

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Саратовский научный центр
Российской академии наук»



д.ф.-м.н. Хлебцов Б.Н.

«19» 10 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской
академии наук» по диссертации Шнайдер Илья Андреевича «Математическая модель и
численный метод для решения задачи локализации источника атмосферного загрязнения» на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация **Шнайдер Илья Андреевича** «Математическая модель и численный метод для решения задачи локализации источника атмосферного загрязнения», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ выполнена в лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН (ИПТМУ РАН) – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН).

Соискатель Шнайдер Илья Андреевич в 2022 г. окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (далее – ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского) по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» с присвоением квалификации «Магистр» (диплом серии 106435, номер 0002569 от 01.07.2022г.).

После окончания вуза с 1 октября 2022 г. до 1 октября 2025 г. Шнайдер И.А. обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского по группе научных специальностей 1.2 Компьютерные науки и информатика (приказ о зачислении №463-ПК от 20.09.2022 г.).

Научным руководителем был утвержден д.т.н., доцент, профессор кафедры математической кибернетики и компьютерных наук Богомоллов Алексей Сергеевич (приказ № 154-Д от 28.10.22 г.).

Для продолжения работы и завершения кандидатской диссертации по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки) Шнайдер Илья Андреевич приказом по ФИЦ СНЦ РАН № 17 от 26 января 2026 г. был прикреплен соискателем к лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН. Этим же приказом были утверждены последняя редакция темы кандидатской диссертации, представляемой к защите, и научный руководитель в лице д.т.н., доцента, ведущего научного сотрудника, зав. лабораторией системного анализа и управления Богомоллова Алексея Сергеевича.

По завершении работы над кандидатской диссертацией научным руководителем д.т.н., доцентом Богомолым А. С. был предоставлен положительный отзыв о диссертации и соискателе Шнайдере И.А.

Справка о сданных кандидатских экзаменах №88-2026 от 16.09.2026 г. выдана ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского.

Научная экспертиза кандидатской диссертации Шнайдера И.А. была проведена на расширенном заседании лаборатории системного анализа и управления с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений ФИЦ СНЦ РАН, а также из других научных и образовательных учреждений г. Саратова, на котором присутствовали 14 человек, в том числе с правом решающего голоса по специальности и отрасли науки диссертации – 7 докторов и 4 кандидата наук. На заседании по научной специальности и отрасли рассматриваемой диссертации присутствовали:

1. Костерев Андрей Александрович, к. т. н., руководитель ИПТМУ РАН (председатель заседания);

2. Богомол Алексей Сергеевич, д. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией системного анализа и управления ИПТМУ РАН (научный руководитель);

3. Кушников Вадим Алексеевич, д. т. н., профессор, зав. лабораторией комплексных научных исследований ИПТМУ РАН;

4. Жигалов Максим Викторович, д. ф.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории комплексных научных исследований ИПТМУ РАН;

5. Андрейченко Дмитрий Константинович, д. ф.-м.н., профессор кафедры математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского;

6. Блинков Юрий Анатольевич, д. ф.-м.н., зав.кафедрой математического и компьютерного моделирования ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского;

7. Романов Валерий Александрович, д. ф.-м.н., профессор кафедры математической кибернетики и компьютерных наук ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского;

8. Шульга Татьяна Эриковна, д. ф.-м.н., профессор кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» ФГБОУ ВО «Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.;

9. Миронов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н., доцент, декан факультета компьютерных наук и информационных технологий, зав. кафедрой математической кибернетики и компьютерных наук ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского;

10. Петров Дмитрий Юрьевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН;

11. Селютин Александр Дмитриевич, к.т.н., младший научный сотрудник лаборатории комплексных научных исследований ИПТМУ РАН;

12. Асеев Никита Андреевич, младший научный сотрудник лаборатории комплексных научных исследований ИПТМУ РАН;

13. Косицын Андрей Александрович, младший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН;

14. Поляков Максим Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории комплексных научных исследований ИПТМУ РАН;

Рецензенты диссертации.

1. Кушников Вадим Алексеевич, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией комплексных научных исследований ИПТМУ РАН, предоставил положительный отзыв о диссертации;

2. Петров Дмитрий Юрьевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН, предоставил положительный отзыв о диссертации.

По итогам обсуждения диссертации и доклада принято заключение.

Диссертационная работа Шнайдера И.А. направлена на решение актуальной задачи локализации источников атмосферного загрязнения на промышленных территориях на основе математического моделирования и численных методов оптимизации.

Актуальность работы. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности экологического мониторинга промышленных объектов, своевременного выявления неучтённых источников выбросов загрязняющих веществ и совершенствования методов прогнозирования распространения атмосферных загрязнителей с учётом изменяющихся метеорологических условий. Особое значение имеет разработка математических моделей, позволяющих учитывать влияние сухого осаждения и жидких атмосферных осадков на распространение загрязняющих веществ, а также алгоритмов автоматизированной обработки данных наблюдений при ограниченном количестве измерительных пунктов.

Личный вклад автора в получении основных результатов диссертации. Результаты математического моделирования, разработки методов, алгоритмов и программной реализации, представленные в настоящей работе, получены лично автором. Соискатель самостоятельно установил, что задача локализации новых источников атмосферного загрязнения может быть сформулирована как обратная задача математического моделирования распространения шлейфа загрязняющего вещества и решена с использованием метода роя частиц, предположил и обосновал целесообразность учёта процессов сухого осаждения и влияния жидких атмосферных осадков для повышения точности моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Соискатель разработал математическую модель распространения загрязнителей с учётом указанных процессов, построил алгоритм решения задачи локализации источников атмосферного загрязнения на основе разработанной модели и метода роя частиц, а также создал проблемно-ориентированный программный комплекс, обеспечивающий автоматизацию поиска источников загрязнения и визуализацию результатов на картосхемах исследуемых территорий. Сформулировал и доказал лемму о монотонном невозрастании целевой функции лучшего решения и теорему о сходимости метода к минимуму целевой функции на всей области поиска при условии сходимости стандартного метода роя частиц. Сформулированы и доказаны свойства целевой функции и предлагаемого численного метода.

Основные положения диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях в рецензируемых ведущих научных изданиях, а также в сборниках докладов и материалов профильных научных конференций.

Разработанное программное обеспечение реализует предложенные подходы в виде программного комплекса, обеспечивающего интеграцию с базами данных экологического мониторинга, автоматизацию поиска источников загрязнения и визуализацию результатов расчетов на картосхемах исследуемых территорий.

Научная новизна исследований, проведенных в ходе выполнения диссертации, заключается в следующем:

1. Предложена постановка задачи локализации источников атмосферного загрязнения как обратной задачи математического моделирования распространения шлейфа загрязнителя, отличающаяся совместным учётом вкладов известных (задекларированных) и неизвестных (неинвентаризованных) источников, а также разреженности и зашумлённости сети наблюдений, позволяющая свести поиск координат и интенсивности новых источников к задаче глобальной оптимизации целевой функции рассогласования модельных и наблюдаемых концентраций.

2. Разработана продукционная математическая модель распространения атмосферных загрязнителей, отличающаяся возможностью учёта процессов сухого осаждения и выпадения жидких атмосферных осадков и позволяющая повысить точность расчётов распространения загрязнителей при изменяющихся метеорологических условиях.

3. Развитый иерархический численный метод на основе метода роя частиц для решения задачи локализации источников атмосферного загрязнения, отличающийся пространственной декомпозицией области поиска и использованием локальных роёв для формирования информированной начальной популяции глобального роя, и позволяющий сократить время решения задачи за счёт параллельного выполнения локальных этапов и использования информированной начальной популяции глобального роя.

4. Для рассматриваемой задачи доказаны лемма о монотонном невозрастании целевой функции лучшего решения и теорема о сходимости метода к минимуму целевой функции на всей области поиска при условии сходимости стандартного метода роя частиц, что обеспечивает математическое обоснование разработанного метода.

Теоретическая и практическая значимость результатов. Практическая значимость диссертационной работы состоит в повышении эффективности государственного экологического контроля за счет:

1. выявления нелегальных и неучтённых источников выбросов;
2. повышения эффективности государственного экологического контроля;
3. поддержки принятия решений по снижению техногенной нагрузки на атмосферу;
4. визуализации экологической обстановки на промышленных территориях в форме наглядных картосхем и тепловых карт.

Тема диссертации соответствует направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»), Н8 - объективная оценка выбросов и поглощения климатически активных веществ, снижение их негативного воздействия на окружающую среду и климат, повышение возможности качественной адаптации экосистем, населения и отраслей экономики к климатическим изменениям.

Тема диссертации и ее результаты непосредственно связаны с направлением «Адаптация к изменениям климата, сохранение и рациональное использование природных ресурсов», представленном в Указе Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий».

Результаты диссертационной работы соответствуют темам научных исследований ИПТМУ РАН и использованы в отчетах по научно-исследовательской работе, выполняемой в рамках утвержденной Минобрнауки России темы государственного задания «Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций» (проект FFNM-2022-0010).

Ценность результатов научной работы соискателя состоит в том, что разработанные математические модели и алгоритмы признаны эффективными и внедрены в практическую и научную деятельность ОАО «Лига», ФГБУН ФИЦ СНЦ РАН.

Обоснованность и достоверность полученных результатов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации Шнайдер И.А., обеспечиваются корректным применением известных математических методов и алгоритмов, а также подтверждаются их опубликованием в ведущих рецензируемых научных журналах категорий К1 и К2, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, а также в научных изданиях, входящих в международные базы данных WoS и Scopus.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях, а также на

научных семинарах в ведущих профильных вузах и научных учреждениях. По результатам исследований были опубликованы научные работы в сборниках материалов научных конференций. Результаты диссертационного соискателя Шнайдер И.А. были представлены на следующих научных конференциях и семинарах:

- на XVI Международной конференции «Управление развитием крупно-масштабных систем» (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2022 г.;

- на XIV Научно-практической конференции «Presenting Academic Achievements to the World», Саратов, 2023 г.; на XI Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2023), Казань, 2023 г.;

- на Всероссийской научно-практической конференции «Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения», Саратов, 2024 г.;

- на XVII Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2024 г.;

- на XVIII Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2025 г.;

- на XIX Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2026 г.

Основные положения и результаты диссертационной работы также докладывались и обсуждались на научных семинарах научной лаборатории № 33 крупномасштабных систем Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН в 2022–2025 гг., а также на научных семинарах лаборатории системного анализа и управления и лаборатории комплексных научных исследований ИПТМУ РАН – ФИЦ СНИЦ РАН в 2022–2025 гг.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ. Из них – 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 3 статьи – в научных изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus, 5 статей – в сборниках научных трудов и материалов конференций и в других научных журналах. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Материалы диссертации также изложены в ряде разделов изданной в соавторстве монографии по профилю и отрасли научной специальности.

Публикации в изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России

1. **Shnaider I. A.,** Bogomolov A. S., Kushnikov V. A. Simulation modeling of atmospheric pollutant dispersion considering dry deposition and the influence of liquid atmospheric precipitation // Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics. — 2025. — Vol. 25, iss. 4. — P. 589–599. — DOI: 10.18500/1816-9791-2025-25-4-589-599. (К1, физ.-мат. науки; I уровень Белого списка). Вклад Шнайдер И.А.: разработал математическую модель и комплекс программ для компьютерного моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

2. **Шнайдер И. А.,** Богомолов А. С., Кушников В. А. Решение задачи о локализации несанкционированных источников загрязнения атмосферы средствами математического моделирования // Журнал Средневолжского математического общества. — 2026. — Т. 28, № 3. — С. 294–306. — DOI: 10.15507/2079-6900.28.202603.294-306. (К2, физ.-мат. науки; III уровень Белого списка). Вклад Шнайдер И.А.: предложил постановку, математическую модель и метод решения задачи, разработал комплекс программ и провел математическое моделирование.

3. **Шнайдер И. А.,** Богомолов А. С. Метод локализации источника атмосферного загрязнения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». — 2025. — № 9. — С. 55–59. — DOI: 10.37882/2223-2966.2025.09.04. (К3). Вклад Шнайдер И.А.: метод решения задачи локализации.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

4. **Шнайдер И. А.**, Богомолов А. С., Кушников В. А. Программный комплекс локализации источников атмосферного загрязнения. — Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025694290; заявл. 04.12.2025; опубл. 04.12.2025.

Монография

5. Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Богомолов А. С., Хамутова М. В., **Шнайдер И. А.** Задачи, модели и методы анализа выполнимости мероприятий по управлению сложными организационно-техническими системами в условиях развития критических комбинаций событий : монография. — Саратов : Саратовский университет, 2024. — 92 с. — DOI: 10.18500/978-5-292-04872-5.

Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science

6. **Shnaider I. A.**, Bogomolov A. S., Lapkovsky R. Y., Kushnikova E. V. An Approach to Locating Unknown Sources of Increased Air Emissions // 2023 16th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). — Moscow, Russian Federation, 2023. — Pp. 1–5. — DOI: 10.1109/MLSD58227.2023.10303966. Вклад Шнайдера И.А.: подход к задаче локализации новых источников атмосферного выброса.

7. **Shnaider I. A.**, Lapkovsky R. Y., Urumbaeva R. N., Zhabinskaya V. A Production Model for Calculating Pollutant Concentration Considering the Influence of Precipitation Washout and Dry Deposition // 2024 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). — Moscow, Russian Federation, 2024. — Pp. 1–4. — DOI: 10.1109/MLSD61779.2024.10739434. Вклад Шнайдера И.А.: производственная математическая модель для расчета концентрации загрязнителей под влияние атмосферных осадков.

8. **Shnaider I. A.**, Lapkovsky R. Y., Kushnikova E. V., Urumbaeva R. N., Stepanovskaya I. A. An approach to detect new sources of air pollution using the particle swarm optimization // 2025 18th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). — Moscow, Russian Federation, 2025. — Pp. 1–4. — DOI: 10.1109/MLSD65526.2025.11220689. Вклад Шнайдера И.А.: подход к задаче локализации новых источников атмосферного выброса с использованием метода роя частиц.

Публикации в других научных изданиях

9. **Шнайдер И. А.** Имитационное моделирование в задаче локализации источников повышенного атмосферного выброса // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023) : Сборник трудов одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности, Казань, 18–20 октября 2023 года. — Казань : Издательство АН РТ, 2023. — С. 780–786.

10. Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Лапковский Р. Ю., Кушников В. А., **Шнайдер И. А.** Задача локализации источников повышенного атмосферного выброса // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023) : Труды XVII международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2023 года. — Москва : ИПУ РАН, 2023. — С. 507–511. — DOI: 10.25728/mlsd.2023.0507.

11. Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Лапковский Р. Ю., Кушников В. А., **Шнайдер И. А.** Производственная модель расчета распространения атмосферного загрязнителя с учетом

влияния атмосферных осадков // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024) : Труды XVII международной конференции, Москва, 24–26 сентября 2024 года. — Москва : ИПУ РАН, 2024. — С. 413–419.

12. Богомолов А. С., Шнайдер И. А. Математическая модель для разработки цифрового двойника процесса распространения атмосферного загрязнителя с учетом сухого осаждения и влияния атмосферных осадков // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : Сборник научных трудов по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции «Экологический форсайт». — Саратов : СГТУ им. Гагарина Ю. А., 2024. — С. 103–109.

13. Шнайдер И. А., Лапковский Р. Ю., Кушникова Е. В., Урумбаева Р. Н., Степановская И. А. Локализация источника атмосферного выброса на основе метода роя частиц // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2025) : Труды XVIII международной конференции, Москва, 24–26 сентября 2025 года. — М. : ФГБУН ИПУ РАН, 2025.

Основные положения и результаты диссертационного исследования достаточно полно отражены в научных публикациях и материалах научных конференций. Тема и содержание диссертации соответствуют пп. 1, 2, 3, 8 паспорта научной специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки).

Общая оценка диссертации

На основе представленных материалов доклада Шнайдера И.А. и с учетом результатов обсуждения и выступлений участников заседания, постановили следующее.

Диссертационная работа **Шнайдера Ильи Андреевича** «Математическая модель и численный метод для решения задачи локализации источника атмосферного загрязнения» является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ, а именно: разработана гетерогенная математическая модель распространения атмосферных загрязнителей, отличающаяся возможностью учёта процессов сухого осаждения и выпадения жидких атмосферных осадков и позволяющая повысить точность расчётов распространения загрязнителей при изменяющихся метеоусловиях. Развита иерархический численный метод с использованием роя частиц для решения задачи локализации источников атмосферного загрязнения, отличающийся пространственной декомпозицией области поиска, использованием локальных роёв для формирования информированной начальной популяции глобального роя и обеспечивающий снижение вычислительных затрат. Для рассматриваемой задачи доказана лемма о монотонном невозрастании целевой функции лучшего решения и теорема о сходимости метода к минимуму целевой функции на всей области поиска при условии сходимости стандартного метода роя частиц, что обеспечивает математическую обоснованность метода.

Высказанные в ходе обсуждения диссертации незначительные замечания носили частный характер и по существу не затрагивали ее основных положений и полученных результатов. В диссертации отсутствуют некорректные заимствования.

Диссертация Шнайдера И.А. выполнена на высоком профессиональном уровне, обладает научной и практической ценностью, поскольку за счет предложенного соискателем алгоритма и примененного подхода к локализации источников загрязнителей путем решения задачи оптимизации методом роя частиц может быть обеспечено ограничение процессов их распространения при переменных погодных условиях и локализация новых источников атмосферных загрязнителей в виде различных химических веществ.

Диссертация «Математическая модель и численный метод для решения задачи локализации источника атмосферного загрязнения» Шнайдера Ильи Андреевича,

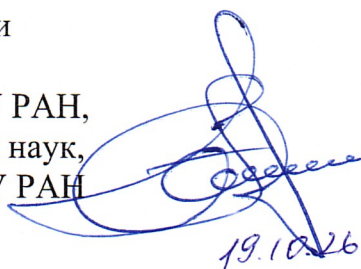
выполненная в лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, как научно-квалификационная работа, удовлетворяющая установленным для кандидатских диссертаций критериям, определенным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции).

Заключение обсуждено и принято на расширенном заседании лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН).

На заседании присутствовало 14 человек, из них с правом решающего голоса – 7 докторов и 4 кандидата наук по профилю диссертации.

Результаты голосования: из имеющих право решающего голоса «за» – 11 чел., «против» – нет, воздержались – нет (протокол № 5 от 25 сентября 2026 г.).

Председатель расширенного
заседания лаборатории
системного анализа
и управления ИПТМУ РАН,
кандидат технических наук,
руководитель ИПТМУ РАН



19.10.26



Костерев Андрей Александрович