

ЛАБОРАТОРИЯ СИСТЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

Зав. лабораторией д.т.н. Родионов А. С.

Важнейшие достижения

Синтез, маршрутизация и параллельная оптимизация семейств циркулянтных сетей

К.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Монахова Э. А.

Разработаны и экспериментально исследованы в сети на кристалле два вида алгоритмов парной маршрутизации константной сложности для оптимальных циркулянтных сетей степени четыре, позволяющие создавать серию алгоритмов маршрутизации для различных подклассов оптимальных сетей и сократить время работы и требуемую память по сравнению с известными алгоритмами. Построена новая серия семейств циркулянтных сетей степени шесть с общими структурными и коммуникационными свойствами, перспективная как масштабируемая модель топологии сетей на кристалле. На рис. 1 показана зависимость изменения числа вершин графов полученной серии от ее параметров.

Разработан параллельный генетический алгоритм для оптимизации циркулянтных сетей, основанный на MPI модели. Получено линейное ускорение для параллельных программ с различным числом процессов, выполнена оценка эффективности на кластере Kunpeng ИВМиМГ СО РАН. Для различных степеней вершин найдены сети с меньшим средним расстоянием и большей пропускной способностью, чем известные в литературе. На рис. 2 показано ускорение работы алгоритма в зависимости от числа вычислительных ядер кластера Kunpeng.

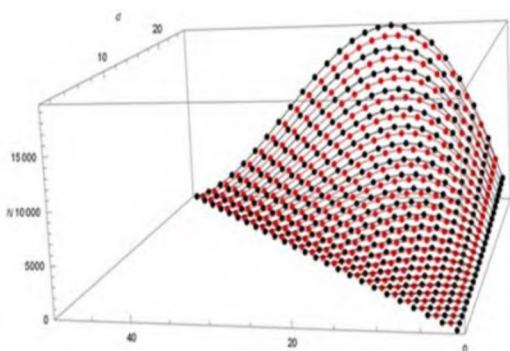


Рис. 1: Число вершин N графов серии

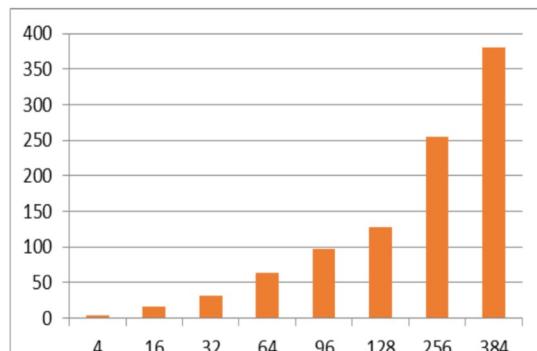


Рис. 2: Ускорение для числа ядер кластера Kunpeng

Результаты исследований опубликованы в работах:

- Monakhova, E. A., Monakhov, O. G., Romanov, A. Yu. Routing algorithms in optimal degree four circulant networks based on relative addressing: Comparative analysis for networks-on-chip // IEEE Trans. on Network Sci. and Engin. 2022. P. 1–13. DOI: 10.1109/TNSE.2022.3211985 (IF = 5.033, Q1).
- Монахова, Э. А., Монахов, О. Г. Построение серий семейств циркулянтных сетей степени шесть // Дискр. анализ и исслед. операций. 2022. Т. 29, № 4. С. 59–76, DOI: 10.33048/diao.2022.29.743 (IF=0.294, WoS RSCI, Scopus Q2).
- Монахова, Э. А., Монахов, О. Г. Эффективный алгоритм поиска кратчайших путей в плотных Гауссианских сетях // Прикл. дискр. матем. 2022. № 58. С. 94–104. DOI: 10.17223/20710410/58/9, (IF=0.408, WoS, Scopus Q4).

4. Monakhova, E., Monakhov, O., Lezhnev, E., Romanov, A. Optimal routing algorithm in dense Gaussian networks-on-chip // Intern. Conf. on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Maldives, Nov. 16–18, 2022. DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988159 (Scopus).
5. Monakhov, O., Monakhova, E. Parallel genetic algorithm for synthesis of optimal circulant networks on Kunpeng processors // Intern. Conf. IEEE SIBIRCON 2022 (OPCS 2022), Novosibirsk, Nov. 11–13, 2022. P. 950–953. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017065 (Scopus).

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2022 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Суперкомпьютерные технологии решения больших задач естествознания, математические модели, методы анализа и оптимизации сложных информационных систем".

Номер государственной регистрации НИР 0251-2021-0005.

Руководители: д.ф.-м.н. Марченко М. А., к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Раздел "Разработка новых моделей и задач анализа и оптимизации сетей с ненадежными элементами, а также специальных сетей регулярной структуры, разработка архитектуры распределенной системы имитационной оптимизации поведения сложных систем сетевой структуры".

Разработаны новые эффективные алгоритмы парной маршрутизации константной сложности для сетей на кристалле с топологией оптимальных циркулянтных сетей степени четыре. Построена новая серия семейств циркулянтных сетей степени шесть с общими структурными и коммуникационными свойствами, перспективная как масштабируемая модель топологий сетей на кристалле.

Разработан параллельный генетический алгоритм, основанный на MPI модели, для оптимизации больших циркулянтных сетей. Получены линейное ускорение для параллельных программ с различным числом процессов, выполнена оценка эффективности на кластере Kunpeng ИВ-МиМГ СО РАН.

Разработан новый алгоритм константной временной сложности для поиска векторов кратчайших путей в плотных гауссианских сетях, перспективных в качестве топологии в сетях на кристалле по сравнению с другими сетчатыми структурами. Предложенный алгоритм был синтезирован в сети на кристалле с гауссианской топологией. Продемонстрировано его превосходство по оценкам памяти и числа логических элементов в зависимости от числа узлов в сети с шестью другими алгоритмами, реализованными в сети на кристалле.

Исследовалось решение задачи синтеза серий циркулянтных сетей с общими структурными и коммуникационными свойствами. Серии семейств циркулянтных сетей задаются аналитически с помощью определяющих соотношений между числом вершин графа N , его образующими и порождающей функцией $p(d)$, где d – диаметр графа.

Рассматривались задачи проектирования и оптимизации инженерных сетей различного назначения. Для моделирования использован гиперсетевой подход, позволяющий компактно описывать иерархические сети. Критерием оптимальности сети выступает ее стоимость. Изучался случай, когда необходимо обеспечить достаточный уровень надежности сети с точки

зрения минимальной вероятности связности между всеми выделенными парами узлов в условиях отказа линий первичной сети.

Рассмотрена задача оптимального подключения базовых станций сети связи к центрам питания в шахте. Под подключением понимается набор путей по выработкам шахты, соединяющих каждую базовую станцию из заданного набора с каким-либо центром питания. Критерий оптимальности – стоимость подключения (рис. 3).

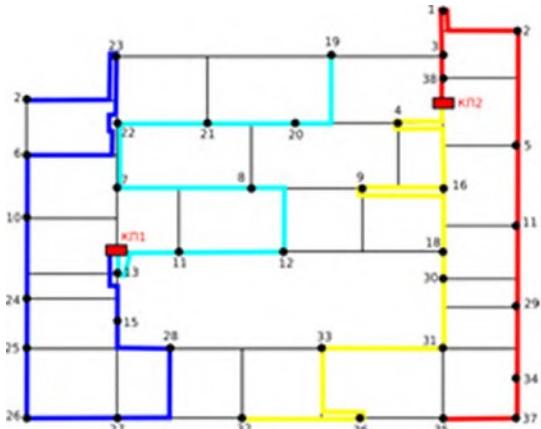


Рис. 3: Результат работы алгоритма:

4 цепи подключения базовых станций

ны различные сценарии мобильности узлов. Выведены соответствующие функции распределения времени обнаружения. Для сети мониторинга, узлы которой установлены на транспортных средствах, разработана постановка задачи минимизации функции штрафа, включающая стоимость сети и потери от несвоевременного обнаружения событий. Получено решение данной задачи. Полученные результаты позволяют минимизировать стоимость развертывания системы мониторинга воздуха в современных мегаполисах, а также повысить рентабельность ее эксплуатации.

Для графов вида одномерной квадратной решетки разработан линейный по сложности алгоритм вычисления полиномов надежности в явном виде, т. е. получено эффективное решение NP-трудной задачи в частном случае. Для обоснования предложенного алгоритма использовался метод факторизации, позволяющий свести задачу вычисления связности случайного графа с ненадежными ребрами к исследованию двух случайных графов меньшего размера. Доказано, что полиномы надежности полученных графов выражаются через полиномы надежности регулярных структур меньшей размерности. Таким образом получена рекуррентная формула для вычисления полинома надежности исходного графа. Реализована программа вычисления полиномов надежности с использованием пакета SymPy.

Рассмотрена задача эффективного сжатия больших информационных массивов со смешанными типами данных – строковыми и числовыми. Как известно, кодирование этих двух типов данных имеет определенную специфику. Разработан новый метод сжатия больших информационных массивов, позволяющий эффективно кодировать как числовые, так и строковые данные. Данный метод может быть использован как для сжатия больших информационных массивов числовых данных (например, данных, полученных в результате физического эксперимента), так и для сжатия массивов, содержащих большое количество строковых данных (таких как библиотечные базы данных), что позволит уменьшить объем занимаемой памяти и повысить скорость кодирования.

Разработан адаптивный алгоритм сжатия бинарных изображений, позволяющий учитывать их статистические свойства. За счет учета статистической структуры метод улучшает степень сжатия изображений по сравнению с известным методом JPEG, широко используемым на практике.

Проведен анализ направлений развития существующих программных решений и средств информационной поддержки дистанционного проведения научных исследований на примере систем поддержки конференций и систем управления научными данными (CRIS). Выполнена последующая интеграция выбранного в результате анализа программного средства данного класса на мощностях ЦКП ССКЦ СО РАН. Развернут программно-технический комплекс с обеспечением доступа к нему пользователей посредством сети Интернет.

Продолжается изучение научного соавторства с точки зрения комплексной сети, представляющей множественные отношения между группами авторов научных публикаций, размещенными в общей библиографической базе данных (БД). Анализируется гиперграф комплексной сети научного соавторства в отличие от традиционного подхода к изучению соавторства, базирующегося на построении взвешенного либо невзвешенного графа. Приведены формальные сведения, необходимые для описания множественных отношений между группами соавторов, и представлены две модели анализируемой КС. На основе реальной информации, извлеченной из библиографической БД, сконструирован гиперграф сети соавторства, измерены его параметры и сформулированы основные свойства. Приведен содержательный пример.

Экспериментальное изучение сетей научного соавторства дало следующие результаты:

Параметр	Значение
Размер, число ребер $ E $ (число НП)	91113
Порядок, число вершин $ I $ (число авторов)	32434
Ранг $r(H^{ca})$ (максимальное число соавторов НП)	17
Число вершин максимальной компоненты (при общем числе компонент $\sim 10^3$)	29270
Средняя степень $avrdeg(E_i)$ (среднее число соавторов НП)	2,3
Средняя степень $avrdeg(v_i)$ (среднее число НП одного автора)	2,8
Распределение степеней вершин $deg(v_i)$ следует степенному закону $P_x \sim x^{-\gamma}$	$x_{min} = 6$, $\gamma = 1,64$

Решалась задача развития и модернизации системы имитационного моделирования, разработанной в лаборатории. Разработаны и протестированы модели социальных процессов, взаимодействия мобильных объектов, промышленного производства и др. Один из примеров – решение задачи оптимизации системы сбора данных о загрязнении городской атмосферы (рис. 4).

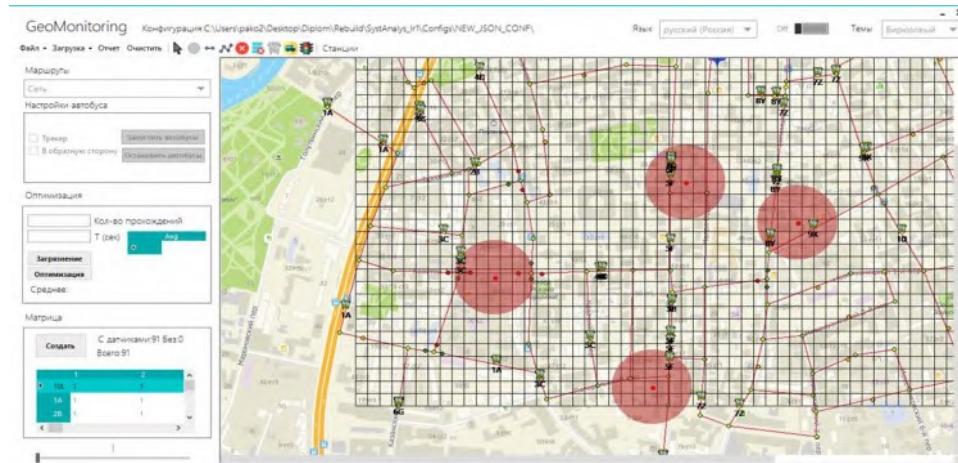


Рис. 4. Пример работы системы City Monitoring

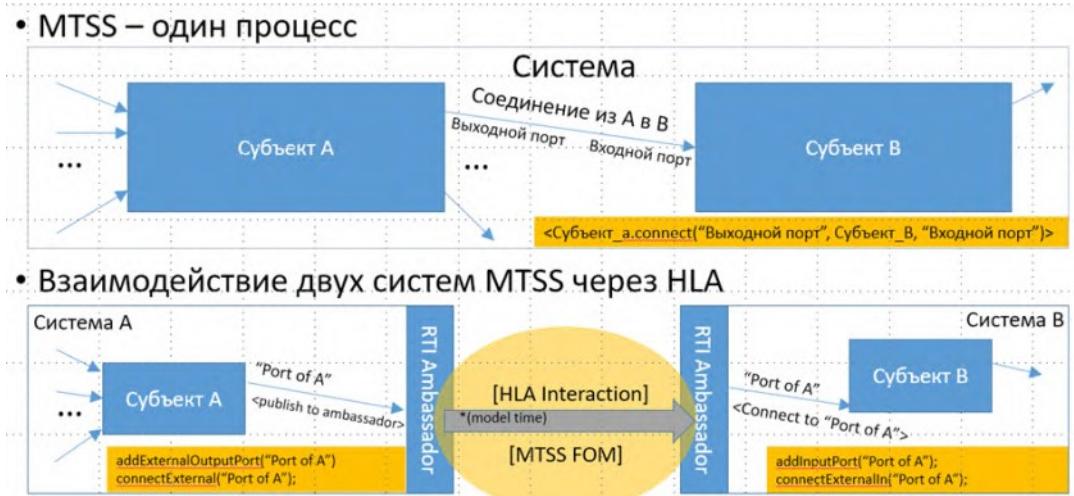


Рис. 5: Два варианта взаимодействия моделей в системе MTSS

Продолжались работы по развитию системы визуально-интерактивного имитационного моделирования MTSS, включая связывание двух и более имитационных моделей, работающих каждая как отдельный процесс. Для такого связывания наиболее очевидным оказалось использование HLA, для чего данная библиотека была встроена в MTSS и сама система MTSS получила развитие, в частности усовершенствован язык описания субъектов (рис. 5).

Продолжена разработка методов и алгоритмов анализа ненадежных сетей. В части анализа сетей с зависимыми отказами рассмотрены задачи расчета характеристик связности случайных графов с групповыми отказами ребер в случае укладки анализируемого графа в другой граф, т. е. на модели гиперсети с ненадежными связями (ветвями) первичной сети. При этом отказ ветви может привести как к безусловному отказу проложенных по ней ребрам вторичной сети, так и к вероятностному. Разработаны и протестированы пилотные версии соответствующих программ расчета.

Разработана целочисленная линейная модель календарного планирования проектов с переменными нескладируемыми ресурсами, позволяющая строить более сбалансированные планы в сравнении с известными постановками, в которых ресурсы полагаются известными заранее заданными величинами.

Проводились исследования по теме оптимизации функционирования современных сетей передачи данных (в частности, сетей мониторинга состояния атмосферы в мегаполисах). Был рассмотрен подход, в котором время обнаружения загрязнения считается случайной величиной. Для этих условий была выведена кумулятивная функция распределения времени обнаружения загрязнения в зависимости от особенностей системы мониторинга. Предполагалось, что мобильный датчик способен обнаруживать загрязнение воздуха с определенной заранее заданной вероятностью.

Рассматривались задачи размещения стационарных датчиков на мониторируемой территории с учетом расположения предприятий, преимущественного направления ветров, некоторых других факторов. Разрабатывается система имитационного моделирования для тестирования распространения вредных веществ от источников на различных топологиях (территориях мегаполиса).

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Shakhov, V., Materukhin, A., Sokolova, O., Koo, I. Optimizing urban air pollution detection systems // Sensors. Jun. 2022. V. 22, No. 13. P. 4767. DOI: 10.3390/s22134767.
2. Monakhova, E. A., Monakhov, O. G., Romanov A. Yu. Routing algorithms in optimal degree four circulant networks based on relative addressing: Comparative analysis for networks-on-chip // IEEE Trans. on Network Sci. and Engin. 2022. P. 1–13. DOI: 10.1109/TNSE.2022.3211985.
3. Монахова, Э. А., Монахов, О. Г. Эффективный алгоритм поиска кратчайших путей в плотных гауссианских сетях // Прикл. дискр. матем. 2022. № 58. С. 94–104. DOI: 10.17223/20710410/58/9.
4. Монахова, Э. А., Монахов, О. Г. Построение серий семейств циркулянтных сетей степени шесть // Дискр. анализ и исслед. операций. 2022. Т. 29, № 4. С. 59–76. DOI: 10.33048/daio.2022.29.743.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Kratov, S., Podladnikov, A. The development of the massive open online course on distance forms of research and training // Proc. of the 16th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2022", Seul (Korea), Jan. 3–5, 2022. DOI: 10.1109/IMCOM53663.2022.9721752.
2. Rodionov, A. Network probabilistic connectivity: Optimal structures II // Proc. of the 16th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2022", Seul (Korea), Jan. 3–5, 2022. DOI: 10.1109/IMCOM53663.2022.9721775.
3. Shakhov, V., Yurgenson, A., Chen, H. On reliability of pipeline monitoring sensor networks // Proc. of the 16th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2022", Seul (Korea), Jan. 3–5, 2022. DOI: 10.1109/IMCOM53663.2022.9721631.
4. Kratov, S., Sokolova, O. On popularization of scientific developments and use of free and open source software // Proc. Intern. conference engineering technologies and computer science "EnT 2021", Moscow, June 15–16. P. 45–48 (не вошла в отчет 2021 г.).
5. Monakhova, E., Monakhov, O., Lezhnev, E., Romanov, A. Optimal routing algorithm in dense Gaussian networks-on-chip // Intern. Conf. on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Maldives, Nov. 16–18, 2022. DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988159.
6. Monakhov, O., Monakhova, E. Parallel genetic algorithm for synthesis of optimal circulant networks on Kunpeng processors // Intern. Conf. IEEE SIBIRCON 2022 (OPCS 2022), Novosibirsk, Nov. 11–13, 2022. P. 950–953. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017065.
7. Migov, D., Yurgenson, A. On optimal connection of base stations of wireless communication network to power supply centers in a mine // Intern. Conf. IEEE SIBIRCON 2022 (OPCS 2022), Novosibirsk, Nov. 11–13, 2022. P. 980–983. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017054.
8. Shakhov, V., Chen, H., Rodionov, A. Reliability polynomial for rectangular lattice strip // Intern. Conf. IEEE SIBIRCON 2022 (OPCS 2022), Novosibirsk, Nov. 11–13, 2022. P. 990–994. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017123.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Токтошов, Г. Й. Методология выбора трасс для прокладки сетей и коммуникаций // Вестн. СибГУТИ. 2022. Т. 1, № 1. С. 97–107. DOI: 10.55648/1998-6920-2022-16-1-97-107.
2. Щербакова, Н. Г. Моделирование групповых взаимодействий комплексных систем. Обзор // Пробл. информ. 2022. № 3. С. 24–45. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-3-24-45.
3. Кальней, А. М. Оптимизация размещения контрольных устройств на каналах в сетях мониторинга // Пробл. информ. 2022. № 4. С. 28–38. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-4-28-38.
4. Родионов, А. С. Можно ли добиться дальнейшего ускорения расчета характеристик связности случайного графа? // Пробл. информ. 2022. № 4. С. 39–52. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-4-39-52.
5. Бакулина, М. П. Эффективное сжатие без потерь больших массивов информационных данных // Пробл. информ. 2022. № 4. С. 63–69. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-4-63-69.
6. Бредихин, С. В., Ляпунов, В. М., Щербакова, Н. Г. Гиперсеть научного соавторства. Анализ данных БД Repes // Пробл. информ. 2022. № 4. С. 70–83. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-4-70-83.
7. Шахов, В. В., Чен, Х., Юргенсон, А. Н., Лошкарев, А. В. К вопросу оценки надежности линейных беспроводных сенсорных сетей // Пробл. информ. 2022. № 4. С. 120–128. DOI: 10.24412/2073-0667-2022-4-120-128.
8. Ляхов, О. А. Отображение нескладируемых ресурсов в моделях календарного планирования проектов // Тез. Междунар. конф. "Марчуковские научные чтения – 2022", Новосибирск, 3–7 окт. 2022 г. С. 120. DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-72.
9. Токтошов, Г. Й. Многокритериальные задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций // Тез. Междунар. конф. "Марчуковские научные чтения – 2022", Новосибирск, 3–7 окт. 2022 г. С. 18. DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-76.
10. Бакулина, М. П. Адаптивный метод сжатия бинарных изображений // Тез. Междунар. конф. "Марчуковские научные чтения – 2022", Новосибирск, 3–7 окт. 2022 г. С. 117. DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-66.
11. Рудометов С. В. Внешнее связывание имитационных моделей в системе MTSS // Тез. Междунар. конф. "Марчуковские научные чтения – 2022", Новосибирск, 3–7 окт. 2022 г. С. 121. DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-75.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences "SIBIRCON", (OPCS 2022), Novosibirsk, November 11–13, 2022 – 3 доклада (Монахов О. Г., Монахова Э. А., Мигов Д. А., Юргенсон А. Н., Шахов В. В., Родионов А. С.).
2. Intern. Conf. on Electrical, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Male (Maldives), November 16–18, 2022 – 1 доклад (Монахова Э. А., Монахов О. Г.).
3. The 18th International Asian School-Seminar Optimization Problems of Complex Systems (OPCS), Novosibirsk – Moscow – Issyk-Kul, July 20–30, 2022 – 2 доклада, из них 1 пленарный (Родионов А. С., Шахов В. В.).
4. IMCOM, Seoul (Korea), January 3–5, 2022 – 3 доклада (Родионов А. С., Кратов С. В., Шахов В. В., Юргенсон А. Н.).

5. 17th ISP Conference Mathematical Modeling and Simulation Systems (MODS2022), Москва, 14–16 ноября 2022 г. – 1 доклад (Ткачёв К. В.).

6. Международная конференция "Марчуковские научные чтения – 2022" (МНЧ-2022), Новосибирск, 3–7 октября 2022 г. – 4 доклада, из них 1 пленарный (Ляхов О. А., Токтошов, Г. Й., Бакулина М. П., Рудометов С. В.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Родионов А. С.:

– член (сопредседатель) программного комитета "18th International Asian School-Seminar Optimization Problems of Complex Systems (OPCS)", Novosibirsk – Moscow – Issyk-Kul, July 20–30, 2022,

– член программного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения – 2021", Новосибирск, 3–7 октября 2022 г.,

– член программного комитета 16th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM), Seoul (Korea), January 3–5, 2022,

– член программного комитета 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON) (OPCS 2022), Novosibirsk, November 11–13, 2022;

2. Шахов В. В. – член программного комитета 16th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM), Seoul (Korea), January 3–5, 2022;

3. Токтошов Г. Й. – член организационного комитета "18th International Asian School-Seminar Optimization Problems of Complex Systems (OPCS) ", Novosibirsk – Moscow – Issyk-Kul, July 20–30, 2022;

4. Соколова О. Д. – ученый секретарь программного комитета "18th International Asian School-Seminar Optimization Problems of Complex Systems (OPCS) ", Novosibirsk – Moscow – Issyk-Kul, July 20–30, 2022;

5. Юргенсон А. Н. – член организационного комитета 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON) (OPCS 2022), Novosibirsk, November 11–13, 2022.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 4

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11

Публикаций, индексируемых в библиографической базе РИНЦ – 22

Докладов на конференциях – 13, в том числе 2 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 8

Кадровый состав

- | | | |
|---------------------|----------------|-----------|
| 1. Родионов А. С. | зав. лаб. | д.т.н. |
| 2. Бакулина М. П. | н.с. | к.ф.-м.н. |
| 3. Бредихин С. В. | в.н.с. | к.т.н. |
| 4. Волжанкина К. А. | м.н.с. | |
| 5. Капустина Г. А. | ведущ. инженер | |

6. Кратов С. В.	н.с.	
7. Ляпунов В. М.	ведущ. инженер	
8. Ляхов О. А.	н.с.	к.э.н.
9. Мигов Д. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
10. Моисеенко В. В.	н.с.	
11. Монахов О. Г.	в.н.с.	к.т.н.
12. Монахова Э. А.	с.н.с.	к.т.н.
13. Рудометов С. В.	н.с.	к.т.н.
14. Соколова О. Д.	с.н.с.	к.т.н.
15. Ткачёв К. В.	м.н.с.	
16. Токтошов Г. Ы.	н.с.	к.т.н.
17. Трофимова Л. В.	ведущ. инженер	
18. Шахов В. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
19. Щербакова Н. Г.	с.н.с.	
20. Юргенсон А. Н.	н.с.	к.ф.-м.н.

Педагогическая деятельность

Родионов А. С.	– профессор НГУ и СибГУТИ
Бакулина М. П.	– доцент НГУ
Токтошов Г. Ы.	– доцент СибГУТИ
Волжанкина К. А.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ
Ткачёв К. В.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ
Мигов Д. А.	– ст. преподаватель НГУ, доцент НГТУ
Шахов В. В.	– доцент НГТУ

Руководство студентами

Черепанов А. С.	– 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Родионов А. С.
Ятманов Р. Д.	– 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Родионов А. С.

Руководство аспирантами

Кальней А. М.	– 4-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
---------------	--

Защита дипломов

Черепанов А. С.	– 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Родионов А. С.
-----------------	---