

Опыт эксплуатации суперкомпьютера К-100 в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Л.П. Басс, С.А. Дбар, А.О. Лацис, М.Б. Марков, Г.П. Савельев, Ю.П. Смольянов, М.Ю. Храмов

Аннотация. В работе кратко описывается гибридный суперкомпьютер К-100, созданный в 2010-м году в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН совместно с ФГУП НИИ «Квант». Имея в своем составе всего 64 вычислительных узла с суммарным энергопотреблением около 80 кВт, установка имеет пиковую производительность 107 TFLOPS. При этом стоимость создания суперкомпьютера К-100 составила всего 65 млн. рублей.

В состав вычислительного узла этой системы, наряду с двумя 6-ядерными процессорами общего назначения, входят три 448-ядерных графических ускорителя модели Fermi производства nVidia.

Представлены некоторые прикладные задачи, успешное решение которых выполнено на К-100. Приведены факторы и мероприятия, обеспечивающие бесперебойную работу ЭВМ К-100 и удобство работы пользователей на этой ЭВМ в течение 5-летней эксплуатации. Возможность доступа к К-100 из сети Интернет обеспечивается мерами защиты от возможного взлома.

Ключевые слова: гибридный суперкомпьютер, эксплуатация.

Введение

Работы по построению макетов и опытных образцов вычислительных машин, подобные которым занимают сегодня первые места в TOP500, в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН были начаты еще в 2007 году. Интенсивно развиваясь на протяжении трех лет, эти работы привели к созданию в 2010 году (совместно с ФГУП НИИ «Квант») первой в России среднеразмерной вычислительной гибридной системы К-100 [1]. Имея в своем составе всего 64 вычислительных узла с суммарным энергопотреблением около 80 кВт, установка имеет пиковую производительность 107 TFLOPS. При этом стоимость создания суперкомпьютера К-100 составила всего 65 млн. рублей.

В состав вычислительного узла этой системы, наряду с двумя 6-ядерными процессорами

общего назначения, входят три 448-ядерных графических ускорителя модели Fermi производства nVidia.

Узлы интегрируются в единое вычислительное поле несколькими сетями. Помимо двух сервисных сетей Gigabit Ethernet, используется новейший вариант сети Infiniband производства QLogic, а также сеть собственной (ИПМ им. М.В. Келдыша, НИИ «Квант») разработки [2]. Эта сеть специально оптимизирована для тяжелых режимов коммуникаций, характерных для гибридных вычислительных приложений. Конкретный вариант сети Infiniband также выбирался на основе опыта построения и использования в ИПМ опытных образцов гибридных машин на основе упомянутой сети собственной разработки. Сочетание в коммуникационной системе собственных целевых разработок с наилучшими на сегодня покупными продукта-

ми позволяет максимально повысить КПД машины, то есть достигать высокой реальной производительности на максимально широком классе реальных задач.

Суперкомпьютер оснащен высокопроизводительной распределенной системой хранения данных и большим (96 Гбайт на узел) объемом оперативной памяти. В качестве системы управления вычислительным ресурсом используется Система Управления Прохождением Пользовательских Задач (СУППЗ), разработанная в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН.

Пятилетний опыт применения суперкомпьютера К-100 показывает, что названные характеристики позволяют успешно использовать его для широкого класса приложений.

В период эксплуатации на К-100 выполнены численные эксперименты по резонаторам и звукопоглощающим конструкциям, по моделированию лопастей несущего и рулевого винта вертолета [3], расчеты по моделированию аэродинамического шума в рамках европейского проекта VALIANT, расчеты по моделированию турбулентных течений в различных модельных конфигурациях (обратные уступы, течение в канале, изотропная турбулентность [4]).

С использованием суперкомпьютера К-100 выполнялась разработка алгоритмов и технологий для моделирования задач механики сплошной среды на гибридных вычислительных системах с массивно-параллельными ускорителями. Разработаны переносимые OpenCL реализации для расчетов сжимаемых течений на гибридных неструктурированных сетках [5] и несжимаемых течений на структурированных разнесенных сетках. Отработана коммуникационная схема с одновременным выполнением обменов данными и вычислений на основе специализированной инфраструктуры планировщика OpenCL заданий [6].

Суперкомпьютер К-100 использовался в качестве основной вычислительной системы для разработки параллельного программного комплекса NOISETTE [7]. На К-100 проводились серии расчетов валидационных задач, отрабатывалась реализация численных методов и математического моделирования для исследования радиационной стойкости радиоэлектронного оборудования сложных технических объ-

ектов, что позволяет сократить объем дорогостоящих экспериментальных работ и обеспечить стойкость уже на этапе эскизного проектирования объектов.

Перенос излучения в материалах объектов моделируется путем численного решения стационарного уравнения переноса методом Монте-Карло. Распространение излучения в газовом заполнении объектов и окружающей среде моделируется путем решения кинетического уравнения для заряженных частиц в генерируемом ими самосогласованном электромагнитном поле. Электромагнитное поле вычисляется путем решения уравнений Максвелла [8].

На кластере К-100 проводилось моделирование переноса нейтронов в защитах ядерно-технических установок с использованием неструктурированных тетраэдрических сеток (программа РадугаТ [9]). В этой программе используется сеточный метод конечных элементов с двухуровневым (MPI + OPENMP) распараллеливанием вычислений. На первом уровне распараллеливание выполняется по пространственным переменным, на втором – по угловым. Такой алгоритм хорошо согласуется с архитектурой К-100.

Гетерогенный вычислительный кластер К-100 сочетает большой объем оперативной памяти в вычислительных узлах с возможностью использовать графические процессоры для ускорения выполнения арифметических операций.

Графические ускорители резко ускорили выполнение расчетов полей ионизирующего излучения в материалах. В рамках общего расчета этот этап требовал подавляющего количества вычислительных ресурсов.

Большой объем оперативной памяти на узле ГВК К-100 позволил исключить MPI-обмен динамическими переменными при реализации метода частиц и существенно снизить объем передаваемых данных при численном решении уравнений Максвелла.

В результате удалось перейти к прямому детальному моделированию столкновений при решении кинетических уравнений и обеспечить расчет параметров радиационных и электромагнитных полей в аппаратурных блоках сложных технических объектов, задавая конструкцию изделий микроэлектроники.

Надежная и стабильная работа вычислительного комплекса, естественно, зависит от многих факторов, но в первую очередь от отношения и квалификации обслуживающего персонала, инженеров и системных программистов. Именно они обеспечивают не только бесперебойную работу вычислительного комплекса, но и удобство работы на нем пользователей. В этом плане характерны следующие мероприятия:

- еженедельная профилактика,
- резервное копирование пользовательских файловых систем,
- резервное копирование системных разделов,
- обнаружение и устранение неисправности аппаратуры.

Рассмотрим более подробно перечисленные мероприятия.

Журнал

Каждая аппаратная неисправность или неисправность, хотя бы похожая по внешним признакам на аппаратную, заносится в журнал. Туда же заносятся программные ошибки, которые нельзя устранить оперативно.

Журнал ведется в электронном виде, на каждый вычислительный узел/сервер/систему хранения отдельно, на программные ошибки отдельно. По каждой аппаратной неисправности записывается: дата и внешние признаки фиксируются сразу после обнаружения, все действия по поиску и устранению — по возможности, сразу после устранения. Если устранение ошибки заняло не один день, то фиксируется и дата.

Если работа по устранению неисправности или программной ошибки препятствует или хотя бы может препятствовать счету задач, то она заносится в задание на профилактику.

Профилактика

Раз в неделю К-100 выводится из эксплуатации для проведения профилактических или ремонтных работ.

1. Выполнение тестовых задач обязательно. Все остальное — по заданию на профилактику в журнале. Если заданий нет, К-100 возвращается в эксплуатацию.

2. Устранение аппаратных неисправностей.
3. Установка нового оборудования с целью расширения К-100.
4. Чистка аппаратуры пылесосом по идее должна планироваться на профилактику, но фактически ни разу не требовалась. В зале обычно поддерживается чистота.
5. Чистка контактов спиртом только при устранении неисправностей.
6. Установка и отладка нового ПО.
7. Устранение неисправностей ПО, в том числе и по замечаниям пользователей.
8. Резервное копирование системных разделов дисков после внесения изменений в систему.

Оптимизация использования сервера резервных копий

Первым этапом резервного копирования является синхронизация локальной копии /nethome-mirror на сервере с папкой /nethome в файловой системе lustre. Особенностью файловой системы lustre является то, что разные файлы в ней пишутся на разные физические носители, причем каждый файл целиком находится на одном носителе (если не включена опция записи частей файлов на разные носители). При синхронизации файлы копируются последовательно, по одному, следовательно, одновременно задействован только один физический носитель (OST).

Для того, чтобы более эффективно задействовать файловую систему, следует параллельно копировать несколько файлов, и одним из способов такого копирования является запуск нескольких экземпляров программы синхронизации, отдельно для папок отдельных пользователей. За счет случайного распределения файлов по физическим носителям загрузка файловой системы будет более полной и равномерной. Для того, чтобы не перегружать компьютер и не фрагментировать операции чтения/записи, количество параллельных операций чтения и записи следует ограничить до 4-8 (по 1-2 на один физический носитель). Для этого следует организовать диспетчер очереди синхронизации, который будет запускать процесс синхронизации для следующих папок по мере окончания синхронизации предыдущих.

У этого подхода также есть некоторые дополнительные преимущества. Список файлов

пользователя для копирования формируется непосредственно перед началом копирования, а не в момент запуска синхронизации. За счет этого уменьшается вероятность появления новых файлов или удаления старых файлов во время синхронизации. Устаревшие файлы на локальной копии удаляются после завершения синхронизации, а значит, до момента завершения синхронизации они будут занимать место (которого не слишком много). При синхронизации же по отдельным папкам лишние файлы удаляются практически сразу.

По умолчанию в системе linux установлен планировщик ввода-вывода CFQ (полностью справедливая очередь). Его основными приоритетами являются обеспечение равноправного доступа к ресурсам многим пользователям и формирование более крупных операций для того, чтобы реже обращаться к диску. На нашем сервере резервных копий установлен RAID-контроллер, к которому подключено одновременно много дисков и который сам реализует схожие функции. Это делает использование системного планировщика ненужным и даже вредным в условиях, когда на сервере только один пользователь и только одна программа, активно использующая диск. При отключении планировщика (путем использования планировщика NOOP) скорость работы программы архивирования резервной копии (dump) увеличивается в 3-5 раз. Переключение на планировщик NOOP для диска, например, /dev/sdc осуществляется командой `echo noop > /sys/block/sdc/queue/scheduler`, текущий планировщик можно узнать командой `cat /sys/block/sdc/queue/scheduler`. Целесообразность отключения планировщика на многопользовательских системах требует дополнительного исследования.

Резервное копирование пользовательских файловых систем

Для резервного копирования информации был выделен отдельный сервер с большим количеством дисков и сравнительно медленным интерфейсом к ним. Копирование пользовательских данных предназначено не для защиты от аппаратных ошибок (защита от одиночных аппаратных ошибок обеспечивается использо-

ванием RAID-5 и регулярной заменой дисков в дисковом массиве при наличии большого количества сбоев), а для восстановления данных при случайном удалении файлов или порче файловой системы. В процессе эксплуатации была увеличена емкость системы резервного копирования путем замены 1ТБ дисков на 4ТБ. Для ускорения создания резервных копий была произведена реконфигурация диспетчера ввода/вывода ядра Linux.

Резервное копирование пользовательских файловых систем производится в автоматическом режиме на выделенный сервер резервного копирования 1 раз в сутки, по ночам. Как правило, процесс копирования занимает несколько часов. В результате постоянно имеется точная копия пользовательских файловых систем по состоянию «на вчерашний день». Удаленные и измененные файлы хранятся на том же сервере до тех пор, пока на отведенном для них хранилище не останется 10-15% свободного места. Остаток свободного места контролируется с пульта оператора K-100, удаление самых старых файлов производится оператором с того же пульта, автоматическое удаление (наподобие корзины Windows) признано нежелательным. В итоге удаленные и измененные файлы хранятся чаще всего три-четыре недели, редко больше, еще реже меньше.

Заявки пользователей на восстановление из резервной копии (типичная формулировка - нечаянно удалил директорию или перезаписал нужный файл) поступают несколько раз в год.

Полное восстановление из резервной копии производилось по причинам:

- увеличение объема файловой системы (2 раза);
- разрушение файловой системы из-за аппаратных неисправностей (1 раз);
- разрушение файловой системы из-за аппаратных сбоев (2 раза).

Полное восстановление из резервной копии занимало от двух до семи суток, включая затраты времени на верификацию восстановления.

Резервное копирование системных разделов

Резервное копирование системных разделов производится во время профилактики в ручном

режиме после внесения существенных изменений в систему. Резервные копии системы хранятся на сервере резервного копирования. Кроме того, вторая копия хранится в сейфе на внешних дисках.

Полное восстановление из резервной копии производилось по причинам:

- неисправность локальных дисков;
- серьезные системные ошибки или полный крах системы;
- поиск неисправностей на модулях.

Обнаружение неисправностей аппаратуры

Ниже перечислены неисправности, которые обнаруживаются сразу или, во всяком случае, довольно быстро, как правило, в течение нескольких минут или десятков минут.

- Нет связи с К-100, а с другими машинами есть.
- Заблокировался вычислительный узел — чаще из-за программных ошибок.
- Очень медленно работает сетевая директория — время отклика измеряется десятками секунд, а не миллисекунд. И в этом случае может иметь место не аппаратная, а программная ошибка.
 - Не открывается сетевая директория. И тут тоже может иметь место не аппаратная, а программная ошибка, а может быть ошибка человеческая, т.е. недосмотр системных администраторов.
 - Недоступен пульт мониторинга К-100 или пульт оператора К-100.
 - Перегрев зала на пульте мониторинга.

Неисправности, которые обнаруживаются с пульта оператора К-100 по запросу.

- Неисправности памяти (планка отвалилась целиком или обнаружена нескорректированная двойная ошибка).
- Неисправности графических ускорителей (плата отвалилась целиком или есть ошибки, зафиксированные в системном журнале)
- Неисправности сети (чаще кабеля, реже сетевой карты).

Неисправности, которые обнаруживаются с пульта мониторинга К-100 или со страницы статистики пульта оператора К-100:

- Нефатальные неисправности памяти (скорректированные одиночные ошибки).

- Неисправности блоков питания.
- Отказы дисков систем хранения.
- Сбои дисков систем хранения / серверов / вычислительных узлов.

Кроме того, мониторинг К-100 и системы хранения данных выводят сообщения об ошибках не только на пульт, но и по электронной почте, а сообщения о пропадании напряжения, перегреве, протечке отопительных батарей в зале – звонком в комнате операторов и обзвоном по мобильным телефонам инженеров К-100.

Для облегчения обнаружения неисправностей по опыту эксплуатации К-100 был доработан пульт оператора К-100.

Устранение неисправностей аппаратуры

Неисправности материнских плат

Неисправность встроенной сетевой карты была один раз. Вычислительный узел целиком был заменен аналогичным из ЗИП, и в настоящее время используется в качестве стендового. Замена материнской платы признана нецелесообразной, т.к. свободные разъемы PCI-E есть, а стоимость серверной сетевой карты в разы меньше, чем материнской платы. На стендовом модуле и одной сетевой карты вполне достаточно.

Неисправность цепи датчика вскрытия крышки один раз была обнаружена по пульту мониторинга. Отремонтировать не удалось. Ложные события, во избежание переполнения журнала событий ВМС, периодически удаляются вручную.

Неисправности памяти

Обнаруживается неисправность памяти легко — она фиксируется с точностью до планки в журналах ВМС (корректируемые одиночные ошибки) и системном журнале (некорректируемые двойные ошибки). Если скорректированные ошибки появляются редко и в небольших количествах, то они неисправностью не считаются, в журнале неисправностей К-100 не фиксируются и никаких действий по их устранению не производится. Если таких ошибок много или они появляются часто, то они фиксируются в журнале неисправностей К-100 и

устраняются во время профилактики. Некорректируемые ошибки устраняются сразу — тут ждать профилактики опасно.

Модуль (здесь и далее под модулем подразумевается вычислительный узел или сервер) с неисправной памятью вынимается из стойки, отмеченная в журнале планка памяти маркируется, как подозрительная, меняется на исправную из ЗИП, а модуль ставится на стенд на один прогон тестом памяти memtest86+, как минимум на один цикл. Коррекция ошибок при этом не отключается, поскольку, если одиночные ошибки скорректируются, то они зафиксируются в журнале ВМС, причем с точностью до планки.

Если ошибка уходит за планкой, то модуль возвращается в строй, а подозрительная планка протирается спиртом и проверяется на стендовом модуле несколько циклов тестом memtest86+, до следующей профилактики или до момента, когда понадобится стендовый модуль. Если ошибка повторяется, то планка маркируется, как плохая и идет в гарантию или на списание, если не повторяется, то планка возвращается в ЗИП. Вопрос, снимать маркировку или не снимать (т.е. оставлять под подозрением или нет), обычно решается голосованием, поскольку у каждого инженера есть на этот счет свое аргументированное мнение.

Если ошибка остается за слотом, то новая планка опять заменяется на такую же из ЗИП, а замененная маркируется как подозрительная и проверяется еще раз. Другой вариант - перестановка между собой планок памяти из соседних слотов.

Если и в этом случае ошибка остается за слотом — модуль целиком отправляется в гарантию, поскольку производитель не настаивал на дальнейшей локализации ошибок (материнская плата или процессор). Послегарантийных отказов такого рода на К-100 не было.

Неисправности блоков питания

Устраняются заменой блока питания из ЗИП.

Неисправности дисков

Устраняются заменой из ЗИП. Неисправный диск сначала маркируется как подозрительный, после чего проверяется на стенде (диск из системы хранения предварительно вынимается из картриджа производителя). В зависимости от

результатов проверки диск идет либо на гарантию или списание, либо в ЗИП. В последнем случае диск маркируется местом, где он стоял раньше. В случае повторного возникновения ошибок диск идет на гарантию или списание.

Неисправности видеокарт

Устраняются заменой из ЗИП. Обычно обнаруживаются с пульта оператора К-100, реже по жалобам пользователей с формулировкой «на таком-то узле одна видеокарта работает в разы медленнее, чем другие» или «работает неправильно».

Неисправности систем охлаждения

Чаще всего по сообщениям IPMI вентиляторы не останавливаются раз и навсегда, а останавливаются или притормаживают на несколько минут или секунд. При этом в большинстве случаев IPMI выдает ложную тревогу. Приходится оценивать работу подозрительного вентилятора по косвенным признакам, т.е. по температурам материнской платы и планок памяти. Если эти температуры в пределах нормы, то они сравниваются с другим модулем, занятым той же задачей. Если модуль не занят, то сравнивается с незанятыми модулями. Если задача занимает единственный модуль, то сравнение откладывается до тех пор, пока будет с чем сравнивать. Если температуры не повышены по сравнению с исправными модулями, то никаких действий не предпринимается, а если повышены, то неисправность фиксируется в журнале неисправностей и в задании на профилактику.

Реально вентилятор ломался один раз и был заменен по гарантии. Все остальные случаи сводились к устранению плохого контакта. Процессорные вентиляторы не ломались ни разу.

Неисправности сетей

Чаще всего это плохой контакт. Ремонт кабеля Ethernet, замена отказавших карт или кабелей МВС-Экспресс из ЗИП требовались реже, замена отказавших карт Infiniband еще реже. Неисправность оптического кабеля Infiniband была один раз, кабель был заменен из ЗИП. Оптические кабели FibreChannel и медные кабели Infiniband не ломались ни разу, впрочем, их количество в десятки раз меньше, чем любых остальных.

Неисправность встроенной в материнскую плату сетевой карты Gigabit Ethernet была один раз, более подробно это показано в разделе «Неисправности материнских плат».

Перезагрузка коммутатора Infiniband производилась редко, а коммутаторов Gigabit Ethernet – ни разу.

Устранение неисправностей сети МВС-Экспресс занимает больше времени, чем остальных сетей. Приемы, применяющиеся только для МВС-Экспресс и не применяющиеся для других сетей:

- строго определенная последовательность включения коммутатора и ведущего модуля, включение или перезагрузка ведомых модулей;
- снятие входного питания (а не выключение кнопкой) и с коммутатора, и с модулей;
- перепрошивка адаптеров МВС-Экспресс;
- перепрошивка BIOS материнской платы производилась специалистами производителя до сдачи К-100 в эксплуатацию;
- перепрошивка коммутатора МВС-Экспресс производилась специалистами производителя до сдачи К-100 в эксплуатацию и два раза в начальный период эксплуатации.

Особенности эксплуатации вычислительных узлов с неисправными графическими ускорителями

Неисправный графический ускоритель не всегда можно заменить оперативно, в некоторых случаях приходится ждать профилактики, а то и закупки нового графического ускорителя, которая длится несколько недель в силу специфики закупки дорогостоящей аппаратуры в госучреждениях.

Вычислительные узлы с неисправными ускорителями не выводятся из эксплуатации, а временно блокируются для запуска задач, использующих графические ускорители.

К-100 доступен из сети Интернет, поэтому большое значение имеет защита К-100 от возможного взлома. Эта защита идет по двум направлениям: фильтрация трафика на граничных маршрутизаторах и анализ попыток проникновения на сервер доступа к К-100.

При фильтрации трафика на граничном маршрутизаторе мы руководствовались правилом разрешать только те пакеты, без которых доступ к К-100 был бы невозможен. Благодаря этому незарегистрированные пользователи не могли искать дырки в установленном программном обеспечении. Фактически доступ к К-100 возможен только по протоколу ssh.

Анализ попыток проникновения направлен на предотвращение попыток подбора пароля нелегитимными пользователями. Для этого анализируется протокол работы ssh сервера. Используются два критерия определения попыток перебора паролей: если в течение короткого времени с одного IP адреса происходит много попыток неправильного ввода имени пользователя и пароля, такой IP адрес блокируется. Вторым вариантом безусловного блокирования IP адреса является попытка входа от имени суперпользователя или еще нескольких имен, часто используемых при подборе пароля. Были рассмотрены несколько систем, предназначенных для подобного анализа, однако ни одна из них не была признана удовлетворительной, и было решено написать свою.

В заключение можно отметить, что вычислительный комплекс К-100 достаточно надежен, работает в круглосуточном режиме с постоянной загрузкой более 90%.

Литература

1. С. С. Андреев, С. А. Дбар, А. А. Давыдов, А. О. Лацис, Г. П. Савельев, В. Л. Орлов, Е. А. Плоткина, И. В. Простов. Гибридный суперкомпьютер К-100: что дальше? "Информационные технологии и вычислительные системы", ISSN 2071-8632 №2, 2012г., С. 29-35.
2. Г.С. Елизаров, В.С. Горбунов, В.К. Левин, В.В. Корнеев, А.О. Лацис, А.А. Соколов, Д. В. Андрюшин, Ю.А. Климов. Коммуникационная сеть МВС-Экспресс. «Вычислительные методы и программирование» т. 13 (2012г) ISSN 1726-3522 Раздел 2, С. 103-109
3. Абалакин И.В., Бахвалов П.А., Бобков В.Г., Козубская Т.К., Аникин В.А., Численное моделирование аэродинамических и акустических характеристик винта в кольце // Математическое моделирование. 2015. том 27. № 10. С. 125-144.
4. Дубень А.П. Вычислительные технологии для моделирования сложных пристеночных турбулентных течений на неструктурированных сетках // Математическое моделирование. 2013. том 25. № 9. С. 4-16.
5. Суков С. А., Горобец А. В., Богданов П. Б. Адаптация и оптимизация базовых операций газодинамического алгоритма на неструктурированных сетках для расче-

- тов на массивно-параллельных ускорителях // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2013. том 53. № 8. С. 1360–1373.
6. Богданов П.Б., Ефремов А.А., Горобец А.В., Суков С.А. Применение планировщика для эффективного обмена данными на суперкомпьютерах гибридной архитектуры с массивно-параллельными ускорителями // Вычислительные методы и программирование. 2013. т.14. С. 122-134.
 7. Абалякин И.В., Бахвалов П.А., Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К. Параллельный программный комплекс NOISE7TE для крупномасштабных расчетов задач аэродинамики и аэроакустики // Вычислительные методы и программирование. 2012. т.13. С.110-125.
 8. А.В. Березин, А.С. Воронцов, М.Е. Жуковский, М.Б. Марков, С.В. Пароткин. Метод частиц для электронов в рассеивающей среде. ЖВМ И МФ, 2015, том 55, № 9, С. 1566–1578.
 9. Л.П. Басс, Н.И. Коконков, О.В. Николаева, В.С. Кузнецов. Решение задач радиационной защиты на неструктурированных тетраэдрических сетках. Сборник докладов 10-й Юбилейной Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», 22-25 сентября 2015 г. Москва, Обнинск.

Басс Леонид Петрович. Старший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский государственный университет в 1964 году. Кандидат физико-математических наук. Автор 110 печатных работ и одной монографии. Область научных интересов: методы, алгоритмы и программы численного решения уравнения переноса. E-mail: bass@kiam.ru

Дбар Светлана Алексеевна. Ведущий электроник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончила Московский институт электронного машиностроения в 1975 году. Автор 10 печатных работ. Область научных интересов: высокопроизводительные вычисления и трансляторы. E-mail: ssa@kiam.ru

Лацис Алексей Оттович. Заведующий сектором ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский государственный университет в 1980 году. Доктор физико-математических наук. Автор 65 печатных работ. Область научных интересов: высокопроизводительные вычисления. E-mail: aleksejlacis@yandex.ru

Марков Михаил Борисович. Заведующий сектором ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский государственный университет в 1985 году. Доктор физико-математических наук. Автор 100 печатных работ. Область научных интересов: математическое моделирование. E-mail: mbmarkov@gmail.com

Савельев Григорий Павлович. Главный специалист ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский авиационный институт в 1979 году. Автор 8 печатных работ. Область научных интересов: вычислительная техника. E-mail: savel@kiam.ru

Смолянов Юрий Павлович. Начальник отдела ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский авиационный институт в 1966 году. Кандидат физико-математических наук. Автор 30 печатных работ. Область научных интересов: вычислительная техника. E-mail: smol@kiam.ru

Храмцов Максим Юрьевич. Старший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Окончил Московский институт нефтехимической и газовой промышленности в 1986 году. Автор 11 печатных работ. Область научных интересов: системное программное обеспечение.