений трехмерных сцен методом трассировки лучей // Программные системы. Теоретические основы и приложения / ред. Айламазян А. К.— М.: Наука-Физматлит, 1999. ↑1

- [16] Абрамов С. М., Адамович А. И., Кобышев А. П. *T-система — среда программирования с поддержкой автоматического динамического распараллеливания программ* // Десятая юбилейная международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным средствам, Переславль-Залесский, 7–12 июня 1999 г.: Тезисы докладов. — М.: МГИУ, 1999, с. 14–15. ↑
- [17] 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. — **25**, № 2, с. 100–107. ↑1, 1
- [18] Абрамов С. М., Васенин В. А., Мамчиц Е. Е., Роганов В. А., Слепухин А. Ф. *Динамическое распараллеливание программ на базе параллельной редукции графов. Архитектура программного обеспечения новой версии T-системы* // Всероссийская научная конференция «Высокопроизводительные вычисления и их приложения», 30 октября–2 ноября 2000 г., г. Черноголовка: Труды конференции. — М.: Изд-во МГУ, 2000, с. 261–264. ↑1
- [19] Абрамов С. М., Васенин В. А., Мамчиц Е. Е., Роганов В. А., Слепухин А. Ф. *Динамическое распараллеливание программ на базе параллельной редукции графов. Архитектура программного обеспечения новой версии T-системы* // Научная сессия МИФИ–2001, 22–26 января 2001 г.: Сборник научных трудов. — Т. 2, 2001, с. 234. ↑
- [20] Абрамов С. М., Кондратьева А. В., Роганов В. А., Чеповский А. М. *Проектирование высокопроизводительного процессора обработки графов.* // Информационные технологии. Машиностроение, № 3, <http://www.informika.ru/text/magaz/it/2001/03/inftech.html#2>. ↑1
- [21] Абрамов С. М., Анищенко В. В., Парамонов Н. Н., Чиж О. П. *Разработка и опыт эксплуатации суперкомпьютеров семейства «СКИФ»* // I международная конференция «Информационные системы и технологии» (IST'2002), Минск, 5–8 ноября 2002 г.: Материалы конференции, 2002, с. 115–117, часть 2. ↑1
- [22] Абрамов С. М., Адамович А. И., Коваленко М. Р., Слепухин А. Ф., Парамонов Н. Н. *Основные результаты суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного Государства* // АКИИ'03: Третий расширенный семинар «Использование методов искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений и в аэрокосмических исследованиях»: Труды семинара. — М.: Физматлит, 2003. — ISBN 5-940-52-065-9, с. 135–140. ↑
- [23] Абрамов С. М., Адамович А. И., Коваленко М. Р., Слепухин А. Ф., Парамонов Н. Н. *Кластерные системы семейства суперкомпьютеров «СКИФ»* // Научный сервис в сети Интернет: Труды Всероссийской научной конференции, 22–27 сентября 2003 г. Новороссийск. — М.: Изд-во МГУ, 2003, с. 147–151. ↑
- [24] Абрамов С. М., Адамович А. И., Коваленко М. Р., Роганов В. А. *Биатлон для СКИФов: быстро и точно* // Математика, информатика: теория и практика. Сборник трудов, посвященный 10-летию Университета города Переславля / ред. А. К. Айламазян. — Переславль-Залесский: Изд-во «Университета города Переславля», 2003. — ISBN 5-901795-02-4, с. 91–96. ↑1

- [25] Суперкомпьютерная программа «СКИФ»: Электронный сетевой ресурс, 2003, <http://skif.pereslavl.ru/>, Раздел «Результаты :: 2003 :: Управляющая сеть кластеров “СКИФ”». ↑1
- [26] Абрамов С. М., Позлевич Р. В., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В. *Система телекоммуникаций города Переславль-Залесский и его региона (домен «botik.ru»)* // Региональный семинар «Информатика и региональное управление», 20–22 ноября 1995: Тезисы докладов. — г. Переславль-Залесский, 1995. ↑2
- [27] Дмитриев М. Г., Патаракин Е. Д., Руденко В. П. *Телекоммуникационный образовательный центр малого города* // Международная конференция-выставка «Информационные технологии в непрерывном образовании», 5–9 июня 1995 г.: Тезисы докладов. — Петрозаводск: Изд-во ПерГУ, 1995, с. 161–162. ↑2
- [28] Абрамов С. М., Айламазян А. К. *Проверенные решения для региональной сети компьютерных телекоммуникаций* // Международный симпозиум «Роль информатики в региональном развитии», Переславль-Залесский, 26–29 октября 1996 г.: Труды симпозиума ред. Айламазян А. К.. — М.: Наука,-Физматлит, 1997, с. 36–47. ↑2
- [29] Абрамов С. М., Позлевич Р. В., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В. *Опыт использования PC-роутеров* // Международный симпозиум «Роль информатики в региональном развитии», Переславль-Залесский, 26–29 октября 1996 г.: Труды симпозиума ред. Айламазян А. К.. — М.: Наука,-Физматлит, 1997, с. 48–50. ↑2
- [30] Абрамов С. М., Позлевич Р. В., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В. *Экономически эффективные технологии построения региональных сетей для науки и высшей школы* // Телематика'97: Труды конференции. — СПб, 1997. ↑2
- [31] Абрамов С. М. *Сеть для всех и по разумным ценам* // Компьютерра. — № 34 (211), 25 августа 1997 г., с. 28–30. ↑2
- [32] Экономически эффективные технологии построения городских телекоммуникационных систем для науки и образования: Методические материалы, электронный ресурс, 1997, <http://www.botik.ru/tech/>. ↑2
- [33] Абрамов С. М. *Сети—это просто* // Компьютерра. — № 10 (238) 16 марта 1998 г. ↑2
- [34] Абрамов С. М., Пономарев А. Ю., Позлевич Р. В., Гузилова Г. В., Скосырев О. В. *Экономически эффективные технологии построения некоммерческих региональных сетей* // IV конференция Реларн'97, Нижний Новгород: Сборник докладов ред. Филиппов В. Е.: ИПФ РАН, 1998. ↑2
- [35] Абрамов С. М., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В. *Широко доступный Интернет как путь в открытое общество. Опыт Переславля-Залесского* // Интернет. Общество. Личность (ИОЛ-99): Труды конференции. — СПб., 1999. ↑2
- [36] Абрамов С. М., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В. *Технология построения недорогих, но качественных гражданских сетей. Опыт Переславля и его перенос в другие регионы* // Всероссийская научная конференция «Научный

- сервис в сети Интернет», 20–25 сентября 1999 г., г. Новороссийск: Тезисы докладов. — М.: Изд. МГУ, 1999, с. 15–20. ↑**2**
- [37] Абрамов С. М., Котельников В. П., Пономарев А. Ю., Шевчук Ю. В., Абрамов С. М. *О построении высокоскоростная оптической магистрали городской компьютерной сети с учетом особенностей электропитания в районных центрах России* // Всероссийская научная конференция «Научный сервис в сети Интернет», 23–28 сентября 2002 г., г. Новороссийск: Труды конференции. — М.: Изд-во МГУ, 2002, с. 244–247. ↑**2**
- [38] Абрамов С. М., Ермилова Е. В., Карлаш А. В. *ГИС для региональных сетей (СТ «Ботик»)* // Научный сервис в сети Интернет: Труды Всероссийской научной конференции, 22–27 сентября 2003 г. Новороссийск. — М.: Изд-во МГУ, 2003. ↑
- [39] Ермилова Е. В., Карлаш А. В., Нестеров А. С., Жбанов П. Г., Шевчук Ю. В. *Nadmin — система администрирования для региональных сетей* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Наука,-Физматлит, 2004. ↑**2**
- [40] Бурчу С. В. *Методы хостинга веб-сайтов, применимо к системе телекоммуникаций «Ботик»* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Физматлит, 2004. ↑**2**
- [41] Кузнецов А. А. *Разработка геоинформационной системы для СТ «Ботик» с использованием TCL/TK для реализации клиентской части* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Наука,-Физматлит, 2004. ↑**2**
- [42] Парменова В. В. *Адаптация мониторинной системы MON для системы коммуникаций «Ботик»* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Наука,-Физматлит, 2004. ↑**2**
- [43] Patarakin E. D. *Psychological Web-site* // International Conference “Computer in Psychology”, 23–25 March, 1996. — York, 1996, Proceedings and CD ROM. ↑**3**
- [44] Patarakin E. D., Travina L. L. *Knowledge acquisition and Manipulation with the constructs on the Psychological Web-site* // The Second International Conference on Distance Education in Russia, 2–5 July, 1996. — Т. 2. — Moscow, Russia, 1996, с. 497–499. ↑
- [45] Патаракин Е. Д., Травина Л. Л. *Web-site изучения конструктивной психологии* // Всероссийская научно-методическая конференция, 13–17 мая 1996 г., 1996, с. 106. ↑**3**
- [46] Travina L., Patarakin E. *The use of repertory grids in collaborative creative activity* // Computer in Psychology Conference, 15Th–17th April 1998. — York, UK, 1998. ↑**3**
- [47] Патаракин Е. Д., Борисов В. В. *Использование техники репертуарных решеток в художественном обучении* // КИИ-98. — Пущино, 1998. ↑**3**
- [48] Травина Л. Л. *Образ-Я директоров крупных интернет-компаний* // 4-я конференция «Построение стратегического общества через науку и образование», 25–27 июня: Тезисы докладов. — Москва, 2001. ↑**3**

- [49] Травина Л. Л., Якубов Б. В., Патаракин Е. Д. *PenWeb — инструментальная среда для проведения психологических интернет-исследований* // Конференция Ассоциации научных и учебных организаций — пользователей сетей передачи данных «Реларн-2001»: Труды конференции, 2001. ↑3
- [50] Абрамов С. М., Дмитриев М. Г., Патаракин Е. Д., Руденко В. П. *Телекоммуникационный образовательный центр малого города* // Международная конференция-выставка «Информационные технологии в непрерывном образовании», 5–9 июня 1995 г.: Тезисы докладов. — Петрозаводск: Изд-во ПерГУ, 1995, с. 161–162. ↑3
- [51] Abramov S., Ajlamazjan A., Patarakin E. *Global Tools for Educations Organizing and Personal Learning* // Second International Conference on Distance Education in Russia (ICDED'96), World Trade Center, Moscow, Russia 2–5 July, 1996, 1996, с. pp. 220–222. ↑
- [52] Абрамов С. М., Патаракин Е. Д., Шевчук Ю. В. *Отражение учебного процесса в зеркале новых технологий* // Педагогическая информатика, № 1, с. 51–63. ↑
- [53] Абрамов С. М., Айламазян А. К., Патаракин Е. Д. *Развитие систем коммуникаций и представлений об их использовании в региональном образовании* // Телематика'98: Труды конференции. — СПб., 1998. ↑
- [54] Гузилова Г. В. *Информационный сайт как средство поддержки учебного курса*: Труды конференции «Информационные технологии в образовании. 15 лет курса информатики». — Ярославль, 18. ↑3
- [55] Гузилова Г. В. *Опыт создания учебного сайта в локальной сети школы для сопровождения учебного курса* // Международная конференция «Информационный и телекоммуникационные технологии в образовании», 2–9 апреля 2001: Электрон. журн. — Барнаул, 2001, Доклад опубликован в электронном журнале «Педагогический университетский вестник Алтай», регистрационный № 0229905552, http://www.bspu.secna.ru/Journal/vestnik/ARHIW/N1_2001/nauch_konf/3_sekz/inf-site.html. ↑3, 3
- [56] Абрамов С. М., Патаракин Е. Д. *Построение городской опорной сети и объединение на ее основе региональных образовательных, художественных и научных ресурсов* // IV Международная конференция «Развитие и применение открытых систем», Нижний Новгород, октябрь 1997 г., 1997. ↑3.1
- [57] Патаракин Е. Д., Травина Л. Л. *Виртуальные средства выращивания новых культурно-образовательных организмов* // Виртуальные реальности, Приложение к журналу «Человек», с. 191–193. ↑3
- [58] Абрамов С. М., Патаракин Е. Д., Руденко В. П., Шевчук Ю. В. *Виртуальные связи формируют новый культурно-образовательный организм города Переславля* // V конференция Реларн'98, Самара: Сборник трудов, 1998. ↑
- [59] Патаракин Е. Д. *Педагогические последствия сетевой интеграции* // Социальные и психологические последствия применения информационных технологий. — М.: Московский общественный научный фонд, 2001, с. 195–202. ↑
- [60] Patarakin E. D. *Educational impact of network communities* // EVA, 3–5 December. — Moscow, 2001, с. pp. 57–60. ↑
- [61] Патаракин Е. Д. *Вклад сетевых сообществ в образование* // «Компьютерные учебные программы» (Принято к публикации). ↑

- [62] Патаракин Е. Д. *Творчество и творческое обучение в сети электронных коммуникаций* // «Компьютерные учебные программы» (Принято к публикации). ↑3.1
- [63] Абрамов С. М., Кондратьев Н. В. Компилятор, основанный на методе частичных вычислений // В сб.: Некоторые вопросы прикладной математики и программного обеспечения ЭВМ: МГУ, 1982. ↑4
- [64] Turchin V. F., Nemytykh A. P. A Self-Applicable Supercompiler: Technical Report 1995, June, CSc. TR 95-010: City College of CUNY, 1995. ↑4
- [65] Turchin V. F., Nemytykh A. P. Metavariables: Their implementation and use in Program Transformation: Technical Report 1995, June, CSc. TR 95-012: City College of CUNY, 1995. ↑4
- [66] Nemytykh A. P., Pinchuk V. A. *Program transformation with Metasystem Transitions: Experiments with a Supercompiler* // Lecture Notes in Computer Science. — 1181, с. 249–260. ↑4
- [67] Nemytykh A. P., Pinchuk V. A., Turchin V. F. *A Self-Applicable Supercompiler* // Lecture Notes in Computer Science. — 1110, с. 322–337. ↑4
- [68] Абрамов С. М. *Использование смешанных вычислений для тестирования программ* // Всесоюзная школа по смешанным вычислениям, Лиманчик, Новоросийск, 1983: Тезисы докладов, доступна в «Архиве академика. Ершова»: <http://www.iis.nsk.su:81/archive/eaindex.asp?lang=1&did=2632>. ↑4
- [69] Абрамов С. М. *Окрестностный метод тестирования программ* // Московская городская конференция «Информатика, вычислительная техника, автоматизация в науке и технике, народном хозяйстве»: Тезисы докладов. — Москва, 1983. ↑
- [70] Абрамов С. М. *Использование окрестностного анализа для тестирования программ* // Различные аспекты системного программирования: МГУ, 1984, с. 125–129. ↑
- [71] Абрамов С. М. *Тестирование программ с использованием окрестностного анализа* // Вопросы кибернетики. Проблемно-ориентированные вычислительные процессы. — М., 1987. ↑4
- [72] Абрамов С. М. *Метавычисления и логическое программирование* // Всесоюзная конференция «Семиотические аспекты формализации интеллектуальной деятельности», Боржоми–89.: Тезисы докладов, 1989. ↑4
- [73] Абрамов С. М. *Метавычисления и логическое программирование* // Программирование, № 3, с. 31–44. ↑4
- [74] Abramov S. *Metacomputation and program testing* // The First International Workshop on Automated and Algorithmic Debugging (AADEBUG'93), Linköping Univ., Sweden, 3–5 May, 1993, с. pp. 121–135. ↑4
- [75] Abramov S. *Metacomputation and program testing* // Теоретические и прикладные основы программных систем. — Переславль-Залесский: Институт программных систем РАН, 1994, с. 103–124. ↑4
- [76] Абрамов С. М. *Метавычисления и их применение.* — М.: Наука-Физматлит, 1995, с. 128. ↑4
- [77] Abramov S., Glück R. *Semantic Modifiers: an Approach to Non-Standard Semantic of Programming Languages*, с. 247–270. ↑4

- [78] Abramov S. M., Glück R. *The universal resolving algorithm: inverse computation in a functional language* // Lecture Notes in Computer Science. — **1837**, с. 187–212. ↑4
- [79] Abramov S. M., Glück R. *Combining semantics with non-standard interpreter hierarchies* // Lecture Notes in Computer Science. — **1974**, с. 201–213. ↑4
- [80] Abramov S. M., Glück R. *From Standard to Non-Standard Semantics by Semantics Modifiers* // International Journal of Foundations of Computer Science. — **12 #2**, с. 171–211. ↑4
- [81] Abramov S. M., Glück R. *Inverse Computation and the Universal Resolving Algorithm* // Wuhan University Journal of Natural Sciences. — **6**, #1–2, с. 31–45. ↑4
- [82] Abramov S. M., Glück R. *Principles of Inverse Computation and the Universal Resolving Algorithm* // The Essence of Computation: Complexity, Analysis, Transformation ред. Mogensen T., Schmidt D., Sudborough I. H. T. **№. 2566**: Springer-Verlag, 2002, с. 269–295, Essays Dedicated to Neil D. Jones. ↑
- [83] Abramov S. M., Glück R. *The Universal Resolving Algorithm and its Correctness: Inverse Computation in a Functional Language* // Science of Computer Programming, с. 193–229. ↑
- [84] Abramov S., Glück R., Klimov Yu. *An Improved Universal Resolving Algorithm for Inverse Computation of Non-Flat Languages* // Математика, информатика: теория и практика. Сборник трудов, посвященный 10-летию Университета города Переславля / ред. А. К. Айламазян. — Переславль-Залесский: Изд-во «Университета города Переславля», 2003. — ISBN 5-901795-02-4, с. 11–23. ↑4
- [85] Pimenov S. *Parallel execution as partial evaluation* // CC94. — Canada, 1994. ↑4
- [86] Пименов С. П. Автоматическое построение систем оптимизирующих преобразований для стековых языков // Теоретические и прикладные основы программных систем. — Переславль-Залесский: Институт программных систем РАН, 1994, с. 177–188. ↑4
- [87] Абрамов С. М., Роганов В. А. *Динамическая специализация как средство оптимизации распределенных вычислений и как метод создания адаптивных сервисов для GRID-систем* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Наука,-Физматлит, 2004. ↑4
- [88] Абрамов С. М., Романенко С. А. Представление объектных выражений массивами при реализации языка Рефал: Препринт № 186. — М.: Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, 1988, с. 27. ↑4
- [89] Гурин Р. Ф., Романенко С. А. Язык программирования Рефал Плюс. — М.: Интертех, 1991, с. 183. ↑4
- [90] *Реализация языка программирования Рефал Плюс за счет прямой компиляции в императивный язык*: Веб-сайт проекта, ИПС РАН, 2003, <http://skif.pereslavl.ru/refal>. ↑4
- [91] Абрамов С. М., Орлов А. Ю., Парменова Л. В., Пономарева С. М., Слепухин А. Ф. *Новый подход к реализации системы программирования Рефал Плюс* // Международная конференция «Программные системы: теория

- и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Наука,-Физматлит, 2004. ↑
- [92] Абрамов С. М., Орлов А. Ю. *Компиляция в императивные языки синтаксического отождествления языка Рефал* // Международная конференция «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский, май 2004. — М.: Физматлит, 2004. ↑4
- [93] Meshveliani S. *The Algebraic Constructor CAC: computing in Construction-Defined Domains* // Lecture Notes in Computer Science. — **722**, с. 354–358. ↑4
- [94] Meshveliani S.D. *Algebraic Domain Constructor: K-rings plus pure functional programming* // International Workshop “New Computer Technologies in Control Systems”. — Pereslavl-Zalessky., 1995. ↑4
- [95] Meshveliani S.D. *Computer algebra with Haskell: applying functional-categorical-‘lazy’ programming* // International Workshop CAAP-2001: Proceedings. — Dubna, Russia, 2001. ↑4
- [96] Chmutov S., Duzhin S. *An upper bound for the number of Vassiliev knot invariants* // Journal of Knot Theory and its Ramifications. — **3**, с. 141–151. ↑5
- [97] Chmutov S., Duzhin S., Lando S. *Vassiliev knot invariants I, II, III* // Adv. in Soviet Math. — **21**, с. 117–145. ↑5
- [98] Duzhin S., Kaishev A.I. *Calculation of central generators of the universal enveloping algebras and Vassiliev-Kontsevich weight systems* // The International Workshop «New Computer Technologies in Control Systems», August 13–16, 1995 ред. Dmitriev M. G., Sachkow Yu. L. — Pereslavl-Zalessky, 1995. (english) ↑5
- [99] Chmutov S., Varchenko A.N. *Remarks on the Vassiliev knot invariants coming from sl_2* // Topology. — **36**, с. 153–178. ↑5
- [100] Дужин С. В., Каишев А. И., Чмутов С. В. *Алгебра 3-графов* // Труды Математического Института РАН. 221, с. 168–196. ↑5
- [101] Дужин С. В., Каишев А. И. *Реализация в T-системе программы вычисления sl -и so -полиномов для 3-графов* // Программные системы. Теоретические основы и приложения ред. Айламазян А. К.. — М.: Наука-Физматлит, 1999 г. ↑5
- [102] Анзин М. М., Каишев А. И. *Вычисление окрестности Г. Ф. Вороного для второй совершенной формы* // VII международный семинар «Дискретная математика и ее приложения»: Материалы семинара. — Москва: Изд-во центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2001. ↑5
- [103] Каишев А. И., Романовский Ю. Р., Титов В. С. Численное и аналитическое исследование турбулентных течений несжимаемой вязкой жидкости // Теоретические и прикладные основы программных систем. — Переславль-Залесский: Институт программных систем РАН, 1994, с. 387–411. ↑
- [104] Parnell C., Priest E.R., Titov V.S. *A model for X-ray bright points due to unequal canceling flux sources* // Solar Phys. — **153** #1–2, с. 217–235. ↑5
- [105] Priest E.R., Rickard G.J., Titov V.S., Vekstein G.E. *Linear steady X-point reconnection* // J. Geophys. Res.-Space Phys. — **99**, # All, с. 21467–21480. ↑
- [106] Priest E. R., Rickard G. J., Titov V. S. *The formation of magnetic singularities by nonlinear time-dependent collapse of an X-type magnetic field* // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. — **351**, с. 1–37. ↑5

- [107] Romanovsky Y. *On differential equations and Cartan's projective connections* // *Geometry in Partial Differential Equations*. — Singapore: World Scientific, 1994, с. 329–344. ↑
- [108] Romanovsky Y. *Limit Cycles and Complex Geometry*: Preprint in AMS preprint service. — Т. #**199503-34-001**, 1995, с. 12, se also: <ftp://ftp.botik.yaroslavl.su/pub/local/zmr/limcycle.tex.gz>. ↑5
- [109] Романовский Ю. Р. *Предельные циклы и комплексная геометрия* // *Алгебра и анализ*. — **8**, **вып. 3**, с. 178–188. ↑5

ИНСТИТУТ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

S. M. Abramov. *RCMS PSI RAS: observation of the researches performed at 1994–2004*. (in russian.)

АБСТРАКТ. The paper describes scientific researches, performed at 1994–2004 in the Research Center for Multiprocessor Systems (RCMS) of the Program Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (PSI RAS).