

## Лаборатория ССКЦ

Зав. лабораторией д.т.н. Глинский Б. М.

### Важнейшие достижения

#### **Алгоритмическое и программное обеспечение для высокопроизводительных суперЭВМ на основе со-дизайна, имитационного моделирования и оценки энергоэффективности алгоритма**

Предложена методика разработки алгоритмического и программного обеспечения для суперкомпьютеров пета и эксафлопсного уровня, включающая три связанных этапа: первый определяется со-дизайном, под которым понимается адаптация вычислительного алгоритма и математического метода к архитектуре суперкомпьютера на всех этапах решения задачи; на втором предполагается создание упреждающего алгоритмического и программного обеспечения для наиболее перспективных суперЭВМ на основе имитационного моделирования под заданную архитектуру суперкомпьютера; на третьем оценивается энергоэффективность алгоритма при различных реализациях на данной архитектуре, либо на различных архитектурах.

Данный подход был апробирован на вычислительно сложных задачах астрофизики, физики плазмы и геофизики. Понятие со-дизайна в контексте математического моделирования физических процессов понимается как построение физико-математической модели явления, численного метода, параллельного алгоритма и его программной реализации, эффективно использующей архитектуру суперкомпьютера.

Имитационное моделирование позволило исследовать масштабируемость алгоритмов решения вышперечисленных задач, определить оптимальное число вычислительных ядер для реализации вычислений. Показано, что алгоритмы решения данных задач для заданной архитектуры суперкомпьютера эффективно могут использовать около 1 млн вычислительных ядер.

Для повышения энергоэффективности алгоритмов решения указанных задач каждый программный код оптимизировался по следующим трем направлениям: работа с процессором и оперативной памятью, работа с сетевыми устройствами и работа с периферийными устройствами. Для эффективной работы с процессором и памятью использовался пакет Intel Parallel Studio XE 2016 Beta, включающий Intel Vectorization Advisor, который анализирует код и выдает предложения для оптимизации программы с целью максимизации эффективности использования векторных инструкций. Использование этого продукта дало прирост производительности в 30 % для астрофизического кода на процессорах семейства Intel Sandy Bridge. С использованием профилировщика Nvidia Visual Profiler проанализирована программа моделирования релаксации мощного электронного пучка в плазме на основе метода частиц-в-ячейках на графическом ускорителе Nvidia Kepler в силу того, что именно на этом ускорителе была получена наибольшая производительность. Энергоэффективность, определяемая в данном случае как отношение вычислительной производительности к потребляемой мощности, равна 60.8 Мфлопс/Вт.

В результате применения интегрального подхода разработан набор параллельных программ для решения данных физических задач.

Д.т.н. Глинский Б. М., к.ф.-м.н. Черных И. Г., д.ф.-м.н. Куликов И. М., к.ф.-м.н. Снытников А. В., к.т.н. Винс Д. В., Сапетина А. Ф.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Glinskiy B., Sapetina A., Martynov V., Weins D., Chernykh I. The hybrid-cluster multilevel approach to solving the elastic wave propagation problem // Communications in Computer and Information Science book series. Vol. 753. Springer, 2017. P. 261–274.
2. Glinsky B., Kulikov I., Chernykh I., et al. The co-design of astrophysical code for massively parallel supercomputers // Lecture Notes in Comp. Sci. 2017. Vol. 10049. P. 342–353. Springer, Heidelberg. DOI: 10/1007/978-3-319-49956-7\_27.
3. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Sapetina A., Weins D. The integrated approach to solving large-size physical problems on supercomputers // Труды международной конференции "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 25–26 сент. 2017 г. М.: Изд-во МГУ, 2017. С. 432–443.
4. Kulikov I., Chernykh I., Glinsky B. Numerical simulations of astrophysical problems on massively parallel supercomputers // AIP Conf. Proc. 1776, 090006. 2016. DOI: 10.1063/1.4965370.
5. Kulikov I., Chernykh I., Glinskiy B., Weins D., Shmelev A. Astrophysics simulation on RSC massively parallel architecture // Proc. IEEE/ACM 15th Intern. symp. on cluster, cloud, and grid computing "CCGrid 2015". 2015. P. 1131–1134.
6. Glinskiy B., Kulikov I., Snytnikov A., Romanenko A., Chernykh I., Vshivkov V. Co-design of parallel numerical methods for plasma physics and astrophysics // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2014. V. 1, iss. 3. P. 88–98.

#### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершающимся в 2017 г. в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР "Разработка суперкомпьютерных технологий и методов моделирования масштабируемости алгоритмов для высокопроизводительных вычислительных систем".**

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0009.

Руководитель – д.т.н. Глинский Б.М.

В рамках развития работ по суперкомпьютерным технологиям исследована масштабируемость параллельных алгоритмов с применением имитационного моделирования. Исследовалась возможность масштабирования численного моделирования задач сейсмологии, астрофизики и физики плазмы на большое число вычислительных ядер. Особенностью параллельных сеточных методов является возможность геометрической декомпозиции расчетной области с последующим обменом граничных значений только между соседними вычислительными узлами. При выполнении вычислений используются однотипные нити-вычислители, совершающие циклы расчета в своей подобласти и обмены граничными значениями с "соседними" нитями. В каждой итерации цикла могут выполняться несколько блоков вычислений и обменов в зависимости от решаемой задачи. Процесс обменов может происходить как в синхронном, так и в асинхронном режиме.

В качестве примера ниже приведены результаты исследования масштабируемости алгоритмов для задачи сейсмологии, решаемой в терминах скоростей смещения и напряжения и в терминах смещений с использованием методики со-дизайна (рис. 1).

Расчеты проводились на кластере НКС-30Т с графическими ускорителями. На рис. 1,а приведены результаты верификации модельных расчетов (сравнивались результаты реальных и модельных расчетов для двух подходов решения сейсмической задачи); на рис. 1,б – результаты модельных расчетов. Показано, что при решении данной задачи можно эффективно использовать около 1 млн вычислительных ядер.

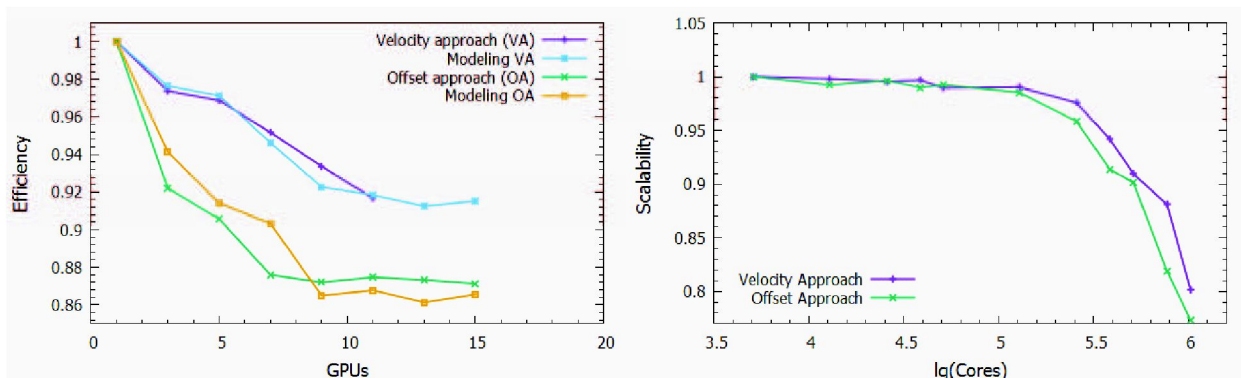


Рис. 1. Результаты исследования масштабируемости алгоритмов для задачи сейсмоки

В рамках работ по разработке кинетических решателей в рамках проекта CosmoPhi велись работы по оптимизации кинетических решателей для Intel Xeon Phi. Оптимизирована работа с оперативной памятью для использования больших матриц правых частей систем ОДУ. Реализована возможность выбора места хранения расчетных массивов – 16 гигабайтный MCDRAM кэш процессора Intel Xeon Phi или оперативная память узла. На синтетическом тесте производительности (матрица правых частей системы ОДУ размерностью  $1000 \times 1000$ ) показана разница в производительности между кэшем Intel Xeon Phi и оперативной памятью узла в четыре раза. Intel Xeon Phi 7290 имеет 8 контроллеров памяти MCDRAM против 2 контроллеров DDR памяти. Разница в производительности кода в четыре раза обусловлена тем, что число контроллеров MCDRAM в четыре раза больше, чем контроллеров DDR памяти. Так как в ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН закуплена специализированная память на основе технологии Intel Optane, выполнены работы по оптимизации кода для использования бесграничной памяти Intel Optane. В рамках проводимых работ оптимизирован код CosmoPhi с целью увеличения производительности. После оптимизации арифметическая интенсивность наиболее ресурсоемкого участка кода увеличилась более чем в три раза. Показано, что код эффективно использует кэш процессора, так как скорость обмена с памятью превзошла пиковую производительность MCDRAM кэш памяти процессора.

По разработанному программному обеспечению подана заявка в Роспатент на получение свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 16-07-00434** "Разработка алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ на основе интегрального подхода".

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Выполнено исследование возможностей интегрального подхода к решению вычислительно сложных задач из различных областей знаний (сейсмика, астрофизика, физика плазмы) как для различных архитектур современных компьютеров, так и гипотетических с применением методов имитационного моделирования.

В контексте со-дизайна проведено сравнение разработанных параллельных реализаций решения задачи динамической теории упругости, записанной в разных постановках для гибридных кластеров, оснащенных графическими картами; исследован новый векторизованный численный метод для решения уравнений гравитационной газовой и магнитной газовой динамики, основанный на комбинации метода разделения операторов, метода Годунова и HLL-метода. Для программной реализации разработанных векторизованных алгоритмов

достигнута производительность в размере 245 гигафлопс на ускорителе Intel Xeon Phi 7250 и производительность 302 гигафлопс на ускорителе Intel Xeon Phi 7290A. Аналогичный подход был применен и для проблемы физики плазмы.

Масштабируемость полученных алгоритмов была проверена с использованием системы моделирования AGNES. В нашем случае в процессе моделирования можно определить оптимальное число ядер для конкретной архитектуры. Это позволяет исследовать масштабируемость алгоритма, не прибегая к прямым трудоемким вычислениям. Показано, что алгоритмы решения перечисленных выше задач для заданной архитектуры суперкомпьютера эффективно могут использовать примерно 1 млн вычислительных ядер.

Энергоэффективность алгоритма для геофизической задачи была рассмотрена на суперкомпьютерах, оснащенных графическими процессорами Tesla 2090M и K40M. Принимая во внимание особенности геофизического кода, удалось достигнуть энергоэффективности 9 гигафлопс/Вт и 12 гигафлопс/Вт для решения задачи в напряжениях и в смещениях соответственно на Nvidia Tesla 2090 и K40M без изменения исходного кода. Для астрофизического кода удалось уменьшить время MPI операций до 7–8 % от общего времени выполнения программы и добиться уровня разбалансировки процессов не более 2–3 % между всеми нитями процессов. Такие показатели позволили получить 75-процентную эффективность (weak scalability) распараллеливания на 224 Intel Xeon Phi (более 50К ядер). Применяя этот же подход для кода физики плазмы была получена 92-процентная эффективность распараллеливания на 500 Tesla GPUs (более 250 К ядер).

В результате применения интегрального подхода разработан набор параллельных программ для решения данных физических задач. Он способен выполнять 3D-моделирование в приемлемое время, при условии достаточности ресурсов. Показана возможность исполнения разработанных алгоритмов на суперЭВМ петафлопсного класса.

### **Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН**

**Программа Президиума РАН № 6, проект 14.2 "Создание высокопроизводительной информационно-вычислительной системы на базе ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН".**

Номер государственной регистрации НИР 0315-2015-0014.

Координаторы: акад. РАН Велихов Е. П., акад. РАН Савин Г. И., акад. РАН Жижченко А. Б.

Руководитель: д.т.н. Глинский Б. М.

В марте 2017 г. в ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН установлен новой суперкомпьютерной кластер НКС-1П на базе решения "РСК Торнадо" с жидкостным охлаждением, общие вычислительные ресурсы центра были увеличены почти в два раза – на 71 % до уровня 197 терафлопс. Аналогичная вычислительная система установлена в МСЦ РАН. С технической точки зрения оба проекта – в суперкомпьютерных центрах РАН в Москве и СО РАН в Новосибирске – уникальны, поскольку это первое в мире внедрение серверных вычислительных узлов с жидкостным охлаждением в режиме "горячая вода" на базе самых мощных 72-ядерных процессоров Intel® Xeon Phi™ 7290 (были представлены в ноябре 2016 г.), а также на основе 16-ядерных процессоров Intel® Xeon® E5-2697A v4. Кроме того, в ходе реализации этих уникальных проектов впервые в России и СНГ коммуникационные подсистемы двух кластерных комплексов были реализованы на основе высокоскоростного межузлового соединения Intel® Omni-Path со скоростью передачи данных 100 Гбит/с. Новый кластер подключен к суперкомпьютерной сети GridННЦ.

Вычислительный кластер НКС-1П работает под управлением ОС CentOS Linux 7.3. На нем установлены: система управления кластерами РСК "БазИС" 3.2 и система управления очередью заданий SLURM 17.02; доступные всем пользователям прикладные пакеты Quantum Espresso в варианте как для процессоров Intel Broadwell, так и для Intel Knights Landing (KNL); Gaussian 09, Gromacs 2016.3 и NAMD 2.12.

В начале декабря 2017 г. кластер НКС-1П расширен в расчете на решение больших задач, требующих большого объема оперативной памяти. Стандартная память вычислительного узла (128 Гб) расширена за счет установки Intel Optane Memory объемом 768 Гб. Стало возможным выполнение счетных задач на гетерогенной системе (составленной из узлов различной конфигурации) в рамках одной очереди заданий. Такое решение изначально было реализовано и протестировано на задачах геофизики совместно с сотрудниками ИНГГ СО РАН на кластере НКС-30Т с возможностью реализации на современной архитектуре.

За четыре месяца с окончания тестовой эксплуатации на кластере зарегистрированы 70 пользователей из 9 учреждений СО РАН, двух учреждений РАН и двух университетов (НГУ и МГУ), из них 35 – новые пользователи ССКЦ.

Отметим, что в тестовом режиме ресурсы двух центров коллективного пользования – Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН) в Москве и Сибирского суперкомпьютерного центра Сибирского отделения РАН (ССКЦ ИВМиМГ СО РАН) в Новосибирске – были объединены в территориально распределенный вычислительный комплекс с использованием высокоскоростного защищенного канала передачи данных (10 Гбит/с). Высокопроизводительный защищенный канал связи создан специалистами группы компаний РСК, компаний "С-Терра СиЭсПи" и "Милеком", а также Института вычислительных технологий СО РАН. В результате проведенного тестирования продемонстрирована возможность передачи данных по защищенному каналу со скоростью до 4 ТБ в час (около 9 Гбит/с) между двумя центрами, расположенными друг от друга на расстоянии примерно 3000 км. Защита информации обеспечивается в соответствии с отечественными криптографическими алгоритмами ГОСТ Р 34.10-2012, ГОСТ Р 34.11-2012, VKO\_GOSTR3410\_2012\_256, ГОСТ 28147, реализованными в криптошлюзах С-Терра на базе унифицированных высокопроизводительных серверов "РСК Торнадо".

На территориально распределенном вычислительном комплексе МСЦ-ССКЦ проведен расчет на перспективном решателе систем гиперболических уравнений ИВМиМГ СО РАН (газовая динамика, магнитная газовая динамика и др.). Использованы вычислительные узлы кластера в Новосибирске (ССКЦ) и система хранения данных в Москве (МСЦ). Эксперимент показал, что скорость расчета всего в два раза ниже, чем при использовании только локальной кластерной установки.

С учетом того, что ССКЦ СО РАН подключен к суперкомпьютерной сети GridННЦ 10 Гбит, пользователи учреждений ФАНО СО РАН в перспективе имеют возможность решать свои научные задачи с использованием совместных ресурсов МСЦ-ССКЦ.

В течение 2017 г. продолжались работы по эксплуатации виртуализированной вычислительной ГРИД-среды ННЦ, основанной на суперкомпьютерной 10 Гбит сети ННЦ и включающей вычислительные ресурсы ССКЦ, ИЯФ и НГУ. Виртуализированная ГРИД-среда активно использовалась для обработки данных экспериментов по физике высоких энергий, осуществляемых в ИЯФ СО РАН как на собственных ускорителях, так и на Большом адронном коллайдере. Со стороны ССКЦ в виртуальный кластер входит подсистема кластера НКС-30Т на двойных блейд-серверах HP BL2x220 G6. Рассматривается возможность включения в ГРИД нового кластера НКС-1П.

**Программа Президиума РАН № 18, проект 16.4 "Моделирование и экспериментальные исследования вулканических структур методами активной и пассивной сейсмологии".**

Номер государственной регистрации НИР 0315-2015-0016.

Координатор – акад. РАН Лаверов Н. П.

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Продолжались работы по выбору оптимального алгоритма численного моделирования распространения сейсмических волн в 3D средах, характерных для магматических вулканов. Разработан алгоритм и создано соответствующее параллельное ПО для решения этой задачи на гетерогенном кластере, использующем графические ускорители; исследована масштабируемость алгоритма. Показано, что при реализации этого алгоритма на данной архитектуре вычислительного кластера можно эффективно использовать примерно 1 млн. вычислительных ядер. Проведена серия вычислительных экспериментов на основе разработанного ПО для приближенной геофизической модели стратовулкана Эльбрус при различных диаметрах выводящего канала и различных положениях контакта жидкой и твердой фаз в нем. Во всех экспериментах рассчитанное волновое поле от точечного источника представляет собой сложное явление и существенно зависит от геометрии, размеров и свойств включений. Результаты численных экспериментов показали, что можно выделить кинематические отличия в волновом поле и по ним приблизительно восстановить уровень магмы в выводящем канале.

В рамках проекта выполнена адаптация 3D-алгоритма моделирования сейсмических полей к архитектуре кластера НКС-1П с новыми вычислительными узлами на базе Intel KNL (16 узлов, на каждом один Intel Xeon Phi 7290 KNL 1.5 ГГц, 72 ядра, 16 ГБ кэш MCDRAM, RAM 96 Гбайт), установленного в ССКЦ в 2017 году. Проведены тестовые расчеты на небольшой задаче, размер области 100×100×600 точек в течение 640 итераций, гипертрейдинг отключен (1 поток – 1 ядро).

### Публикации

#### Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Kulikov I., Chernykh I., Protasov V. The numerical modelling of MHD astrophysical flows with chemistry // J. of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 894. Art. Num. 012132. DOI: 10.1088/1742-6596/894/1/012132.
2. Kulikov I., Glinsky B., Chernykh I., Nenashev V., Shmelev A. Numerical simulations of astrophysical problems on massively parallel supercomputer // IEEE Proc. 2016 11th Intern. forum on strategic technology "IFOST 2016". INSPEC Accession Num. 16760377. DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884117.

#### Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Glinskiy B., Sapetina A., Martynov V., Weins D., Chernykh I. The hybrid-cluster multilevel approach to solving the elastic wave propagation problem // Communications in Computer and Information Science book series. Vol. 753. Springer, 2017. P. 261–274. DOI: 10.1007/978-3-319-67035-5\_19.
2. Glinsky B., Kulikov I., Chernykh I., et al. The co-design of astrophysical code for massively parallel supercomputers // Lecture Notes in Comp. Sci. 2017. Vol. 10049. P. 342–353. Springer, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-319-49956-7\_27.
3. Glinskiy B. M., Kulikov I. M., Chernykh I. G., Snytnikov A. V., Sapetina A. F., Weins D. V. The integrated approach to solving large-size physical problems on supercomputers // RuSCDays 2017 CCIS. 2017. Vol. 793. P. 278–289. DOI: 10.1007/978-3-319-71255-0\_22.
4. Kataev N., Kolganov A., Titov P. Automated parallelization of a simulation method of elastic wave propagation in media with complex 3D geometry surface on high-performance

heterogeneous clusters // Springer International Publishing Parallel Computing Technologies. 2017. № 10421. P. 32–41. DOI: 10.1007/978-3-319-62932-2.

5. Glinsky B., Kulikov I., Chernykh I., et al. The co-design of astrophysical code for massively parallel supercomputers // Lect. Notes in Comp. Sci. 2017. Vol. 10049. P. 342–353. DOI: 10/1007/978-3-319-49956-7\_27.

6. Glinskiy B., Kuchin N., Kostin V., Solovyev S. Parallel computations for solving 3D Helmholtz problem by using direct solver with low-rank approximation and HSS technique // Lect. Notes in Comp. Sci. (including subseries Lecture Notes in Artif. Intelligence and Lecture Notes in Bioinform.). 2017. Vol. 10187. P. 342–349. DOI: 10.1007/978-3-319-57099-0\_37.

7. Kulikov I., Chernykh I., Protasov V. The numerical modelling of MHD astrophysical flows with chemistry // J. of Phys.: Conf. Ser. 2017. V. 894. Article Num. 012132. DOI: 10.1088/1742-6596/894/1/012132.

### **Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ**

1. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Sapetina A., Weins D. The integrated approach to solving large-size physical problems on supercomputers // Труды международной конференции "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 25–26 сент. 2017 г. М.: Изд-во МГУ, 2017. С. 432–443.

2. Катаев Н. А., Колганов А. С., Титов П. А. Автоматизированное распараллеливание задачи моделирования распространения упругих волн в средах со сложной 3D геометрией поверхности на кластеры разной архитектуры // Короткие статьи и описания плакатов 11-й Междунар. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2017), Казань, 3–7 апр. 2017 г. С. 341–355.

3. Катаев Н. А., Колганов А. С., Титов П. А. Автоматизированное распараллеливание задачи моделирования распространения упругих волн в средах со сложной 3d-геометрией поверхности на кластеры разной архитектуры // Вестник УГАТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. Т. 21, № 3. С. 87–96.

4. Глинский Б. М., Черных И. Г., Куликов И. М., Снытников А. В., Сапетина А. Ф., Винс Д. В. Интегральный подход к разработке алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ: некоторые результаты // Труды Международной конференции по вычислительной и прикладной математике "ВПП'17" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 25 июня – 14 июля [Электрон. ресурс]. <http://conf.nsc.ru/cam17/ru/proceedings>. С. 204–210.

5. Кабанихин С. И., Куликов И. М., Шишленин М. А. О методе высокого порядка точности для решения прямых и обратных задач гравитационной газовой динамики в сферической симметрии // Там же. С. 348–356.

### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Intel HPC Dev Con 2017, Denver (USA), 11–12 Nov., 2017 – 2 доклада (Черных И. Г.).  
2. German-russian conference "Supercomputing in scientific and industrial problems", Stuttgart (Germany), 27–29 Mar., 2017 – 2 доклада (Черных И. Г.).

3. "Параллельные вычислительные технологии", Казань, 3–7 апреля 2017 г. – 1 доклад (Сапетина А. Ф.).

4. Russian supercomputing days 2017, Moscow, Sept. 25–26, 2017 – 2 доклада (Глинский Б. М., Черных И. Г.).

5. Intel artificial intelligence day – Искусственный интеллект, Новосибирск, 30 ноября 2017 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

6. Международная конференция "Вычислительная и прикладная математика 2017", Новосибирск, 25–30 июня 2017 г. – 3 доклада (Черных И. Г., Куликов И. М.).
7. Национальный суперкомпьютерный форум – 2017, Переславль-Залесский, 28 ноября – 1 декабря 2017 г. – 3 доклада (Куликов И. М.).
8. Открытая конференция ИСП РАН им. В. П. Иванникова, Москва, 30 ноября – 1 декабря 2017 г. – 1 доклад (Куликов И. М.).
9. "Центры коллективного пользования и уникальные научные установки организаций, подведомственных ФАНО России", Москва, 25–27 октября 2017 г. – 2 доклада (Черных И. Г.)

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Глинский Б. М.:
  - член Программного комитета "Russian Supercomputing Days 2017", Moscow, September 25–26, 2017;
  - член Программного комитета Международной конференции "Вычислительная и прикладная математика 2017" (ВПМ 2017), Новосибирск, 25–30 июня 2017 г.
  - член Программного комитета Международной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ) 2017, Казань, 3–7 апреля 2017 г.
2. Черных И. Г.:
  - член Программного комитета "Russian Supercomputing Days 2017", Moscow, September 25–26, 2017;

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 2  
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 7  
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 14  
 Докладов на конференциях – 16, в том числе 1 пленарный.  
 Участников оргкомитетов конференций – 4

### Кадровый состав

- |                   |                     |                |
|-------------------|---------------------|----------------|
| 1. Глинский Б.М.  | зав. лаб.           | д.т.н.         |
| 2. Черных И.Г.    | с.н.с.              | к.ф.-м.н.      |
| 3. Винс Д.В.      | м.н.с.              | к.т.н., 0.5    |
| 4. Титов П.А.     | м.н.с.              | 0.25           |
| 5. Кучин Н.В.     | гл. спец. по СПО    |                |
| 6. Ломакин С.В.   | ведущ. инженер      |                |
| 7. Макаров И.Н.   | ведущ. программист  |                |
| 8. Зернова Л.В.   | ведущ. программист, | 0.25           |
| 9. Кононов А.А.   | инженер-электроник  | 0.75           |
| 10. Сапетина А.Ф. | инженер             | 0.25, аспирант |

Черных И. Г., Ломакин С. В., Титов П. А., Сапетина А. Ф. – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

Глинский Б. М. – зав. кафедрой ММФ НГУ  
 Сапетина А. Ф. – ассистент кафедры ММФ НГУ

### Руководство аспирантами

1. Сапетина А.Ф. – 3-й курс аспирантуры