

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ  
Сибирского отделения Российской академии наук**

**Важнейшие результаты  
научных исследований в 2014 г.**

**Приоритетное направление I.2 Вычислительная математика**

**Программа I.2.1. Вычислительные методы в задачах естествознания**

**1. Минимизация вычислительной трудоемкости смещенных оценок метода Монте-Карло.** Михайлов Г.А., советник РАН, чл.-корр. РАН, Лотова Г.З., с.н.с., к.ф.-м.н.,

Численное статистическое моделирование свободного пробега частицы для столкновительной модели процесса переноса с учетом ускорения внешним силовым полем реализуется шагами по времени. Построена новая конструктивная оценка соответствующей детерминированной относительной погрешности, которая позволяет выбрать подходящую величину шага. Стандартные статистические “локальные оценки” плотности потока частиц являются смещенными вследствие зануления вкладов от столкновений в “локальном шаре” малого радиуса для ограничения дисперсии. Получены практически эффективные оценки соответствующей относительной погрешности. Дополнительно осуществлена равномерная оптимизация функциональной оценки плотности распределения частиц типа гистограммы в предположении “пуассоновости” соответствующего статистического ансамбля. Оказалось, что в оптимальных (по трудоемкости) вариантах рассмотренных алгоритмов детерминированная погрешность близка к статистической.

Публикации:

1. Михайлов Г.А., Лотова Г.З. О выборе шага по времени и вероятности столкновения в численном статистическом моделировании переноса частиц с учетом ускорения внешним силовым полем // Доклады Академии наук, том 458, №3, с.272-275 (2014)
2. Лотова Г.З., Михайлов Г.А. Исследование и улучшение смещенных оценок метода Монте-Карло // Журнал вычислительной математики и математической физики, том 55, № 1, с.8-19 (2015) (в печати)

Конференции:

1. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики - 2014». Новосибирск. Россия. 8-11 июня 2014 г. Пленарный доклад: Михайлов Г.А., Лотова Г.З. Погрешности стандартных смещенных оценок метода Монте-Карло.
2. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики - 2014». Новосибирск. Россия. 8-11 июня 2014 г. Лотова Г.З. Оценка плотности частиц, а также коэффициента и радиуса диффузии, при моделировании электронных лавин в газах.
3. Международный конгресс “Потоки энергии и радиационные эффекты”, Томск, Россия, 21-26 сентября 2014, Г.З.Лотова Уменьшение трудоемкости моделирования методом Монте-Карло электронных лавин в газах.

**2. Численное статистическое моделирование переноса излучения терагерцового лидара в облачной аэрозольной атмосфере для решения задач дистанционного зондирования жидкокапельных облаков. Каблукова Е.Г., мнс, к.ф.-м.н., Каргин Б.А., зав. лабораторией, д.ф.-м.н.**

На основе статистического моделирования получены численные оценки временного распределения интенсивности сигнала, излучаемого терагерцовым лидаром и отраженного нижней кромкой облаков для различных вариантов реализаций начальных и граничных оптико-геометрических условий с учетом типа облачности и ослабления парами воды на трассе зондирования. Проанализирована структура локационного сигнала в зависимости от фона многократного рассеяния, длины волны излучения, концентрации паров воды в атмосфере.

Результаты этих исследований опубликованы в работах:

1. Каблукова Е.Г., Каргин Б.А., Лисенко А.А., Матвиенко Г.Г., Чесноков Е.Н. Численное статистическое моделирование распространения терагерцового излучения в облачном аэрозоле // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, №11. С. 939 – 948.
2. E. G. Kablukova, B. A. Kargin, A. A. Lisenko. Influence of large and supersize droplets on propagation of LIDAR radiation in cloud aerosol: numerical statistical simulation. // Proc. SPIE 9242, Remote Sensing 2014. 9242-22 (in press).
3. Evgeniya Kablukova and Boris Kargin. Optimizing Local Estimates of the Monte Carlo Method for Problems of Laser Sensing of Scattering Media. // Topics in Statistical Simulation, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics 114, P. 307 – 315, DOI 10.1007/978-1-4939-2104-1\_29. Springer Science + Business Media, New York, 2014.

Конференции:

1. Каблукова Е.Г. Каргин Б.А. Дискретно-стохастическая модификация алгоритма вычисления углового распределения направлений вылета из плоского рассеивающего слоя // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики -2014», Академгородок. Новосибирск. 8-11 июля 2014г.
2. E.G. Kablukova, B.A. Kargin, A.A. Lisenko. Influence of large and supersize droplets on propagation of Lidar radiation in cloud aerosol. Numerical statistical simulation. // SPIE Remote Sensing 2014. Amsterdam. Netherland. 22-25 September 2014.
3. Е. Г. Каблукова, Б. А. Каргин, А. А. Лисенко. Статистическое моделирование распространения лидарного сигнала в облачном слое с учетом поляризации // XXI Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». Томск. 25-28 ноября 2014 г.

**3. Метод определения производных по параметрам функционалов, содержащих время первого выхода диффузионного процесса из области. Гусев С.А., с.н.с.**

Разработан метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов, содержащих время первого выхода случайного процесса из области. Предложенная формула для вычисления этих параметрических производных не содержит производную времени первого выхода диффузионного процесса из области и доказана (в отличие от полученной ранее автором формулы) без предварительного трудно проверяемого предположения о существовании среднеквадратических производных времени первого выхода по параметрам. Результат получен в соавторстве с Н.Г. Докучаевым, Куртинский университет, Австралия.

Публикации:

1. Гусев С.А., Докучаев Н.Г. О дифференцировании функционалов, содержащих время первого выхода диффузионного процесса из области // Теория вероятностей и ее применения.- 2014.- Т.59, №1. - С. 159-168 .

**4. Построение и исследование потоковых схем расщепления для решения многомерных уравнений векторного теплового потока** Ю.М. Лаевский, рук. лаб., д.ф.-м.н., К.В. Воронин, инженер

Предложен подход к построению потоковых схем расщепления для решения задач теплопереноса. В основе подхода лежит использование известных устойчивых схем расщепления для скалярной величины, в качестве которой выступает дивергенция векторного потока. Такая конструкция носит в достаточной степени универсальный характер, и, в частности, были построены потоковые схемы на основе следующих схем-преобразов: схемы переменных направлений, локально-одномерной схемы, схемы предиктор-корректор, схемы Дугласа-Гана в трехмерном случае. Для двумерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза переменных направлений, и трехмерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза Дугласа-Гана, доказана устойчивость по начальным данным в предположениях, при которых имеет место устойчивость для указанных схем-преобразов.

Публикации:

1. К.В. Воронин, Ю.М. Лаевский. Об одном подходе к построению потоковых схем расщепления в смешанном методе конечных элементов. Математическое моделирование, 2014, т.26, №12, стр. 33-47.

2. Воронин К.В., Лаевский Ю.М. Об устойчивости некоторых потоковых схем расщепления, Сибирский журнал вычислительной математики, 2015, т.18, №2 (в печати).

Конференции:

1. Воронин К.В. Априорные оценки для схем расщепления в смешанном методе конечных элементов. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН-2014, Новосибирск, 7-9 апреля 2014 г. <http://www.sccc.ru/news/cfpmku2014.pdf>

2. K.V. Voronin, Y.M. Laevsky. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed FEM for heat transfer problems. Sixth Conference on Finite Difference Methods: Theory and Applications FDM-2014, Lozenetz, Bulgaria, June 18 – 23, 2014. <http://icm.krasn.ru/ftp/conferences/2014/72/Sixthconference2.pdf>

3. Voronin K., Laevsky Yu. Stream splitting schemes in numerical simulation of geodynamics. Second Russian – French Workshop “Computational Geophysics”, Berdsk, September 22 – 25, 2014. [http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific\\_program](http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific_program)

4. К.В. Воронин, Ю.М. Лаевский. Об одном подходе к построению векторных схем расщепления в смешанном МКЭ для задач теплопереноса. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики», Новосибирск, 8 - 11 июля 2014 г. [http://conf.nsc.ru/amca14/amca14\\_status](http://conf.nsc.ru/amca14/amca14_status)

**5. Разработка и исследование высокопроизводительных методов и технологий моделирования трехмерных электромагнитных полей в частотной области.** Д.С. Бутюгин, м.н.с., В.П. Ильин, г.н.с., д.ф.-м.н.

Разработаны и исследованы методы расчета трехмерных электромагнитных полей в широком диапазоне частот на основе решения смешанных краевых задач для комплексного

векторного уравнения Гельмгольца в областях со сложной геометрией кусочно-гладкой границы и контрастными материальными свойствами различных сред в подобластях. Аппроксимации исходных задач осуществляются методами конечных элементов на адаптивных неструктурированных сетках с использованием базисных функций вплоть до четвертого порядка и автоматического сгущения сеток в окрестности сингулярных точек. Решение получаемых систем линейных алгебраических уравнений проводится с помощью оптимальных по порядку предобусловленных итерационных методов в подпространствах Крылова. Параллельная реализация предложенных численных методов осуществлена в рамках пакета прикладных программ Helmpoltz – 3D на основе декомпозиции областей средствами гибридного программирования с использованием систем MPI и OpenMP на многопроцессорных вычислительных системах с общей и распределенной памятью. Высокая точность и производительность разработанных алгоритмов и технологий демонстрируется на результатах решения представительного набора методических и практических задач.

#### Публикации

Butyugin D.S., P'in V.P. Solution of problems of harmonic electromagnetic field simulation in regularized and mixed formulations.– RJNAMM, vol.29, No.1, 2014, 1-12.

#### **6. Построение алгоритма пересчета граничных условий для бигармонического уравнения.** С.Б. Сорокин, в.н.с., д.ф-м.н.,

Завершен цикл работ по построению экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин. Обоснована возможность численного решения бигармонического уравнения, с краевыми условиями защемленного и свободного края посредством решения серии задач для бигармонического оператора с краевыми условиями шарнирного опирания. Для ряда специальных случаев задания краевых условий получены неулучшаемые константы энергетической эквивалентности, что позволяет применять метод Ричардсона с чебышевским набором параметров – менее затратный, чем метод сопряженных градиентов.

#### Публикации:

1. Сорокин С.Б. Аналитическое решение обобщенной спектральной задачи в методе пересчета граничных условий для бигармонического уравнения// Сибирский журнал вычислительной математики, 2013. Т. 16, № 3. С. 267-274.

2. Сорокин С.Б. Точные константы энергетической эквивалентности в методе пересчета граничных условий// Вестник НГУ, Серия: математика, механика, информатика, 2013. Т. 13, вып. 3. С. 103-111.

3. Sorokin S.B. Analytical solution to a generalized spectral problem in a method of recalculating boundary conditions for the biharmonic equation// Numerical Analysis and Applications July 2013, Volume 6, Issue 3, pp 229-235.

4. Сорокин С.Б. Построение экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин. Доклады Академии наук, 2014 том 454, № 4, с. 392-395

5. S. B. Sorokin Construction of economic discrete models in problems of plate theory. Doklady Mathematics January 2014, Volume 89, Issue 1, pp 80-83 DOI 10.1134/S1064562414010232 (Scopus: да, Web of Science: да) <http://link.springer.com/article/10.1134/S1064562414010232>

#### Конференции:

Важнейшие результаты ИВМиМГ СО РАН в 2014 г.

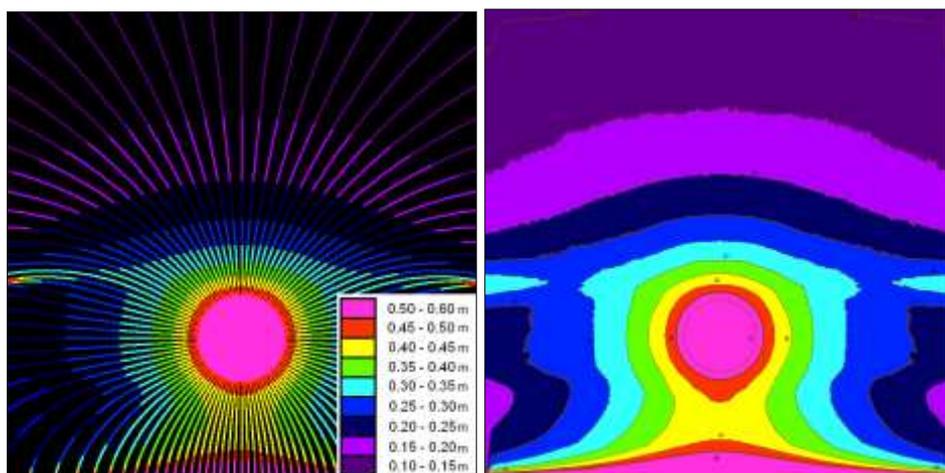
1. V Всероссийская конференция памяти академика А.Ф. Сидорова, (13-18 сентября 2010г., Абрау Дюрсо).
2. Всероссийская конференция по вычислительной математике КВМ-2011. Академгородок, Новосибирск, 29 июня – 1 июля 2011 г.
3. «Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования», Россия, г. Новосибирск, 12-15 июня 2012 г.
4. VI Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова. 10 – 16 сентября 2012, Абрау-Дюрсо.

### Приоритетное направление I.3 Математическое моделирование

#### Программа I.3.1. Математическое моделирование и разработка новых численных методов в задачах геофизики, физики океана и атмосферы, и охраны окружающей среды

**1. Разработка численного метода и создание расчётной программы для оценки амплитуды волны цунами над неровным дном в рамках лучевого приближения.**  
Ан.Г.Марчук, в.н.с., д.ф.-м.н.

В рамках нелинейной модели мелкой воды получены формулы, выражающие изменение высоты волны при её движении по лучевой трубке над неровным дном. Разработан и реализован в виде расчётной программы алгоритм построения волновых фронтов и лучей при распространении цунами от заданного очага или начального положения фронта волны. Используя найденные формулы, метод позволяет быстро оценивать высоту волны в любой точке расчётной области. Проведено сравнение результатов работы этого метода с распределением максимальных амплитуд, полученных путём полного численного расчёта динамики волны в рамках нелинейной модели мелкой воды. По сравнению с существующими разностными методами расчета разработанный метод требует гораздо меньше вычислительных ресурсов и машинного времени.



*Рис. 1. Распределение максимумов высоты волны цунами от круглого источника, полученное разработанным методом (слева) и численным расчётом в рамках нелинейной модели мелкой воды (справа)*

Публикации:

1. Marchuk An.G., Vasiliev G.S. The fast method for a rough tsunami amplitude estimation // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center, series: Math.Model. in Geoph., Vol. 17 (2014), pp. 21-34.

Конференции:

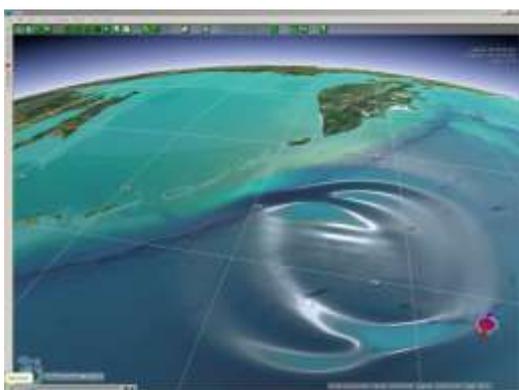
1. General Assembly of the European Geophysics Union, Vienna, Austria. April 27 - May 2, 2014. Доклад: Mikhail M. Lavrentiev, Andrey G. Marchuk, Alexey A. Romanenko, George Vassilyev Fast method to calculate tsunami arrival times.

2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", 8–11 июня 2014 г. Новосибирск, Россия. Доклад: Марчук Ан.Г., Васильев Г.С. Быстрый метод для приближённого вычисления высоты цунами.

3. Asia Oceania Geoscience Society 2014, 28 July to 01 August 2014, Sapporo, Japan. Доклад: Mikhail LAVRENTIEV, Andrey MARCHUK, Alexey ROMANENKO Software Solutions for Fast and Accurate Tsunami Warning System.

**2. Комплекс алгоритмов и программ численного решения прямых и обратных задач для исследования процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере.** С.И. Кабанихин, ВРИО директора, член-корр., О.И. Криворотько, м.н.с., И.В. Маринин, вед. прогр.

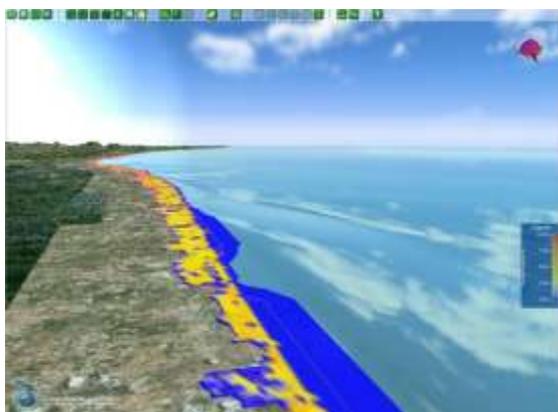
Разработан комплекс алгоритмов и программ численного моделирования и обращения волновых фронтов для оперативного решения прямых и обратных задач электродинамики, акустики и теории упругости. На основе трехмерной геоинформационной системы разработанные алгоритмы используются для моделирования, визуализации, прогнозирования и оценки рисков природных и техногенных катастроф (землетрясения, цунами, наводнения). Результатом численного моделирования прямых и обратных задач явилось создание трехмерных цифровых моделей различных регионов и Земного шара в целом с учетом взаимодействия процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере Земли с оперативным использованием сейсмических, электромагнитных, метеорологических и космических данных.



Численное моделирование Симуширского цунами 15.11.2006, Япония.



Историческая база данных землетрясений около Японии.



Моделирование наката волны цунами г. Нагапаттинам, Индия.



Визуализация литосферных плит.

Публикации:

1. Kabanikhin S.I., Bektemesov M.A., Nurseitov D.B., Krivorotko O.I., Alimova A.N. An optimization method in the Dirichlet problem for the wave equation // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems, V. 20, N. 2, 2012, pp. 193-211 (Impact Factor = 0.593).
2. Kabanikhin S.I., Krivorot'ko O.I. A numerical method for determining the amplitude of a wave edge in shallow water approximation // Applied Computational Mathematics, V. 12, N. 1, 2013, pp. 91-96 (Impact Factor = 0.75).
3. Kabanikhin S.I., Hasanov A., Marinin I.V., Krivorotko O.I., Khidasheli D. A variational approach to reconstruction of an initial tsunami source perturbation // Applied Numerical Mathematics, V. 83, 2014, pp. 22-37 (Impact Factor = 1.207).
4. Кабанихин С.И., Криворот'ко О.И., Маринин И.В. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Москва: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 96 стр.

**3. Восстановление плоской волны с треугольным носителем.** Казанцев И.Г., с.н.с., к.ф.-м.н.

Один из подходов конструирования алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии состоит в представлении восстанавливаемого изображения в виде декомпозиции плоских волн определенных ориентаций и задании носителя изображения. Затем к изображению применяется преобразование Радона и аналитически вычисляются проекции отдельных плоских волн. Такие ре-проекции плоских волн составляют основу аналитических и алгебраических методов томографии. При проведении формальных выкладок необходимо учитывать форму носителя изображения, определяющую отрезки просвечивающих лучей, а значит, и пределы интегрирования. Большинство формул обращения преобразования Радона предполагают в качестве носителя либо всю плоскость, либо круг заданного радиуса. Для квадратного носителя известна лишь одна уникальная формула обращения. Доказана теорема: Для восстановления обеих частей отдельной плоской волны  $h_\omega$  с треугольным носителем достаточно иметь две ее проекции  $P_{\theta_1}$  и  $P_{\theta_2}$  при условии  $\theta_1 < \omega < \theta_2$ .

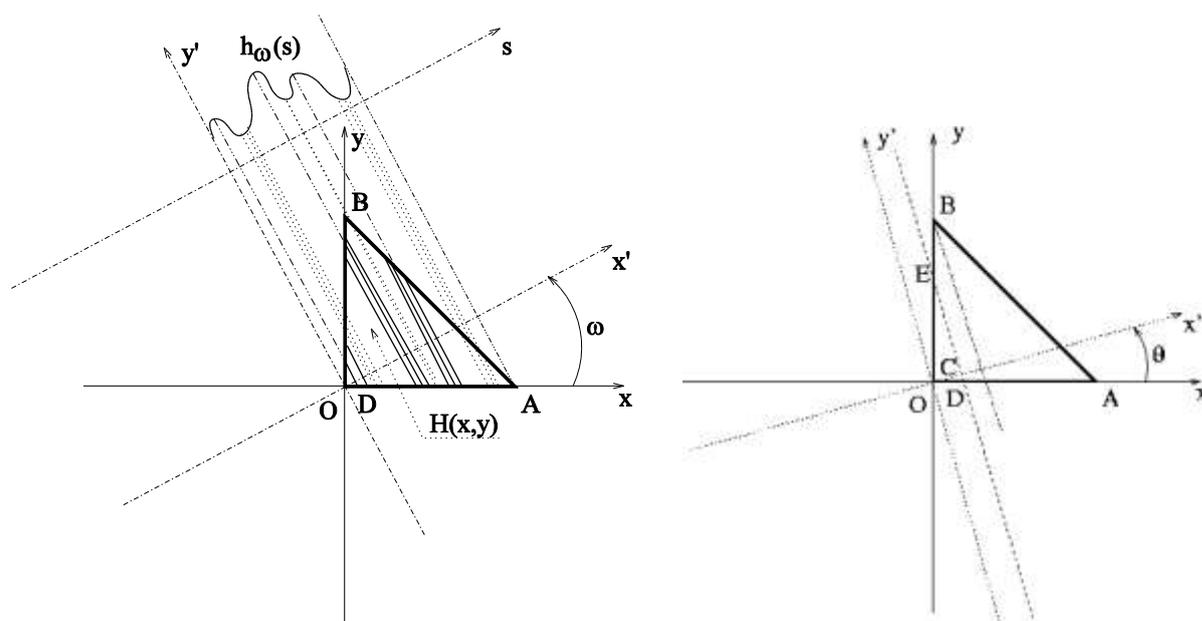


Рис. Слева) Обратное проецирование функции  $h_\omega(s)$  на треугольник AOB. Справа) Репроекция под углом  $\theta$  функции с треугольным носителем AOB.

Публикация:

Казанцев И.Г. Восстановление плоской волны с треугольным носителем. // Тр. X Междунар. научного конгресса и выставки "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014», Т.1, "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 14-16 апреля 2014. – С.94-97.

Конференция:

X Междунар. Научный конгресс и выставка "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 14-16 апреля 2014.

**3. Численное решение методом конечных элементов с мультипликативным выделением особенности задач теории упругости и уравнений Максвелла.** Урев М.В. д.ф.-м.н,

Рассмотрена начально-краевая задача для системы уравнений Максвелла в ограниченной области с гладкой границей на конечном временном интервале с новыми граничными условиями с памятью. В подходящих функциональных пространствах определен и исследован несамосопряженный оператор, порождаемый оператором Максвелла при граничном условии с памятью. Операторным методом доказана теорема существования и единственности решения начально-краевой задачи.

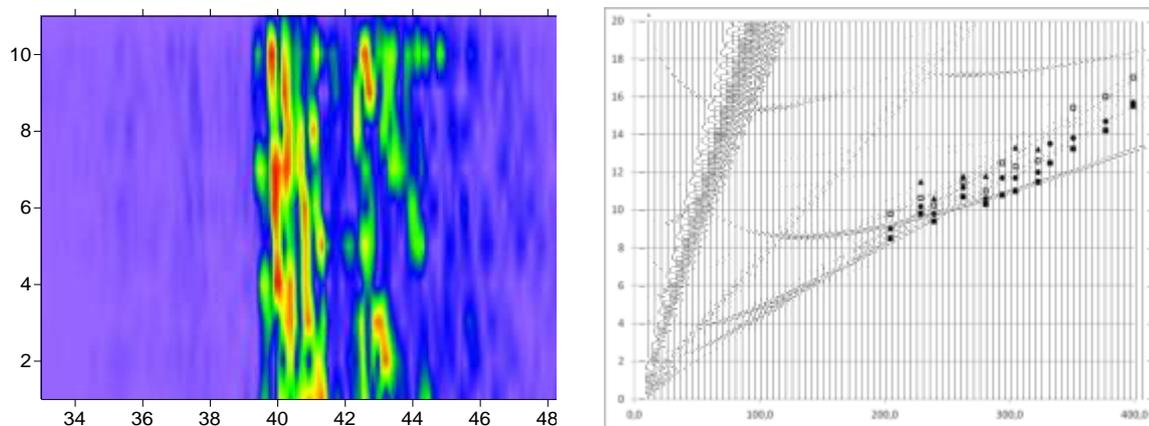
Изучены вопросы численного решения методом конечных элементов (МКЭ) первой краевой задачи для эллиптического уравнения с вырождением на части границы. В соответствующих задаче функциональных пространствах с согласованными весами рассмотрены слабая и сильная вариационные постановки. Используя прием мультипликативного выделения особенности для МКЭ с использованием кусочно-линейных элементов, доказана сходимость в весовой норме приближенного решения к точному решению с оценкой не хуже, чем в случае эллиптического уравнения без вырождения.

Публикации:

1. Urev M.V. On the Maxwell system under impedance boundary conditions with memory // Siberian Mathematical Journal – 2014 - Vol. 55, №3, P.548-563, (Scopus, Webscience )
2. Urev M.V. Convergence of the Finite Element Method for an Elliptic Equation with Strong Degeneration // Journal of Applied and Industrial Mathematics - 2014, - Vol. 8, № 3, P. 1-13. (Scopus)

**4. Исследования и верификации скоростных моделей земной коры с применением математического моделирования и методов активной сейсмологии** Ковалевский В.В., зав.лаб. д.т.н., Фатьянов А.Г. в.н.с. д.ф.-м.н., Авроров С.А. м.н.с. к.т.н., Брагинская Л.П. вед.прогр., Григорюк А.П. н.с., Якименко А.А. м.н.с. к.т.н.

Исследована скоростная модель земной коры для 500 км профиля Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия, построенная по результатам эксперимента BEST, выполненного по методике ГСЗ. Для моделирования полного волнового поля в слоистой модели среды применялся аналитический (без использования сеток) метод расчёта сейсмических волновых полей в блоково-неоднородных средах, который позволил получить точное аналитическое решение для больших размеров расчетной области. Для верификации модели проведено сравнение рассчитанных теоретических сейсмограмм с реально регистрируемыми сейсмограммами, полученными методами активной сейсмологии и данными вибросейсмических зондирований, выполненных ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН. Результаты сравнения теоретических и экспериментальных сейсмограмм позволили скорректировать существующую скоростную модель в нижних слоях земной коры, контактирующей с мантией.



*Рис. Вибрационная сейсмограмма, группа P волн на расстоянии 241 км от источника – слева. Теоретические сейсмограммы для 500 км профиля в 5-слойной модели земной коры с экспериментальными данными времен вступлений волн – справа.*

Публикации:

Ковалевский В.В., Тубанов Ц.А., Фатьянов А.Г., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Базаров А.Д. Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия. Труды Всерос. Конф. «Геофизические методы исследования земной коры» посв. 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева, 8-13 декабря 2014 г., Новосибирск

Татьков Г.И., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д., Толочко В.В., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. // Отечественная геология. – 2013.– №3. – С. 16-23.

Конференции:

Ковалевский В.В., Тубанов Ц.А., Фатьянов А.Г., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Базаров А.Д. Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия. // Всероссийская конференция «Геофизические методы исследования земной коры» посвященная 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева, 8-13 декабря 2014 г., Новосибирск

**6. Новый метод построения объединенных моделей гидротермодинамики и химии атмосферы на основе вариационных принципов со слабыми ограничениями** Пененко В.В., зав. лабораторией, д.ф.-м.н, Цветова Е.А., ВНС, к.ф.-м.н., Пененко А.В., МНС, к.ф.-м.н.

Разработан эффективный метод построения объединенных в он-лайн режиме численных моделей динамики и химии атмосферы для решения прямых и обратных задач природоохранного прогнозирования. Концепция предлагаемой методики основана на использовании вариационных принципов со слабыми ограничениями и техники сопряженных интегрирующих множителей для построения дискретно-аналитических численных схем. Такой подход удобен для работы с разномасштабными процессами при наличии неопределенностей, как в самих моделях исследуемых процессов, так и в источниках внешних воздействий.

Публикации

1. V.V. Penenko, E.A. Tsvetova, A.V. Penenko Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies// Computers and Mathematics with Applications, (2014) V.67, Issue 12, P. 2240–2256, DOI: 10.1016/j.camwa.2014.04.004

2. А.В. Пененко, В.В. Пененко. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе метода расщепления. Вычислительные технологии. 2014, Т.19, №4, 69-83.

Конференции:

1. Конгресс Европейского геофизического союза, EGU- 2014, Вена. Доклад V. Penenko, E.Tsvetova, and A. Penenko. A new version of variational integrated technology for environmental modeling with assimilation of available data.

2. XX Всероссийская конференция «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики», посвященная памяти К.И.Бабенко, 2014. Доклад: В.В. Пененко, Е.А.Цветова, А.В. Пененко. Технология моделирования для природоохранных задач на основе вариационного принципа и сопряженных интегрирующих множителей.

3. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ-2014), Новосибирск. Доклад: В.В.Пененко. Интегрированные модели динамики и химии атмосферы для решения взаимосвязанных задач экологии и климата.

**7. Некоторые особенности общей циркуляции атмосферы в условиях глобальных изменений климата".** В.Крупчатников, в.н.с., д.ф.-м.н., Мартынова Ю.В., Боровко И.В.,

Проведено исследование реакции тропосферы на усиление стратосферного полярного вихря. Показана роль главной моды NAO в процессах взаимодействия тропосферы и стратосферы. Изменение температурной стратификации при усилении выхолаживания в

стратосфере оказывает заметное влияние только в верхней тропосфере, где стратификация определяется радиационными процессами. В нижних слоях тропосферы значительный вклад в стратификацию вносят потоки тепла бароклинических нестационарных вихрей, где локальный наклон изэнтропических поверхностей остается неизменным и согласуется с теоретическими оценками. Уменьшение градиента приземной температуры, в результате потепления климата, влечет за собой ослабление зональной циркуляции Гадлея. Показано, что межгодовая изменчивость широты границ ЯГ в эксперименте составляет около 2 градусов, при этом происходит поднятие тропопаузы как в тропиках, так и во внетропических широтах. Широта границы ЯГ это начало среднеширотной бароклинической зоны, где формируются шторм треки. Получены новые результаты моделирования динамики шторм треков в зимний период, а также их анализ при различных климатических режимах - при увеличении радиационного форсинга и дальнейшее его снижение (за счет повышения концентрации CO<sub>2</sub> и постепенного приведения концентрации к доиндустриальному уровню). При переходе на режим доиндустриального климата, активность шторм треков, их пространственное распределение восстанавливаются не полностью (Рис. 1), особенно при «быстром» переходе на режим современного климата.

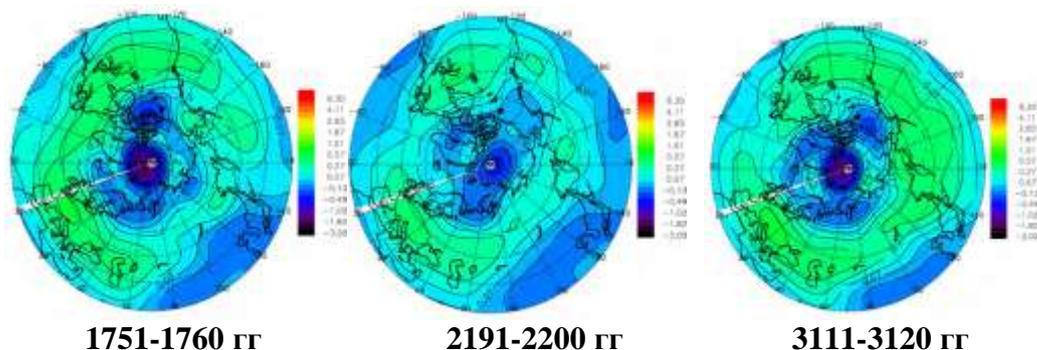


Рис.1 Декабрь-февраль: направленный к полюсу поток явного тепла ( $v'T$ ) на 700mb (милибар)

Публикации:

1. Гордов Е.П., Лыкосов В.Н, Крупчатников В.Н., Окладников И.Г., Титов А.Г., Шульгина Т.М. Вычислительно-информационные технологии мониторинга и моделирования климатических изменений и их последствий // Новосибирск, 2013, «Наука», 198 с.
2. Боровко И.В., Крупчатников В.Н. Математическое моделирование реакции циркуляции Гадлея и стратификации внетропической тропосферы на изменения климата с помощью спектральной модели общей циркуляции атмосферы // СибЖВМ, 2015 г. Т. 18, №1.(принята в печать)

Конференции:

1. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2014», Академгородок, Новосибирск, июнь 8-11, 2014. Доклад: Krupchatnikov V., Yu. Martynova, I. Borovko «The General Circulation of the Atmosphere and Climate Changes»
2. Международная конференция «ENVIROMIS-2014», 28 июня-5 июля 2014 г. Доклад: Крупчатников В.Н., Мартынова Ю.В., Боровко И.В. «Динамика общей циркуляции атмосферы и изменения климата»
3. Международная конференция EGU General Assembly. Vienna, Austria.2014. Доклад: «Some features of General Circulation of the Atmosphere and Climate Changes».

**8. Метод ранжирования элементов информационных систем сетевой структуры.**  
Бредихин С.В. зав.лаб, Щербакова Н.Г. с.н.с. Ляпунов В.М., вед.инж.

Предложен метод определения «важных» элементов информационных систем сетевой структуры, базирующийся на метрике «центральность по посредничеству» (далее,  $C_B$ ), которая показывает, насколько часто рассматриваемая вершина графа лежит на путях между другими вершинами. Для вычисления  $C_B$  на взвешенных графах разработан алгоритм, с помощью которого выполнено ранжирование коллекции периодических изданий БД *Repec*.

Публикации:

1. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Мера важности научной периодики – «центральность по посредничеству» // Проблемы информатики. 2014. N. 3. С. 53-64.

**9. Новые модели и показатели качества функционирования беспроводных сенсорных сетей** Мигов Д.А., к.ф.-м.н., м.н.с., Родионов А.С., зав. лаб, д.т.н, Шахов В.В., с.н.с., к.ф.-м.н.

Предложены новые показатели качества обслуживания в сенсорных сетях (вероятность того, что работоспособные узлы, количество которых не меньше заданного наперед порогового значения, могут передавать данные нескольким стокам, которые должны быть связаны друг с другом и вероятность видения сенсорами заданного количества узлов сетки, покрывающей мониторируемую область). В рамках оптимизации этих и традиционно используемых показателей поставлена задача выбора оптимального соотношения между радиусом покрытия сенсоров и расписанием их рабочего цикла, и предложено её решение. Решение основано на вычислении (или оценке для заданных значений) серии полиномов надежности графа, соответствующих выбранному радиусу покрытия сенсоров и формируемой данным радиусом топологии, с последующим их сравнением. Вычисления базируются на применении параллельной реализации метода факторизации. Для оценки остальных показателей предложено использовать подход, основанный на моделировании состояний сенсора непрерывной цепью Маркова. Для случая сенсорных сетей, оснащенных средствами получения энергии из окружающей среды (EH-WSNs) разработаны новые методы нахождения оптимальных мест для осуществления беспроводной подзарядки группы сенсоров при помощи мобильного подзаряжающего устройства, либо статических подзаряжающих устройств. Предложенные методы основаны на методах решения известных задачах из теории графов – размещение  $p$ -медиан и  $p$ -центров, модифицированных для рассматриваемого случая.

Публикации:

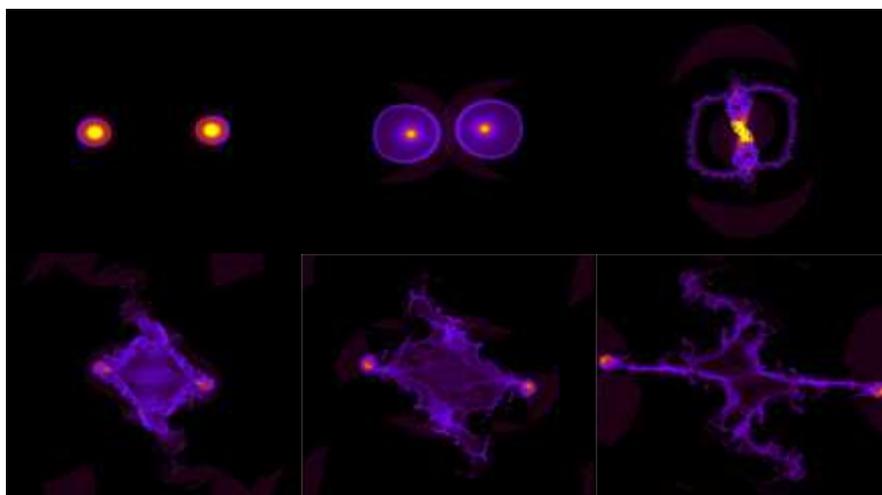
1. D. Migov. On reliability of wireless ad hoc networks with imperfect nodes // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Computer Science, issue 36, 2014, p. 57-64.
2. D. Migov, V. Shakhov. Reliability of Ad Hoc Networks with Imperfect Nodes. Springer Lecture Notes in Computer Science (MACOM 2014). Vol. 8715, 2014, p. 49-58.

## Приоритетное направление I.4. Высокопроизводительные вычисления

### Программа I.4.1. Математическое моделирование с использованием параллельных и распределенных вычислений

**1. Моделирование динамики разлета галактик при их столкновении** Вшивков В.А., м.н.с. Куликов И. М.

В рамках работы с Институтом Астрономии РАН в лице д.ф.-м.н., профессора Тутукова А.В. проведены исследования в области математического моделирования столкновения галактик. В рамках данной работы сформулирована и реализована модель взаимодействующих галактик в виде магнитогазодинамической модели (для моделирования областей с высокой скоростью звездообразования) в трехмерной постановке. Для реализации бесстолкновительной компоненты (звезды и темная материя) использована модель, основанная на решении уравнений первых трех моментов уравнения Больцмана. Многокомпонентная магнитогазодинамическая модель взаимодействующих галактик реализована для суперЭВМ, оснащенных графическими ускорителями (в виде программного комплекса GPUPEGAS) и ускорителями Intel Xeon Phi (в виде программного комплекса AstroPhi). С помощью двухфазной модели был смоделирован сценарий разлета галактик при их центральном столкновении. В рамках одного графического ускорителя было получено 55-кратное ускорение и 96% эффективность при использовании 60 графических ускорителей. В рамках одного ускорителя Intel Xeon Phi было получено 27-кратное ускорение в offload режиме, 54-кратное ускорение в native режиме и 94% эффективность при использовании 32 ускорителей Intel Xeon Phi. На конец 2014 года программный комплекс AstroPhi единственный в мире программный код для решения астрофизических задач на гибридных суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi.



Публикации:

1. Kulikov I. GPUPEGAS: A New GPU-accelerated Hydrodynamic Code for Numerical Simulations of Interacting Galaxies // The Astrophysical Journal Supplements Series. – 2014. – V. 214, 12. – P. 1-12 ([doi:10.1088/0067-0049/214/1/12](https://doi.org/10.1088/0067-0049/214/1/12))
2. Kulikov I.M., Chernykh I.G., Snytnikov A.V., Glinskiy B.M., Tutukov A.V. AstroPhi: A code for complex simulation of dynamics of astrophysical objects using hybrid supercomputers // Computer Physics Communications. – 2015. – V. 186. – P. 71-80 ([doi: 10.1016/j.cpc.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.09.004))

3. Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Protasov V., Tutukov A., Glinsky B. Numerical Modelling of Astrophysical Flow on Hybrid Architecture Supercomputers // Parallel Programming: Practical Aspects, Models and Current Limitations (ed. M. Tarkov). – 2014. – 196 p.

Конференции:

- 1 Chernykh I., Glinskiy B., Kulikov I., Marchenko M., Rodionov A., Podkorytov D., Karavaev D. Using Simulation System AGNES for Modeling Execution of Parallel Algorithms on Supercomputers. International Conference on Systems, Control, Signal Processing and Informatics II (SCSI '14), 2 – 4 апреля 2014 г., Прага, Чешская Республика
- 2 Куликов И.М. AstroPhi vs GPUPEGAS: two hydrodynamic codes for numerical simulation of galaxy formation by means hybrid supercomputers. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014», 9 – 11 июня 2014 г., Новосибирск
- 3 Kulikov I. Numerical Hydrodynamics Modeling of Interacting Galaxies at the Peta- and Exascale. Приглашенная лекция, 26 июня 2014 г., Вена, Австрия
- 4 Kulikov I. Hydrodynamic numerical modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale. Third Workshop on Numerical and Observational Astrophysics, 17 – 21 ноября 2014 г., Буэнос-Айрес, Аргентина
- 5 Kulikov I. Numerical Hydrodynamics Modeling of Interacting Galaxies at the Peta- and Exascale. Приглашенная лекция, 26 ноября 2014 г., Буэнос-Айрес, Аргентина

**2. Создание прототипа системы управления потоком параллельных заданий для ЦКП ССКЦ СО РАН на основе имитационной модели.** Зав. лаб., д.т.н., проф. Глинский Б.М., зав. лаб. д.т.н. проф. Родионов А. С., м.н.с. Винс Д.В.

В ИВМиМГ ведутся исследования эффективности использования ресурсов ВС, в частности от того, как организован процесс решения на ней параллельных задач пользователей. Для этого разработана имитационная мультиагентная модель распределенной системы управления потоком заданий для центров коллективного пользования (ЦКП). Также исследованы и подобраны алгоритмы осинхронизации объектов, функционирующих на различных узлах ЦКП. Для данных алгоритмов подобраны оптимальные параметры.

Разработанная модель системы управления потоком задач (рис. 1) включает в себя программные агенты, реализующие модели: внешних источников задач, распределителей и контроллеров ресурсов, вычислительных систем. Модель внешней среды источников заданий представлена однотипными программными агентами, имитирующими пользователей, отправляющих задания на ЦКП.

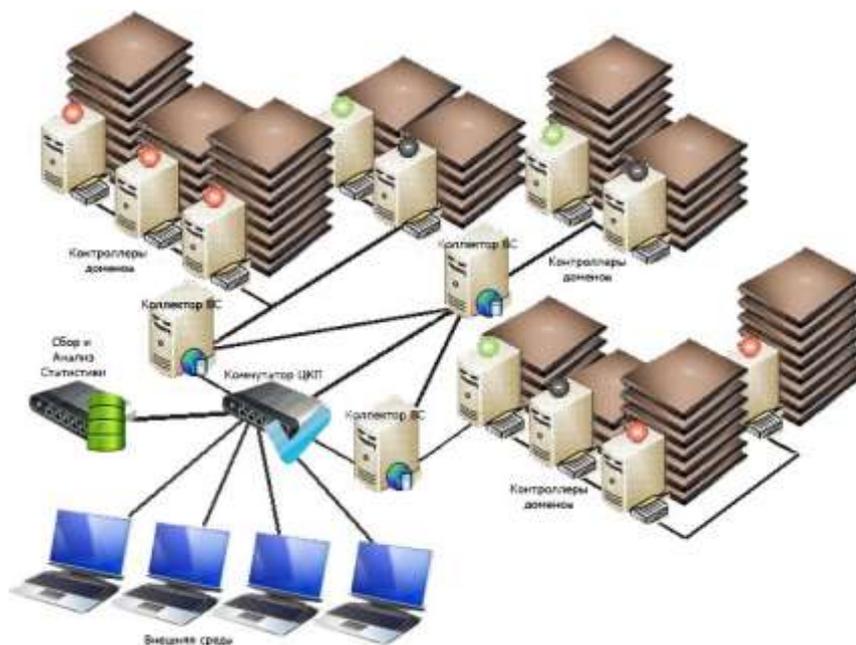


Рис. 1. Общий вид мультиагентной модели ЦКП.

Для тестирования и исследования модели проведены ее испытания на реальных данных, реальной системы. Для этого использовались данные ЦКП ССКЦ СО РАН. В рамках модели воссоздана коммуникационная среда кластера НКС-30Т+GPU. В качестве заданий использовались задания, зарегистрированные системой управления кластера (PBS Pro) за 2011 - 2013 гг. (рис. 1). Было создано от 124 (2011г.) до 189 (2013г.) виртуальных пользователей, которые отправляли такие же задания и в то же время, что и реальные пользователи в указанный период.

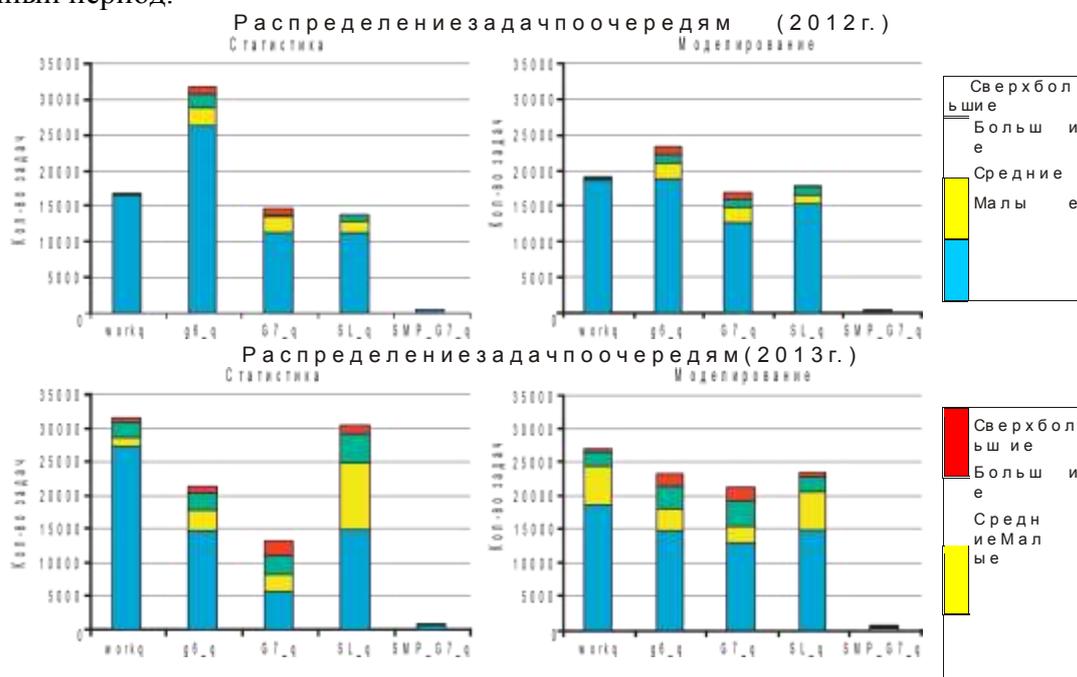


Рис. 3 Изменение распределения задач по очередям, в случае, когда модель управляет этим процессом.

Публикации:

1. Д.В. Винс. Анализ эффективности системы управления потоком заданий для ЦКП в мультиагентной имитационной модели // Вестник НГУ. - т.12. - вып. 2. – 2014. - С. 33-41.

2. Д.В. Винс, Б.М. Глинский, А.С. Родионов. Исследование управляющих процессов в суперкомпьютерных системах на основе мультиагентного моделирования // Вестник СибГУТИ. - № 4 (28). - 2014. - С.35-44

### 3. LuNA: автоматизированная система реализации численных алгоритмов на СуперЭВМ. Зав. лаб., д.т.н., проф. Малышкин В.Э., м.н.с. Перепелкин В. А., м.н.с. Городничев М.А.

Разработана экспериментальная система программирования численных алгоритмов LuNA, которая позволяет исключить параллельное программирование из процесса разработки больших численных моделей. LuNA обеспечивает автоматическую генерацию параллельных программ численного моделирования с необходимыми практическими свойствами для исполнения на мультикомпьютерах с большим числом процессоров, включая неоднородные суперкомпьютеры экзафлопсного диапазона с сотнями тысяч и миллионами процессорных элементов.

Представление алгоритмов в системе LuNA осуществляется в соответствии с технологией фрагментированного программирования, которая предполагает разбиение регулярных вычислений на множество фрагментов вычислений, работающих над множеством фрагментов данных. Автоматическая динамическая миграция процессов обеспечивает равномерную нагрузку процессоров.

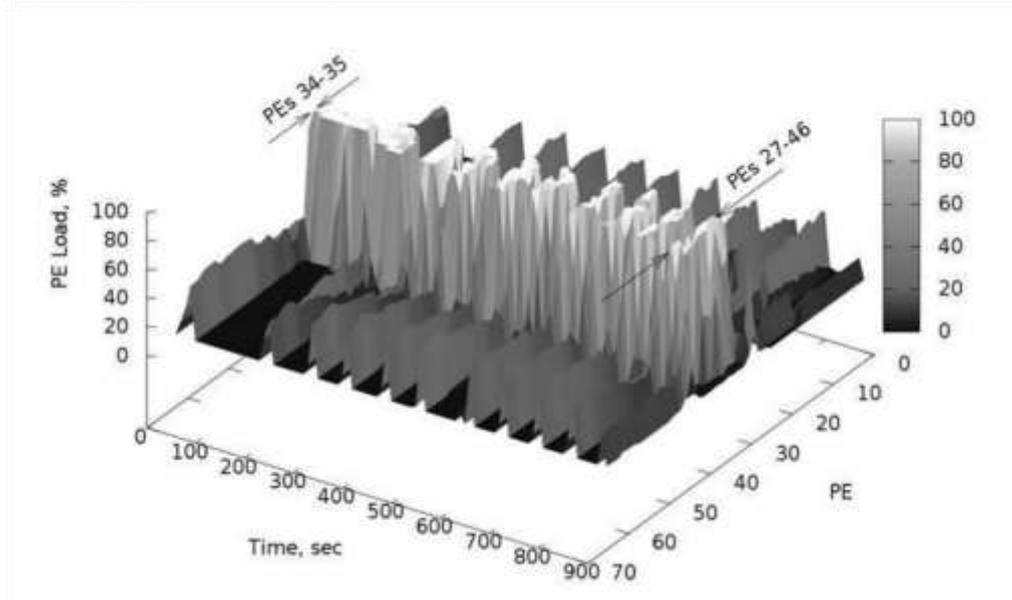


Рис. 1. Работа автоматической балансировки вычислительной нагрузки системы LuNA: с течением времени нагрузка распределяется по процессорным элементам (PE), время на обработку итерации (расстояние между гребнями по шкале Time) сокращается.

Программист в LuNA задает частичный порядок на множестве вычислительных фрагментов, а также формулирует «рекомендации» о том, как вычислительные фрагменты и фрагменты данных должны быть распределены по вычислительным узлам суперкомпьютера, чтобы обеспечивалось свойство локальности при работе с данными. На основе такого представления алгоритма система LuNA генерирует программу, автоматически обеспечивая коммуникации между узлами вычислительной системы, балансировку вычислительной нагрузки и другие динамические свойства.

Публикации:

Важнейшие результаты ИВМиМГ СО РАН в 2014 г.

1. Malyshkin, V.E., Perepelkin, V.A. The PIC implementation in LuNA system of fragmented programming // The Journal of Supercomputing, Springer. 2014. Vol. 69, Iss. 1. P. 89-97. DOI 10.1007/s11227-014-1216-8. (Scopus: да, Web of Science: нет)
2. Malyshkin V.E. Peculiarities of numerical algorithms parallel implementation for exaflops multicomputers. // International Journal of Big Data Intelligence, Inderscience Publisher. 2014. Vol.1, No. ½. P. 65-73. DOI: 10.1504/IJBDI.2014.063837. (Scopus: да, Web of Science: нет)

Конференции:

1. В. Э. Малышкин, В. А. Перепелкин. Реализация метода частиц-в-ячейках в системе фрагментированного программирования LuNA. // Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (22-27 сентября 2014 г., г. Новороссийск)—М.: Изд-во МГУ, 2014, с. 328-334.