

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 22 октября 2020 г.

Соискатель: **Холодов Ярослав Александрович.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему: «Разработка сетевых вычислительных моделей для исследования нелинейных волновых процессов на графах».

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Из 24 человек, входящих в состав диссертационного совета, в заседании участвовали 17 человек, в том числе 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации. 12 членов совета присутствовали очно и 5 - в удаленном режиме.

Присутствовали:

Очно:

1. Председатель: ТИШКИН В.Ф., зам. председателя диссертационного совета член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор (специальность 01.02.05).
2. Секретарь: КОРНИЛИНА М.А., ученый секретарь диссертационного совета к.ф.-м.н. (специальность 05.13.18).
3. КАЛИТКИН Н.Н. д.ф.-м.н. 01.02.05
4. ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В. д.ф.-м.н. 01.01.07
5. ГОЛОВИЗНИН В.М. д.ф.-м.н. 01.02.05
6. КОВАЛЕВ В.Ф. д.ф.-м.н. 05.13.18
7. КУЛЕШОВ А.А. д.ф.-м.н. 05.13.18
8. ЛУЦКИЙ А.Е. д.ф.-м.н. 01.02.05
9. МАЖУКИН В.И. д.ф.-м.н. 05.13.18
10. ПОЛЯКОВ С.В. д.ф.-м.н. 01.01.07
11. ПЕТРОВ И.Б. д.ф.-м.н. 01.02.05
12. ЯКОВОВСКИЙ М.В. д.ф.-м.н. 05.13.18

Дистанционно:

13. ДОЛГОЛЕВА Г.В. д.ф.-м.н. 01.01.07
14. ЕЛИЗАРОВА Т.Г. д.ф.-м.н. 01.01.07
15. ЗМИТРЕНКО Н.В. д.ф.-м.н. 01.02.05
16. КОЗЛОВ А.Н. д.ф.-м.н. 01.02.05
17. ШПАТАКОВСКАЯ Г.В. д.ф.-м.н. 05.13.18

С критическими замечаниями выступили Т.Г. Елизарова, В.М. Головизин, А.А. Кулешов, В.Ф. Тишкин.

На основании результатов открытого голосования диссертационный совет принял отрицательное решение по вопросу присуждения ученой степени доктора физико-математических наук Холодову Я.А.

Проголосовали: «за» 10, «против» – 2, воздержались – 5.

Текст заключения диссертационного совета приведен ниже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22 октября 2020 г. № 5

О присуждении **Холодову Ярославу Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Разработка сетевых вычислительных моделей для исследования нелинейных волновых процессов на графах» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. принята к защите 16.07.2020 г. (протокол №5/пз) диссертационным советом Д 002.024.03 на базе на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4, приказ №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Холодов Ярослав Александрович, 1969 года рождения, окончил в 1993 году факультет проблем физики и энергетики Московского физико-технического института по специальности «Прикладная математика и физика». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Разработка высокоточных численных методов расчета пространственного поведения плазмы под действием сильных магнитогидродинамических возмущений» по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ защитил в 2006 году в диссертационном совете К 212.156.02 при Московском физико-техническом институте (государственном университете). С 2016 года работает в АНО ВО «Университет Иннополис», в настоящее время занимает должность профессора в Институте анализа данных и искусственного интеллекта.

Диссертация выполнена в Институте анализа данных и искусственного интеллекта Университета Иннополис.

Научный консультант: член-корреспондента РАН, доктор физико-математических наук, профессор **Петров Игорь Борисович**, заведующий кафедрой вычислительной физики Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)».

Официальные оппоненты:

1. академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор **Куржанский Александр Борисович**, заведующий кафедрой системного анализа факультета вычислительной математики и кибернетики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;
 2. член-корреспондента РАН, доктор физико-математических наук, профессор **Гущин Валентин Анатольевич**, главный научный сотрудник отдела вычислительных методов и турбулентности ФГБУН Институт автоматизации проектирования Российской академии наук;
 3. доктор физико-математических наук, профессор **Толстых Андрей Игоревич**, главный научный сотрудник отдела прикладной математической физики ФГУ ФИЦ «Информатика и управление» Российской академии наук»
- дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук в своем **положительном отзыве**, составленном ведущим научным сотрудником, доктором физико-математических наук, профессором РАН Богатыревым Андреем Борисовичем, и утвержденном директором института академиком РАН Тыртышниковым Евгением Евгеньевичем, указала, что в диссертации предложен новый подход к построению численных моделей процессов на графах, описываемых уравнениями в частных производных гиперболического типа на ребрах графов с краевыми условиями в узлах графов. В рамках предложенного подхода решена проблема задания корректных краевых условий по всему многосвязному графу со всеми его узлами и ребрами. Для численного решения нелинейных гиперболических уравнений предложен оригинальный алгоритм построения монотонных схем высокого порядка аппроксимации на основе их анализа в пространстве неопределённых коэффициентов. В качестве исследуемых приложений для применения данного подхода были выбраны три различные по своей физической постановке задачи, каждая из которых имеет большую практическую значимость. Работа отвечает требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 "О порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Холодов Ярослав Александрович, заслуживает присуждения учёной степени доктора

физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 30 опубликованную работу по теме диссертации из перечня ВАК, в том числе одну монографию, из них 16 работ в рецензируемых научных изданиях входящих в реферативные базы **Web of Science** и **Scopus**. Автором было получено четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ необходимых для численного решения прикладных научных задач, представленных в работе Основные результаты работы докладывались на 37 научных российских и международных конференциях.

К числу наиболее значительных работ соискателя можно отнести следующие:

1. *Kholodov A.S., Kholodov Y.A.* Monotonicity criteria for difference schemes designed for hyperbolic equations // *Comput. Math. and Math. Phys.* — 2006. — Vol. 46(9). — P. 1560-1588. Doi: <https://doi.org/10.1134/S0965542506090089>
2. *Kholodov Y.A., Kholodov A.S., et al.* Computational Models on Graphs for Nonlinear Hyperbolic and Parabolic System of Equations // In: *Motasoares C.A. et al. (eds) III European Conference on Computational Mechanics.* — 2006. — Springer, Dordrecht. Doi: https://doi.org/10.1007/1-4020-5370-3_43
3. *Severov D.S., Kholodov A.S., Kholodov Y.A.* Comparison of packet-level and fluid models of IP networks // *Mathematical Models and Computer Simulations.* — 2012. — Vol. 4(4). — P. 385-393. Doi: <https://doi.org/10.1134/S2070048212040072>
4. *Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б.* Введение в математическое моделирование транспортных потоков // М.: МЦНМО. — 2013. — 428 с.
5. *Kholodov Y.A., Alekseenko A.E., Vasilev M.O., Kholodov A.S.* Developing the mathematical model of road junction by the hydrodynamic approach // *Computer Research and Modeling.* — 2014. — Vol. 6(4). — P. 503-522.
6. *Alekseenko A.E., Kholodov Y.A., Kholodov A.S., Goreva A.I., Vasilev M.O., Chekhovich Y.V., Mishin V.D., Starozhilets V.M.* Development, calibration and verification of mathematical model for multilane urban road traffic flow. Part I // *Computer Research and Modeling.* — 2015. — Vol. 7(6). — P. 1185-1203.
7. *Kholodov Y.A., Alekseenko A.E., Kholodov A.S., Vasilev M.O., Mishin V.D.* Development, calibration and verification of mathematical model for multilane urban road traffic flow. Part II // *Computer Research and Modeling.* — 2015. — Vol. 7(6). — P. 1205-1219.

8. *Alekseenko A.E., Kholodov A.S., Kholodov Y.A.* Boundary control problems for quasilinear systems of hyperbolic equations // *Comput. Math. and Math. Phys.* — 2016. — Vol. 56(6). — P. 916-931. Doi: <https://doi.org/10.1134/S0965542516060166>
9. *Kholodov Y.A., Vasiliev M.O., Kholodov A.S., Tsybulin I.V.* Developing the mathematical model for fine impurities spreading in ventilation networks // *Math. Models Comput. Simul.* — 2017. — Vol. 9(2). — P. 142–154. Doi: <https://doi.org/10.1134/S2070048217020077>
10. *Alekseenko A.E., Kholodov Y.A., Kholodov A.S., Chekhovich Y.V., Starozhilets V.M.*, Adaptive traffic light control on highway entrances // *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. — 2017. — P. 1-6. Doi: 10.1109/ITSC.2017.8317729
11. *Kholodov Y.A., Kholodov A.S., Tsybulin I.V.* Construction of Monotone Difference Schemes for Systems of Hyperbolic Equations // *Comput. Math. and Math. Phys.* — 2018. — Vol. 58(8). — P. 1226-1246. Doi: <https://doi.org/10.1134/S0965542518080110>
12. *Kholodov Y.A.* Development of network computational models for the study of nonlinear wave processes on graphs // *Computer Research and Modeling*, 2019, vol. 11, no. 5, pp. 777-814. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-5-777-814.

Вклад автора в совместные работы заключался в непосредственном участии в постановке задач, в разработке и калибровке математических моделей, разработке численных методов решения, разработке программных комплексов, проведении вычислений, анализе результатов и написании публикаций.

В рамках диссертационной работы автором была разработана оригинальная вычислительная модель решения краевых задач для нелинейных уравнений в частных производных гиперболического типа на графах (сетях, деревьях) [2, 8, 12]. На основе разработанной модели под руководством автора были решены три различные по своей физической постановке прикладные сетевые задачи: моделирование дорожного движения (трафика) в городских транспортных сетях [4-7, 10, 12]; моделирование интенсивных потоков данных в компьютерных сетях [3, 12]; моделирование распространения газовых примесей в вентиляционных сетях зданий и сооружений [9, 12]. Для нелинейных уравнений в частных производных гиперболического типа автором был разработан универсальный алгоритм построения монотонных при произвольном виде искомого решения схем высокого порядка аппроксимации на основе их анализа в пространстве неопределённых коэффициентов [1, 11]. Были проведены различные вычислительные эксперименты по решению трех указанных задач на основе разработанных программных комплексов. Количество соавторов в

публикация по теме диссертации обусловлено масштабностью решаемых в работе задач и необходимостью написания большого объема программного кода для проведения прикладных вычислительных экспериментов, на основании которого было получено четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Общий объем публикаций 74,8 п.л., авторский вклад – 25 п.л. Опубликованные статьи отражают основные результаты диссертационного исследования. Недостоверных сведений в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах не выявлено.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

Отзыв официального оппонента Куржанского А.Б.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В третьей главе автор исследует задачу моделирования движения трафика в городской транспортной сети. При этом автор сравнивает решения, полученные с использованием микро и макроскопического подходов, при численном моделировании транспортной сети округа Монтгомери, США. Ранее в своей работе автор показал, как два этих подхода связаны между собой через относительную скорость распространения возмущений в транспортном потоке. К сожалению, в тексте при описании полученных результатов нигде не упоминается, какая конкретная микромодель использовалась при расчетах и была ли она откалибрована через полученную для макромодели зависимость относительной скорости распространения возмущений от плотности транспортного потока.

2. Считаю необходимым заметить, что при обсуждении результатов численного моделирования транспортной сети округа Монтгомери, США, помимо их точности, автору следовало сравнить сложность программной реализации микро и макро подходов, также как и вычислительные ресурсы, потраченные на достижение представленных результатов.

3. В выводах третьей главы автор пишет: «Проведенные расчеты показали, что управление дорожным движением в городской транспортной сети с использованием разработанной макроскопической модели демонстрирует эффективность предложенного алгоритма адаптивного управления трафиком и позволяет оценить эффект его применения для выбора наиболее оптимальной стратегии организации дорожного движения на значительных временных интервалах для заданного участка транспортной сети». Фактически автором были представлены расчеты по эффективному управлению

траффиком для отдельной, пусть и протяженной дороги, а именно МКАД г. Москвы. Результаты по моделированию адаптивного управления траффиком городской транспортной сети, например, исследуемой автором сети округа Монтгомери, США, в тексте представлено не было.

Отзыв официального оппонента Гущина В.А.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В данной работе основной упор сделан на повышение вычислительной эффективности за счет решения задачи корректного сопряжения краевых условий для систем уравнений различной размерности, которая является весьма интересной и перспективной с точки зрения развития вычислительной науки. В первую очередь потому, что понижение размерности моделируемой задачи приводит к уменьшению вычислительных операций и упрощению численных алгоритмов, используемых при её решении, что в свою очередь повышает их надежность. При этом автор не акцентирует внимание на том, что точность расчетов при понижении размерности моделируемой задачи также падает. Эту проблему демонстрируют представленные в пятой главе результаты вычислительных экспериментов по моделированию распространения примесей метана в системе вентиляционных труб. В обоснование своего подхода автор проводит аналогию с использованием адаптивных иерархических сеток в численном моделировании. Несомненно, данная аналогия здесь уместна, но стоило бы подробнее исследовать вопрос применимости данного подхода с точки зрения соотношения точности и вычислительной эффективности для выполненных в работе расчетов.

2. Подход автора при сопряжении одномерных и трехмерных вычислительных ячеек вентиляционных труб, в котором поток поперечного импульса из трехмерной ячейки не добавляется к импульсу одномерной ячейки при решении задачи Римана на их границе вызывает определенные вопросы. То, что газ, попадая в одномерную трубу, теряет свой поперечный импульс практически мгновенно представляется мне сильным упрощением и требует более тщательного обоснования чем то, что приводится в тексте.

3. В разделе 5.3 текста автором описана оригинальная модель вентилятора, которая вводится через специальную конфигурацию задачи распада разрыва, дополненную внутренней границей, на которой допускается скачкообразное изменение давления с сохранением скорости газового потока. Данная задача имеет аналитическое решение, которое можно было бы сравнить с численным, но, к сожалению, в тексте это сравнение не приводится.

Отзыв официального оппонента Толстых А.И.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Во второй главе диссертации обсуждается задача построения гибридных консервативных разностных схем высокого порядка аппроксимации на основе характеристического критерия монотонности для нелинейных систем уравнений гиперболического типа. При этом подробно описаны все особенности разработки таких схем для одномерных нелинейных систем уравнений гиперболического типа и очень кратко упомянуты особенности, связанные с переходом к многомерным системам уравнений.

2. В конце второй главы автором упоминается, что если при численном интегрировании в узле графа возникает область с непрямоугольной топологией, то внутри неё возможно использование разностной аппроксимации многомерной нелинейной гиперболической системы уравнений с реконструкцией значений векторов потока на гранях ячеек Дирихле, имеющих центры в узлах графа, но сама разностная схема в ячейке не приводится.

3. В пятой главе исследовалась проблема построения математической модели распространения мелкодисперсных или газовых примесей в вентиляционных сетях на основе газодинамического подхода. Для проверки корректности работы модели выполнялись различные вычислительные эксперименты. К сожалению, при описании вычислительных экспериментов ничего не сказано про то, какие разностные схемы из описанных ранее во второй главе использовались автором для получения представленных результатов.

В отзыве ведущей организации, ФГБУ ИВМ РАН содержатся следующее замечания:

1. Ряд выражений, используемых в диссертации, включая ключевые положения, являются жаргонизмами. Например, используется «модель решения краевых задач» вместо «подход к решению краевых задач», «моделирование уравнений» вместо «решение уравнений».

2. Не указан личный вклад во все 30 совместных публикаций. Только одна публикация из авторского списка имеет одного автора, и к ней вопроса о личном вкладе не возникает.

3. Монотонные схемы второго порядка аппроксимации и схемы третьего порядка аппроксимации рассматриваются на ребрах графа, однако в узлах графа вопрос построения аппроксимаций повышенного порядка не рассматривается. В частности, это касается условий совместности.

4. Использование схемы повышенного порядка аппроксимации имеет смысл для поиска гладких решений. Известно ли что-нибудь о гладкости решений систем уравнений гиперболического типа на графах в окрестности узлов графов?

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва. Отзывы положительные.

В отзыве доктора физико-математических наук, профессора **Аристовой Елены Николаевны**, главного научного сотрудника Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН содержатся следующие замечания:

1. В автореферате есть неоднократная ссылка на Рис. 5.1, которого нет в тексте автореферата. Поэтому не вполне понятно, где расположен вентилятор в шахте.

2. Автор имеет склонность к длинным сложноподчиненным оборотам в предложениях, что часто влечет за собой отсутствие согласования различных частей предложений между собой.

3. На первой же странице автореферата несколько раз неверно расставлены/опущены мягкие знаки в окончаниях глаголов ‘-тся’ и ‘-ться’.

В отзыве доктора физико-математических наук, доцента **Гасникова Александра Владимировича**, доцента кафедры Математических основ управления Московского физико-технического института (национального исследовательского университета) не содержится замечаний.

В отзыве доктора физико-математических наук, профессора **Лобанова Алексея Ивановича**, профессора кафедры вычислительной физики Московского физико-технического института (национального исследовательского университета) содержатся следующие замечания:

1. В тексте автор приводит общий вид системы (1.1), при этом обозначения не поясняются. При прочтении автореферата непонятно, почему система (1.1) может быть нелинейной, она воспринимается как система уравнений с постоянной матрицей. В формулировке задачи указан именно недивергентный вид, но известно, что дивергентная форма записи системы гиперболического вида может и не существовать. По всей видимости, вместо (1.1) следовало бы привести общую формулировку начально-краевых задач для систем квазилинейных уравнений и ограничиться лишь характеристической формой, без упоминания дивергентной формы записи. Далее по тексту присутствует небрежность. Так, в системе (1.1) есть правая часть, а в (1.6) после преобразований она уже нулевая

2. Есть вопросы по структуре построения работы. Так, система Эйлера газовой динамики рассматривается при оценке вычислительных качеств схем на стр. 13

автореферата, затем автор «забывает» о газовой динамике и возвращается к ней на стр. 30 при рассмотрении потоков в вентиляционных сетях.

3. На стр. 15 упомянуто уравнение импульса для модели дорожного движения, но в тексте оно не приведено. Если автор под уравнением импульса понимает уравнение для скорости АТС, то это следовало бы оговорить в тексте.

4. Не описана связь между «одномерной моделью» участка дороги (3.1) и «двумерной» моделью перекрестка (3.4). Так как в этих системах автор использует разные обозначения, понимание этого фрагмента также затруднено.

5. Публикации [20-22] в списке литературы в автореферате русскоязычные, в российском журнале, но ссылки на них почему-то приведены в английском переводе.

6. В автореферате встречаются ошибки пунктуации.

7. Автореферат написан с использованием длинных сложноподчиненных уравнений, сложных для понимания. Написание автореферата более легкими для восприятия предложениями облегчило бы его понимание.

В отзыве **Чарахчяна Александра Агасиевича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФИЦ Информатика и управление РАН, не содержится замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широко известной компетенцией в вопросах математического моделирования нелинейных систем уравнений гиперболического типа, разработки численных методов и алгоритмов их решения. Это подтверждается многочисленными научными публикациями оппонентов и сотрудников ведущей организации (полный перечень публикаций отражен в сведениях, представленных на сайте организации, где проходила защита).

В дискуссии участвовали члены диссертационного совета В.М. Головизин, Ю.В. Василевский, Т.Г. Елизарова, А.А. Кулешов, В.Ф. Тишкин. С критическими замечаниями выступили Т.Г. Елизарова, В.М. Головизин, А.А. Кулешов, В.Ф. Тишкин. Замечания касались авторского вклада в публикации; неудовлетворительного качества обзора литературы, не позволяющего оценить, что сделано в этой области другими исследователями, и каков вклад диссертационной работы. Отмечено, что система уравнений для моделирования распространения примесей, приведенная соискателем в работе и в презентации, содержит ошибку. В ходе обсуждения остался неясным вопрос о том, каким образом автор добивается отсутствия распространения возмущений вверх по

потоку. На некоторые вопросы, высказанные в ходе заседания, соискатель не дал исчерпывающих ответов.

На заседании 22 октября 2020 года на основании результатов открытого голосования диссертационный совет принял отрицательное решение по вопросу присуждения ученой степени доктора физико-математических наук Холодову Я.А.

Из 24 человек, входящих в состав диссертационного совета, в заседании участвовали 17 человек, в том числе 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации. 12 членов совета присутствовали очно и 5 - в удаленном режиме.

Проголосовали: «за» 10, «против» – 2, воздержались – 5.

Заместитель председателя диссертационного совета Д 002.024.03
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

В.Ф. Тишкин

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 002.024.03, к.ф.-м.н.

М.А. Корнилина

« 22 » октября 2020 года.