# ЛАБОРАТОРИЯ СИСТЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

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

## Важнейшие достижения

### Анализ и структурная оптимизации линейных беспроводных сенсорных сетей с ненадежными элементами

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Шахов В. В.

Разработан ряд алгоритмов расчета и оценивания надежности линейных беспроводных сенсорных сетей, а также структурной оптимизации таких сетей для повышения их надежности. Линейные беспроводные сенсорные сети (ЛБСС, LWSN), предназначенные для мониторинга протяженных в пространстве объектов (например, трубопроводов), имеют протяженную структуру. Топологически граф такой сети может быть как линейным, так и нелинейным, так как возможны каналы беспроводной связи не только между ближайшими соседними узлами.

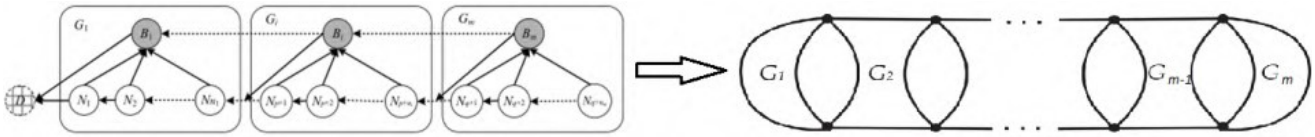


Рис. 1 – ЛБСС и схематический граф ее структуры с продольными сечениями

На основе разработанного ранее декомпозиционного подхода предложен рекурсивный алгоритм расчета надежности ЛБСС, имеющих множество поперечных двухвершинных сечений (рис. 1), позволяющий эффективно учитывать все двухвершинные сечения, что позволяет за приемлемое время делать расчет надежности ЛБСС из сотен и тысяч узлов. Для оценки надежности таких сетей также разработаны параллельные алгоритмы для графических ускорителей.

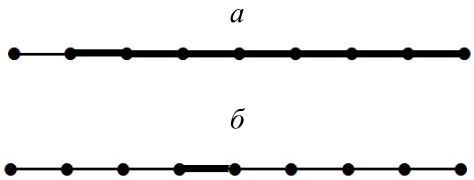


Рис. 2 – Оптимальное по вероятности установления произвольного парного соединения размещение одного слабого или "сильного" ребра

Аналитически доказан оптимальный по критерию средней вероятности связности пары узлов выбор расположения ребер, существенно отличающихся по надежности от остальных, в длинных цепях, моделирующих линейные сети с ненадежными связями.

Для оптимальной по критерию надежности расстановки стоков ЛБСС разработан ряд генетических алгоритмов. Использован подход с кумулятивным уточнением границ надежности сети и оценкой надежности по тренду, позволяющий ускорить поиск оптимальных решений. Также разработаны параллельные алгоритмы расстановки стоков.

Разработаны модели для оценки показателей надежности ребер в случайных графах, моделирующих топологию беспроводных сетей с помехоустойчивыми каналами.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Мигов, Д. А., Волжанкина, К. А., Родионов А. С. Алгоритмы структурной оптимизации сетей различного назначения с использованием кумулятивных оценок границ надежности // Автометрия. 2021. № 3. С. 19–29.

[Migov, D. A., Volzhankina, K. A., Rodionov, A. S. Genetic algorithms for drain placement in wireless sensor networks optimal by the reliability criterion // Optoelectron. Instrum. and Data Process. 2021. Vol. 57. No 3. P. 240–249. DOI: 10.3103/S8756699021030110 (WoS, Scopus Q3).

2. Migov, D. A., Snytnikova, T. V., Rodionov, A. S., Kanevsky, V. I. Network reliability calculation with use of GPUs // LNCS, 12942. In PACT 2021. V. Malyshkin (ed.). P. 210–219 (WoS, Scopus Q3).

3. Shakhov, V. V., Migov D. A. An effective method for ensuring the reliability of a critical infrastructure monitoring network // LNCS. In ICCSA (8). 2021. P. 526–535. (WoS, Scopus Q3).

4. Tarasov, A., Migov D. Parallel genetic algorithm for sink nodes placement to maximize network reliability // Proc. of the IEEE OPCS 2021, Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 126–129. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588716 (Sopus).

5. Rodionov, A. Optimal structures of random graphs // Proc. of the IEEE OPCS 2021, Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 96–99. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588692 (Scopus).

6. Shakhov, V., Yurgenson, A. Towards edge computing based monitoring for smart ports // Comput. Sci. and Its Appl. (ICCSA 2021). P. 262–271. DOI:10.1007/978-3-030-87016-4_20. (WoS, Scopus Q3).

Результаты исследований представлены на конференциях:

1. The 21th International conference on computational science and its applications, Cagliari (Italy), Sept. 13–16, 2021.

2. 17-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск – Москва – Алматы, 14–17 сентября 2021 г.

3. The 16th International conference on parallel computing technologies, Kaliningrad, September 13–18, 2021.

## Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2021 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 0251-2021-0005.

Руководители: д.ф.-м.н., проф. РАН 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".

**Этап 2021 г.**

1. На основе нового алгоритма поиска кратчайших путей предложен динамический алгоритм парной маршрутизации сообщений при наличии в сети ненадежных элементов для сетей-на-кристалле и многопроцессорных систем с регулярной циркулянтной топологией произвольной размерности. Проведен анализ алгоритмов и получены оценки количества резервных кратчайших путей в системе. Предложен эффективный алгоритм использования резервных путей для адаптации к динамическим изменениям топологии и сетевым перегрузкам. Разработан новый алгоритм парной маршрутизации сложности O(1) для семейства оптимальных двумерных циркулянтов с любым количеством узлов в сети, использующий относительную адресацию узлов.

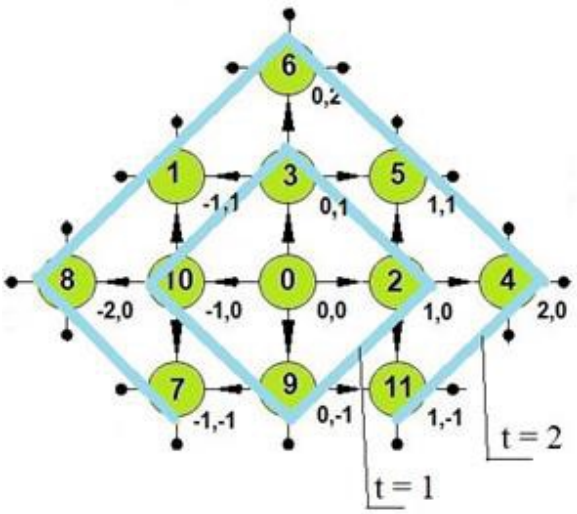


Рис. 3 – Пример работы алгоритма поиска кратчайших путей

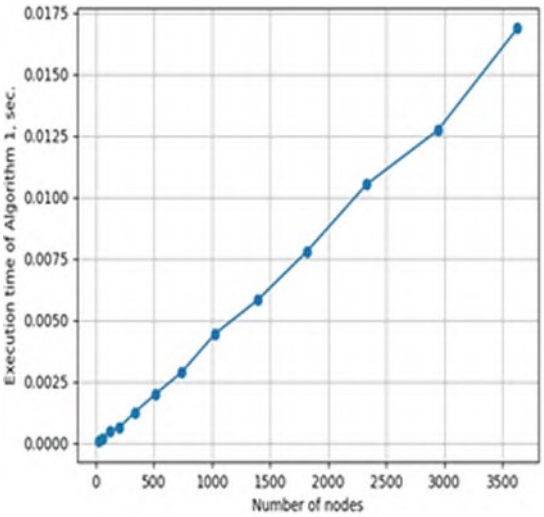


Рис. 4 – Зависимость времени выполнения алгоритма от числа узлов для 3D циркулянтов

2. Изучена потенциальная надежность двумерных циркулянтных сетей с ненадежными элементами. Для оптимальных циркулянтов степени четыре решена известная (Δ, D, D', $s$)-проблема при отказах любых множеств $s \leq 3$ узлов (каналов связи) в сети. Впервые найдены диапазоны изменения порядков графов, при которых сохраняется (или увеличивается) диаметр сети при отказах $s$ элементов. Показано преимущество рассмотренного класса сетей по устойчивости диаметра при отказах среди регулярных сетей степени четыре. Предложен и исследован в сетях на кристалле универсальный метод борьбы с тупиковыми ситуациями, применимый для любых топологий.

3. Разработаны новые эффективные методы, алгоритмы и программы кодирования и декодирования математических выражений в виде векторов действительных чисел. Предложен алгоритм метаэвристического программирования с экспрессией генов для решения задачи автоматического построения нелинейных моделей (математических выражений, функций, алгоритмов и программ) на основе заданных экспериментальных данных с использованием предложенных методов кодирования и декодирования. Получены экспериментальные оценки временно́й сложности этого алгоритма как единого универсального подхода при использовании четырнадцати биоинспирированных алгоритмов в процессе эволюционного синтеза и показаны его преимущества по сравнению с известными методами.

4. Завершена работа над монографией "Библиометрические сети научных статей и журналов", посвященной анализу сетей, сконструированных на основе данных, извлеченных из библиографической БД.

5. Предложена модель сети соавторства и формальный механизм ее построения. Разработаны методы измерения параметров сети. Исследована структура сети соавторства $N_{ca}$, построенная на информации, извлеченной из реальной библиометрической БД RePEc. Число узлов 32 434, число ребер 73 969. Основные характеристики $N_{ca}$:

– распределение степеней узлов следует степенному закону: $p_k \sim k^{(-\gamma)}$, $k_{\min} = 4$, $\gamma = 1{,}3$,

– характеристическая длина пути $L(N_{ca}) \sim 6{,}58$,

– локальный коэффициент кластеризации $CC(N_{ca}) \sim 0{,}2644$,

– вывод: сеть $N_{ca}$ является масштабно-инвариантной и относится к сетям "малого мира".

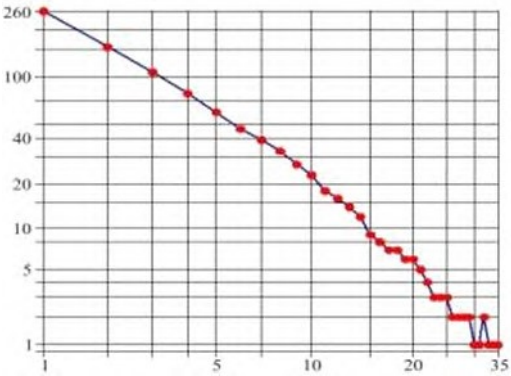


Рис. 5 – Распределение степеней узлов сети $N_{ca}$

6. Исследованы взвешенные сети соавторства, узлами которых являются научные публикации, а веса ребер отражают суммарные вклады авторов. Предложена методика оценки размера вклада каждого соавтора в том случае, когда эти сведения не указаны явно, основанная на комбинации двух методов определения матрицы соавторства. Вычислены меры центральности авторов по степени, близости, посредничеству и собственному вектору. Приведены результаты ранжирования авторов на этой основе. Исследована зависимость результатов от выбора метода и меры центральности.

7. Предложены рекомендации по улучшению интеллектуальных методов анализа данных, используемых в сложных информационных системах. Обоснован выбор k-Nearest Neighbours в качестве "легкого" метода машинного обучения для развертывания на интеллектуальных сенсорных узлах. Предложен метод преодоления внутренних геометрических ограничений традиционных сверточных нейронных сетей.

8. С использованием аппарата марковских процессов разработаны модели и методы оценки надежности для ряда сценариев использования протяженных беспроводных сенсорных сетей. Выведены формулы надежности доставки сообщений с учетом архитектурных особенностей рассматриваемых сетей.

9. Получено решение ряда задач оптимизации функционирования нестационарных сетей с учетом интерференции, использования технологий когнитивного радио и кластеризации.

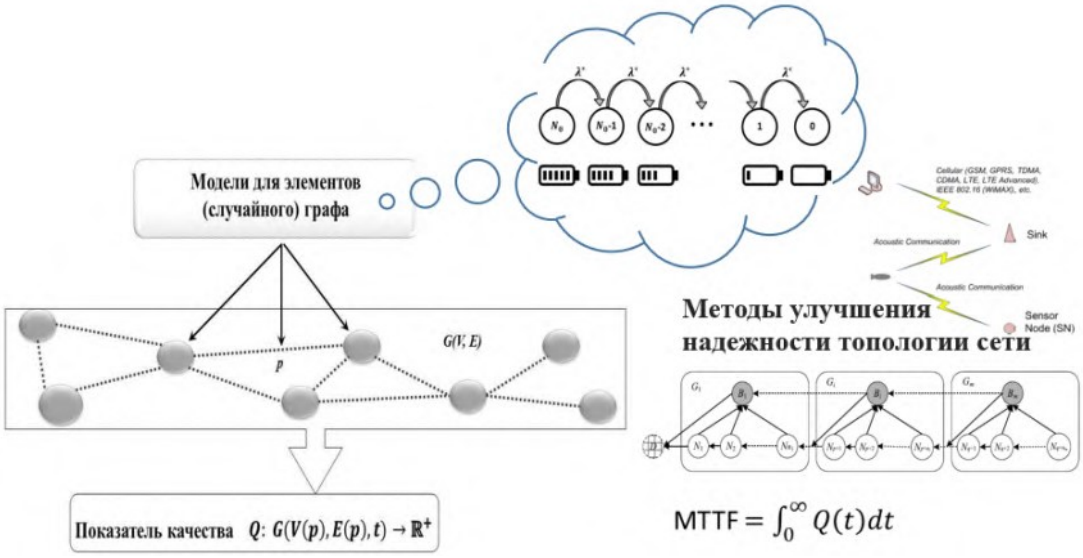


Рис. 6 – Иллюстрация подхода

10. Исследованы задачи функционирования сетей с нестационарной топологией на примере сетей с подвижными узлами, которые применяются для задач мониторинга больших территорий. Разработано средство имитационного моделирования (совместно со студентами ВКИ), в котором предусмотрены следующие возможности: генерация маршрутов; моделирование движения узлов по заданной территории с целью посещения указанных участков; отслеживание заряда узлов для

своевременного изменения маршрутов и движения к станциям подзарядки. Разработаны алгоритмы управления движением узлов (адаптировались известные алгоритмы поиска кратчайших путей, алгоритмы покрытия и др.). Для мониторинга территории строится матрица квадратов, т. е. территория делится на участки, а алгоритмы управления движением аппаратов обеспечивают покрытие всех заданных участков.

11. Исследована задача моделирования передачи данных в сети с подвижными узлами от приемопередатчиков ограниченной мощности (с ограниченным диапазоном передачи информации). С помощью системы имитационного моделирования MTSS и с использованием сервиса Open Street Map созданы различные имитационные визуально-интерактивные модели некоторых территорий, где мобильные узлы перемещаются и передают данные. В результате моделирования показано влияние помех на распространение радиосигналов в сети VANET при высокой загруженности трафика.

12. Предложен метод расстановки стоков в беспроводной сенсорной сети для повышения успешно мониторируемой сетью области. Предполагается, что сенсоры подвержены случайным отказам, а собираемая ими информация должна быть доставлена в один из стоков. Для расстановки был разработан генетический алгоритм. Использован подход с оценкой надежности по тренду, что позволило ускорить скорость расчета и/или значение целевой функции, т. е. успешно мониторируемой сетью области сети, в которой стоки располагаются в соответствии с найденной алгоритмом расстановкой.

13. Разработана новая математическая модель выбора маршрутов прокладки сетей, учитывающая трехмерность и стесненность городской застройки, тип и назначение проектируемой коммуникации, ограничения по высоте прокладки сетей, углов поворота коммуникаций вокруг заданной оси при обходе препятствий и другие ограничения.

14. Для планирования ремонтных работ в инженерных сетях разработана система моделей, позволяющая строить планы доставки бригад и проведения работ в узлах сети с учетом объемов работ и стоимости доставки бригад на объекты.

15. Исследовано влияние ошибок агрегирования на точность решения задач календарного планирования проектов. Показано, что погрешности в расчете длительности цикла достаточно велики, чтобы их игнорировать в практике планирования.

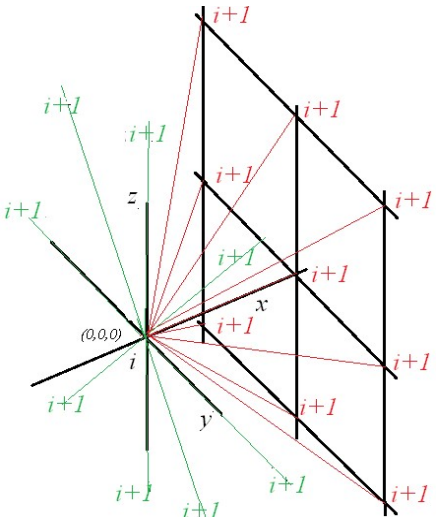


Рис. 7 – Положение *i*-й ветви в пространстве

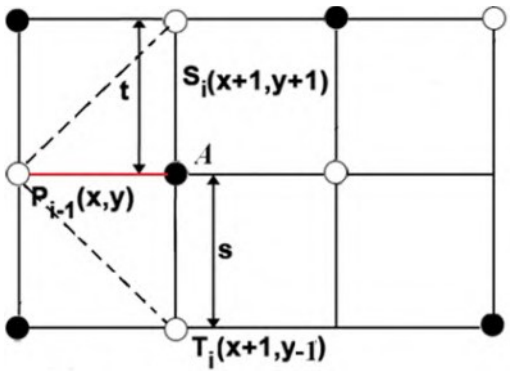


Рис. 8 – Обход препятствий

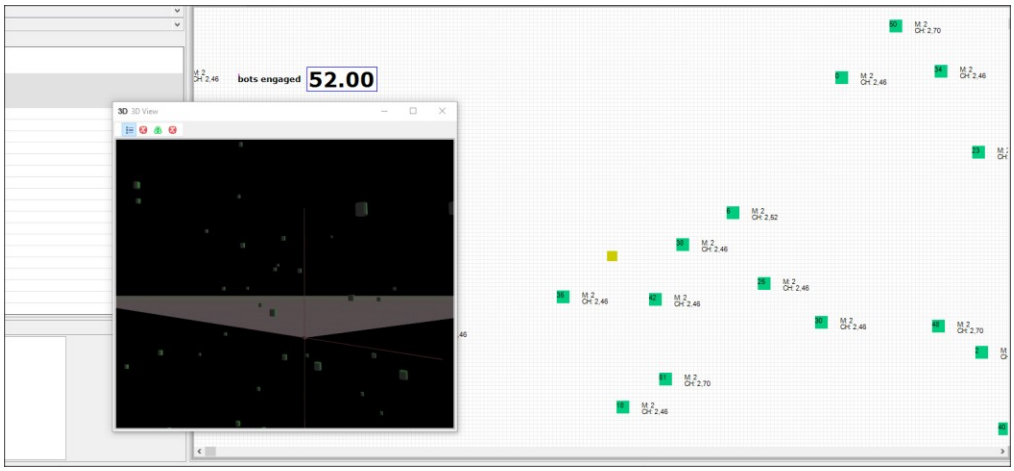


Рис. 9 – Моделирование сенсорной сети с подвижными узлами (БПЛА)

16. Модифицирована система имитационного моделирования МТСС с целью ее применения для "моделирования передачи данных в сети с подвижными узлами от приемопередатчиков ограниченной мощности (с ограниченным диапазоном передачи информации)" (рис. 9).

Предложено развитие МТСС в направлении использования описания модели на естественном языке с последующей трансформацией такого описания в визуально-интерактивную модель в среде МТСС.

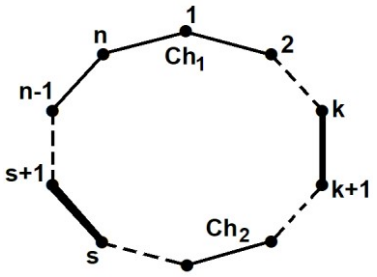


Рис. 10 – Оптимальный выбор положения усиленных связей

17. Получены новые доказательства оптимальности вариантов соединения и усиления некоторых кольцевых сетей по критерию вероятности связности (рис. 10).

## Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 19-01-00562а** "Математические модели и алгоритмы для оптимизации функционирования сетей передачи данных с подвижными узлами".

Руководитель проекта – к.т.н. Соколова О. Д.

Рассматривались методы передачи данных в сетях с нестационарной топологией (vehicle ad-hoc networks, flying ad-hoc networks). Были рассмотрены две оптимизационные задачи: рассылка сообщений в сети с узлами на транспортных средствах; сбор данных на протяженной территории с использованием беспилотных аппаратов.

Показано, что значительную часть задач оптимизации функционирования нестационарных сетей, имеющих прикладную значимость, можно свести к постановке вида $\min\limits_{x\in\mathfrak{Y}} f_C(x)$, $L_0(x)\geq\zeta_A$, где функция $f_C(x)$ отображает стоимость используемых ресурсов, множество $\mathfrak{Y}$ определяется физическими ограничениями на ресурсы, функция $L_0(x)$ описывает критерий эффективности системы, величина $\zeta_A$ характеризует уровень сервиса в соглашении об обслуживании. Получено решение задачи в ряде случаев.

Разработана имитационная модель для моделирования функционирования сетей передачи данных с узлами на беспилотных летательных аппаратах. Цель моделирования – получить оптимальное расписание маршрутов аппаратов в процессе мониторинга протяженной территории

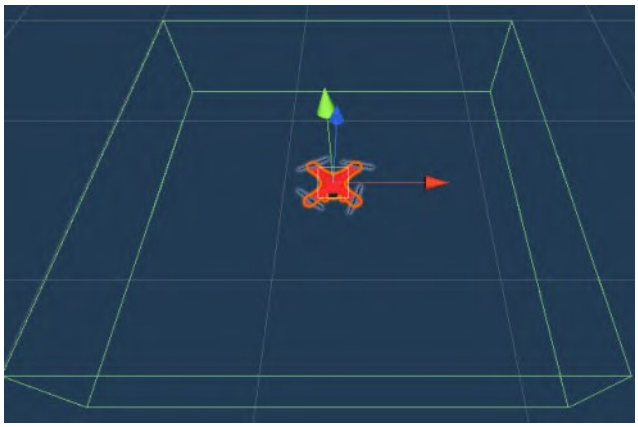

Рис. 11 – Моделирование зоны вокруг аппарата для предотвращения пересечений маршрутов

Рис. 12 – Сравнение методов кластеризации

(параметры модели – квадраты территории для мониторинга, количество БПЛА, уровень заряда датчиков и др.).

Для выбора в ней активных мобильных узлов использовались методы кластеризации.

**Проект РФФИ № 19-47-540007р_а** "Модели и алгоритмы для эффективного сбора и передачи пространственно-временных данных о состоянии атмосферы мегаполиса с помощью беспроводных сенсорных сетей (на примере Новосибирска)".

Руководитель проекта – к.т.н. Соколова О. Д.

Исследовались задачи оптимизации мониторинга атмосферы в мегаполисах с применением мобильных датчиков. Рассматривалась ситуация, когда некоторое событие обнаруживается разреженными мобильными датчиками, размещенными на транспортных средствах. В новейших публикациях на эту тему используются вероятностные критерии эффективности обнаружения превышения порога загрязнения. В ходе работы по проекту получена функция распределения для скорости обнаружения. В качестве параметров функций распределения задавались: количество и стоимость сенсоров, энергопотребление, интенсивность транспортного трафика. Рассмотрены две ситуации с движением потока транспорта в зону загрязнения – постоянный и случайный интервалы времени движения. С использованием результатов предложены постановки задач оптимизации системы геомониторинга, получено их решение.

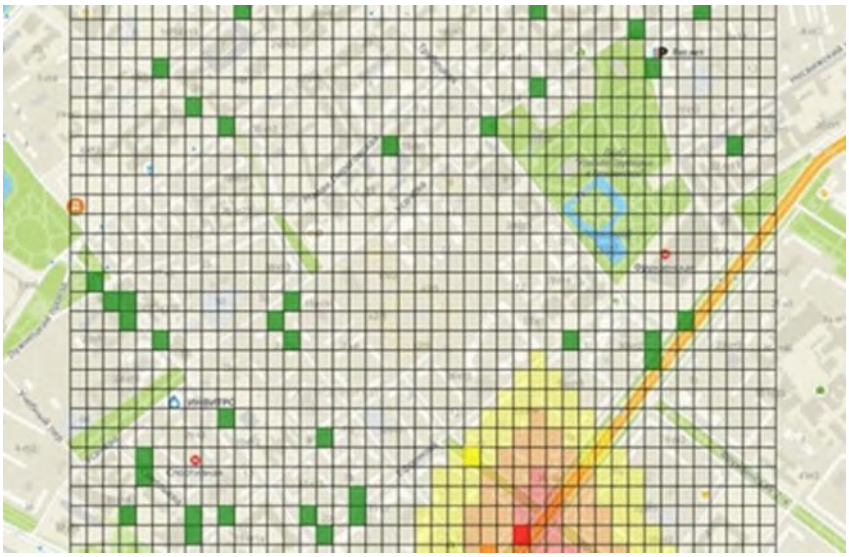

Рис. 13 – Моделирование распространения загрязнения воздуха от источника (красная точка) на карте мегаполиса

Имитационное моделирование мониторинга проводилось с помощью разработанной системы City Monitoring. Основными характеристиками системы являются: возможность установки на карте города мест расположения источников загрязнений; визуализация полей распространения загрязнения; моделирование движения объектов с датчиками по заданным маршрутам; определение зон загрязнения по данным, полученным от датчиков. При моделировании использовались оцифрованные карты дорог из открытых источников.

## Публикации

**Монографии, главы в монографиях**

1. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Библиометрические сети научных статей и журналов. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2021. ISBN 978-5-901548-44-8.

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

1. Feng Liang, Honglong Chen, Kai Lin, Junjian Li, Zhe Li, Huansheng Xue, Shakhov V., Hannan Bin Liaqat. Route recommendation based on temporal–spatial metric // Comput. & Elect. Engin. Nov. 2021, 107549. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107549.

2. Kratov, S., Podsadnikov, A. The overview of software and information support services for distance learning // Proc. of the 2021 15th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication IMCOM 2021. 9377375. DOI: 10.1109/IMCOM51814.2021.9377375.

3. Migov, D. A., Snytnikova, T. V., Rodionov, A. S., Kanevsky V. I. Network reliability calculation with use of GPUs // PaCT 2021. LNCS 12942. 2021. P. 210–219. DOI:10.1007/978-3-030-86359-3_16.

4. Monakhov, O. G., Monakhova, E. A., Romanov, A. Yu., Sukhov, A. M., Lezhnev, E. V. Adaptive dynamic shortest path search algorithm in networks-on-chip based on circulant topologies // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 160836–160846. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3131635 (Q1).

5. Monakhova, E. A. Series of families of degree six circulant graphs // Прикладная дискретная математика. 2021. № 54. С. 109–124. https: //doi.org/10.17223/20710410/54/6.

6. Scherbakova, N. G., Bredikhin, S. V. Preferential attachment in the citation network of scientific articles // J. of Phys.: Conf. Ser. 1715 (2021) 012055 IOP Publishing. DOI:10.1088/1742-6596/1715/1/012055.

7. Shakhov, V. V., Migov D. An effective method for ensuring the reliability of a critical infrastructure monitoring network // LNCS. 2021. Vol. 12956. P. 526–535. DOI: 10.1007/978-3-030-87010-2_39.

8. Shakhov, V. V., Yurgenson, A. N. Towards edge computing based monitoring for smart ports // LNCS. 2021. Vol. 12956. P. 262–271. DOI: 10.1007/978-3-030-87016-4_20.

9. Shakhov, V., Sokolova, O., Insoo Koo. On the suitability of intrusion detection system for wireless edge networks // Energies. 2021. Vol. 14, iss. 18. 5954. DOI: 10.3390/en14185954.

10. Zhe Li, Honglong Chen, Kai Lin, Shakhov Vladimir, Leyi Shi, Jiguo Yu. From edge data to recommendation: A double attention-based deformable convolutional network // Peer-to-Peer Netw. Appl. 2021. Vol. 14. P. 3984–3997. DOI: 10.1007%2Fs12083-020-01037-7.

11. Мигов, Д. А., Волжанкина, К. А., Родионов, А. С. Алгоритмы структурной оптимизации сетей различного назначения с использованием кумулятивных оценок границ надежности // Автометрия. 2021. № 3. С. 19–29.

[Migov, D. A., Volzhankina, K. A., Rodionov, A. S. Genetic algorithms for drain placement in wireless sensor networks optimal by the reliability criterion // Optoelectron. Instrum. and Data Process. 2021. Vol. 57, No 3. P. 240–249. DOI: 10.3103/S8756699021030110.]

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

1. Sergeev, K., Migov, D. On parallel calculation of all-terminal network reliability // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 104–107. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588720.

2. Kratov, S., Sokolova, O. About the life cycle of information systems based on open Web-technologies // CEUR Workshop Proc., 2021. P. 96–106. DOI: 10.47350/iccs-de.2021.08.

3. Lyakhov O. A. Aggregation errors in project scheduling // J. of Phys.: Conf. Ser., Conference "Marchuk Scientific Readings 2021 (MSR-2021), Novosibirsk, Oct. 4–8, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/2099/1/012053.

4. Podsadnikov, A. V., Rozov, K. V., Kratov, S. V. The methods and approaches to computer networks simulation using virtual network infrastructure // J. of Phys.: Conf. Ser., 2021, 1791(1), 012082. DOI:10.1088/1742-6596/1791/1/012082.

5. Rodionov, A. Optimal structures of random graphs // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 96–99. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588692.

6. Tarasov, A., Migov, D. Parallel genetic algorithm for sink nodes placement to maximize network reliability // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 126–129. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588716.

7. Tkachev, K, Korsakov, S. On a problem of message transmission to sinks in transport network // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 130–133. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588760.

8. Toktoshov, G. The routes choosing methodology for laying networks in three-dimensional space // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 134–138. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588737.

9. Shakhov, V. V., Sokolova, O. D. On modeling air pollution detection with Internet of vehicles // The 15th Intern. confc on ubiquitous information management and communication (IMCOM), 2021. P. 1–3. DOI: 10.1109/IMCOM51814.2021.9377350.

10. Shakhov, V., Yurgenson, A. Reliability modeling for industrial edge computing systems // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 108–112. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588751.

11. Sokolova, O., Rudometov, S. Simulation of data transmission among moving nodes // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 117–120. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588773.

12. Monakhov, O. Evolutionary synthesis of nonlinear models based on metaheuristic programming and templates // J. of Phys.: Conf. Ser., Intern. conf. "Marchuk Scientific Readings 2021 (MSR-2021), Novosibirsk, Oct. 4–8, 2021. Vol. 1715, 012010, 6 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1715/1/012010.

13. Monakhov, O. G., Monakhova, E. A. Comparative evaluation of algorithms for automatic construction of nonlinear models based on metaheuristic programming with gene expression // CEUR Workshop Proc., 2021, 2965. P. 254–259.

14. Monakhova, E. A., Monakhov, O. G. The diameter vulnerability of two-dimensional optimal circulant networks // J. of Phys.: Conf. Ser. 2021. Vol. 2051. 9 p. DOI: 10.1088/1742-6596/2099/1/012054.

15. Monakhova, E. A., Monakhov, O. G. A generalized routing algorithm for a family of optimal 2D circulant networks based on relative addressing // J. of Phys.: Conf. Ser., Conference "Marchuk Scientific Readings 2021" (MSR-2021), Novosibirsk, Oct. 4–8, 2021. P. 55–59. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588737.

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

1. Monakhova, E. A., Monakhov, O. G. The diameter vulnerability of two-dimensional optimal circulant networks // Марчуковские научные чтения-2021 : тез. Междунар. конф., Новосибирск, 4–8 окт. 2021 г. / ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. С. 142–143. https: //doi.org/10.1088/1742-6596/2099/1/012054.

2. Бредихин, С. В., Ляпунов, В. М., Щербакова, Н. Г. Ранжирование узлов взвешенной сети соавторства: анализ данных БД REPEC // Пробл. информ. 2021. № 4. С. 67–84. DOI: 10.24411/2073-0667-2021-4-67-84.

3. Бредихин, С. В., Ляпунов, В. М., Щербакова, Н. Г. Структура и параметры невзвешенной сети соавторства на основе данных БД REPEC // Пробл. информ. 2021. № 3. С. 56–67. DOI: 10.24411/2073-0667-2021-3-56-57.

4. Ляхов, О. А. Ошибки агрегирования в сетевых моделях управления проектами // Обработка информации и математическое моделирование : материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22–23 апр. 2021 г. С. 172–178.

5. Ляхов, О. А. Учет ресурсов в минимизации длительности цикла выполнения проектов // Проблемы оптимизации сложных систем : тез. 17-й Междунар. Азиат. шк.-семин., Москва – Новосибирск – Алма-Ата (Казахстан), 13–17 сент. 2021 г. С. 29–35. DOI: 10.24412/cl-35066-2021-1-29-34.

6. Мигов, Д. А., Коротков, А. Н. Использование структурных разрезов в моделировании распространения каскадных отказов в электроэнергетических сетях // Пробл. информ. 2021. № 3. С. 21–33. DOI: 10.24411/2073-0667-2021-3-21-33.

7. Монахов, О. Г., Монахова, Э. А. Сравнительная оценка алгоритмов автоматического построения нелинейных моделей на основе метаэвристического программирования с экспрессией генов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. трудов 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Коломна, 17–20 мая 2021 г. В 2-х томах. Т. 2. Смоленск: Универсум, 2021. С. 179–189.

8. Мячин, Н. М., Романов, А. Ю., Монахова, Э. А. Свободная от дедлоков маршрутизация в сетях на кристалле с циркулянтными топологиями // МЭС-2021, Москва, март–ноябрь 2021 г. ИППМ РАН, 2021. С. 99–105. DOI: 10.31114/2078-7707-2021-3-99-105.

9. Подсадников, А. В., Розов, К. В., Кратов, С. В. Применение средств имитационного моделирования компьютерных сетей в учебном процессе // Информ. и образов. 2021. № 1 (320). С. 47–56. DOI: https: //doi.org/10.32517/0234-0453-2021-36-1-47-56.

10. Соколова, О. Д., Шварцкоп, Н. Применение нестационарных сетей в задачах мониторинга // Пробл. информ. 2021 г. № 4. С. 5–15. DOI: 10.24411/2073-0667-2021-4-5-15.

11. Токтошов, Г. Ы., Ляхов, О. А. Модели организации ремонтных работ для обеспечения работоспособности коммуникаций // Вестн. СибГУТИ. 2021. № 1(53). С. 94–101.

12. Токтошов, Г. Ы. Задачи размещения пунктов обслуживания сетей инженерных коммуникаций // Обработка информации и математическое моделирование : материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22–23 апр. 2021 г. С. 244–248.

13. Токтошов, Г. Ы. Об организации учебного процесса в условиях чрезвычайных ситуаций // Информ. и образов. 2021. № 5 (324). С. 21–27. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-21-27.

14. Марченко, М. А., Гусяков, В. К., Маринин, И. В. и др. Интегрирующая платформа для сбора и анализа данных природоохранного мониторинга // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 150-летию Севастопольской биол. станции – Ин-та биологии южных морей им. А. О. Ковалевского и 45-летию НИС "Профессор Водяницкий", Севастополь, 13–18 сент. 2021 г. С. 632–633.

## Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Марчуковские научные чтения 2021", Новосибирск, 4–8 октября 2021 г. – 4 доклада (Монахов О. Г., Монахова Э. А., Ляхов О. А., Бредихин С. В., Щербакова Н. Г.).

2. 10-я Международная научно-техническая конференция "Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте" (ИММВ-2021), Коломна, 17–20 мая 2021 г. – 1 доклад (Монахов О. Г., Монахова Э. А.).

3. The 17th International Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems" (OPCS), Novosibirsk – Moscow – Almaty, Sept. 13–17, 2021 – 11 докладов, из них 1 пленарный (Родионов А. С., Монахов О. Г., Монахова Э. А., Ляхов О. А., Шахов В. В., Юргенсон А. Н., Мигов Д. А., Ткачёв К. В., Соколова О. Д., Рудомётов С. В., Токтошов Г. Ы., Кальней А. М.).

4. 10-я Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем" (МЭС-2021), Москва, 8–15 ноября 2021 г. – 1 доклад (Монахова Э. А.).

5. Российская научно-техническая конференция "Обработка информации и математическое моделирование", Новосибирск, 22–23 апреля 2021 г. – 2 доклада (Ляхов О. А., Токтошов Г. Ы.).

6. International conference on computational science and its applications (ICCSA), Cagliari (Italy), September 13–16, 2021 – 2 доклада (Шахов В. В., Мигов Д. А., Юргенсон А. Н.).

7. 15th International conference on ubiquitous information management and communication (IMCOM), Jan. 4–6, 2021, Seoul (Korea) – 2 доклада (Шахов В. В., Соколова О. Д., Кратов С. В.).

8. The 3rd International workshop on information, computation, and control systems for distributed environments (ICCS-DE 2021), Irkutsk (Russia), July 5–9, 2021 – 1 доклад (Кратов С. В., Соколова О. Д.).

9. International conference "Engineering technologies and informatics: Innovations and applications" (En&T-2021), Moscow, Aug. 18–19, 2021 – 1 доклад (Кратов С. В.).

10. The 16th International conference on parallel computing technologies, Sept. 13–18, 2021, Kaliningrad – 1 доклад (Мигов Д. А.).

## Участие в оргкомитетах конференций

Родионов А. С.:

– сопредседатель программного комитета The 17th International Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems" (OPCS), Novosibirsk – Moscow – Almaty, Sept. 13–17, 2021,

– член программного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения – 2021", Новосибирск, 4–8 октября 2021 г.,

– член программного комитета The 15th International conference on ubiquitous information management and communication (IMCOM), Seoul (Korea), Jan. 4–6, 2021.

**Итоговые данные по лаборатории**

Монографий – 1
Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 11
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 25
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 37
Докладов на конференциях – 73, в том числе 2 пленарных
Участников оргкомитетов конференций – 3

**Кадровый состав**

| | | |
|---|---|---|
| 1. Родионов А. С. | зав. лабораторией | 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. |

Ткачёв К. В. – молодой научный сотрудник.

**Педагогическая деятельность**

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

**Руководство студентами**

Тарасов А. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
Перминов П. О. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
Кробов О. В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
Мацегора А. А. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
Болотина Т. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Родионов А. С.
Черепанов А. С. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Родионов А. С.
Ятманов Р. Д. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Родионов А. С.

**Руководство аспирантами**

Кальней А. М. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
Куянцев В. П. – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.

**Защита дипломов**

Тарасов А. А. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
Сергеев К. С. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Мигов Д. А.