

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
МГУ.012.1 по диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 21 февраля 2024 г. №16

О присуждении Загидуллину Ришату Раилевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование пространственно-неоднородных процессов агрегации» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите диссертационным советом 25 декабря 2023 г., протокол № 14.

Соискатель Загидуллин Ришат Раилевич, 1993 года рождения, в 2018 г. окончил магистратуру факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению «прикладная математика и информатика» (кафедра автоматизации научных исследований). С 2018 по 2022 год соискатель обучался в аспирантуре факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на кафедре автоматизации научных исследований. С 18.09.2023 г. по настоящее время соискатель работает на факультете вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на кафедре автоматизации научных исследований в должности математика.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизации научных исследований факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Смирнов Александр Павлович, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет вычислительно математики и кибернетики, кафедра автоматизации научных исследований, доцент.

Официальные оппоненты:

Богомоллов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент (уч. зв.), профессор кафедры вычислительных методов факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;

Сетуха Алексей Викторович, доктор физико-математических наук, профессор (уч.зв.), ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительных методов Научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Сорокин Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории 71 Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской Академии Наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации, компетентны в области математического моделирования, численных методов и разработки комплексов программ, результаты их исследований, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и близки по теме исследованиям соискателя, что позволяет оппонентам дать всестороннюю глубокую оценку результатам, представленным в диссертационной работе. Один оппонент имеет учёную степень кандидата физико-математических наук, два оппонента имеют учёные степени доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, из них 7 статей, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

1. Р. Загидуллин, А. Смирнов, С. Матвеев, Е. Тыртышников. Эффективный численный метод численного решения математической модели переноса коагулирующих частиц. Вестник МГУ, том 41, № 4, стр. 28–34 (2017) [Scopus SJR=0.368, Q2] - Вклад 70% (0.35 п.л.).

2. S. Matveev, R. Zagidullin, A. Smirnov, E. Tyrtysnikov. Parallel numerical algorithm for solving advection equation for coagulating particles. Supercomputing Frontiers and Innovations, vol. 5, № 2, pp. 43–54 (2018) [Scopus SJR=0.153, Q4] - Вклад 75% (0.375 п.л.).

3. R. Zagidullin, A. Smirnov, S. Matveev, E. Tyrtysnikov. Supercomputer modelling of spatially-heterogeneous coagulation using MPI and CUDA. In Russian Supercomputing Days (RuSCDays 2019). Communications in Computer and Information Science, vol. 1129, pp. 403–414. (2019) [Scopus SJR=0.188, Q3] - Вклад 90% (0.63 п.л.).

4. R. Zagidullin. Solving the transport-coagulation problem in a two dimensional spatial region. Computational Mathematics and Modeling, vol. 31, № 1, pp. 19–24 (2020) [Scopus SJR=0.226, Q4] - Вклад 100% (0.35 п.л.).

5. R. Zagidullin, A. Smirnov, S. Matveev, N. Brilliantov, P. Krapivsky. Aggregation in non-uniform systems with advection and localized source. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, vol. 55, № 26, pp. 265001 (2022) [Scopus SJR=0.718, WoS IF=2.132, Q2] - Вклад 50% (0.56 п.л.).

6. N.V.Brilliantov, R.R.Zagidullin, S.A.Matveev and A.P.Smirnov. Aggregation Kinetics in Sedimentation: Effect of Diffusion of Particles. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, Vol 63, No 4, pp..596-605 (2023) [Scopus SJR=0.496, Q2] - Вклад 50% (0.25 п.л.).

7. Р. Загидуллин. Построение трехмерной модели движения агрегирующих частиц. *Вычислительные методы и программирование*, том 24, № 4, стр. 430–439 (2023) [RSCI IF=0.576] - Вклад 100% (0.5 п.л.).

Все основные результаты, приведенные в вышеуказанных статьях и использованные в диссертации, получены автором лично под научным руководством к.ф.-м.н., доц. А.П. Смирнова. Все используемые в ходе исследований численные алгоритмы были реализованы автором в виде программного комплекса, проведено компьютерное моделирование и визуализация. Анализ полученных результатов, в частности, численные решения, а также аналитические выводы и их проверка с помощью численных методов, проводился автором с частичной помощью соавторов, при этом вклад автора был определяющим. Соавторы помогали автору с редактурой текста. В работе [1] автор занимался программной реализацией численного решения поставленного уравнения, проведением численных экспериментов, а также построением графиков. В работах [2,3] автору принадлежит идея способов параллельной реализации и сами эти реализации алгоритмов и проведение численных экспериментов на суперкомпьютере Ломоносов и построение графиков. В исследовании [4] автору принадлежит оформление постановки задачи, разработка численной схемы, проведение экспериментов, построение графиков, анализ сходимости. В статье [5] численная реализация, верификация аналитических выводов численными расчетами и построение графиков выполнялись автором. В работе [6] аналитические выводы получались совместно Смирновым А.П. и автором диссертации. Численные расчеты и построение графиков проводились автором. Работа [7] полностью выполнена автором.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований построены и реализованы различные численные методы решения задач пространственно-

неоднородной агрегации. Разработанный автором программный комплекс может быть использован для решения различных связанных с поведением радиоактивных частиц в различных технологических системах атомных энергетических установок и поведением атмосферных аэрозолей. Помимо этого, такие задачи возникают при моделировании распространения загрязнений в атмосфере и водоемах, распространения и осаждения сажи и пыли в воздуховодах, воздухозаборниках и соплах силовых установок различных типов, распылении аэрозолей в движущуюся среду.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработаны методы моделирования процессов агрегации в неоднородной среде путем решения задач переноса-диффузии-коагуляции. Пространственная компонента варьируется от одномерных до трехмерных случаев. Для одномерного случая помимо численных результатов получены также аналитические выводы. На основе моделирования движения агрегирующих частиц в потоке с радиальной симметрией получены корректировки для диффузионного ядра агрегации в пространственно-неоднородных случаях;
2. Реализованы оптимальные численные схемы: для коагуляционной составляющей уравнений применены методы быстрого решения операторов Смолуховского. Для переноса и диффузии написан широкий набор схем, позволяющий помимо важных свойств аппроксимации, сходимости и устойчивости, также добиться сохранения монотонности и консервативности. Используются как явные, так и неявные схемы. Также они работают как на регулярной сетке, так и на неструктурированной. Наконец, представлены параллельные варианты численных алгоритмов, позволяющие проводить расчеты на больших вычислительных кластерах с использованием ЦПУ и ГПУ;
3. Собраны программные пакеты и выложены в открытый доступ. Предоставлены инструменты для моделирования процессов агрегации (на языке C++ с использованием параллельных технологий MPI, CUDA), а также для визуализации полученных результатов (Python, OpenGL). Код оформлен с использованием принципов объектно-ориентированного программирования, что позволяет другим заинтересованным лицам пользоваться кодами в виде библиотеки, а также без большого труда модифицировать их для своих нужд.

На заседании 21 февраля 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Загидуллину Р.Р. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 12 докторов наук по специальности 1.2.2, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 18, против - нет, недействительных голосов - нет.

Председатель диссертационного совета
академик РАН

Тыртышников Е.Е.

Учёный секретарь диссертационного совета,
член-корреспондент РАН

Ильин А.В.

Декан факультета ВМК
«21» февраля 2024 г.

Соколов И.А.