

Отзыв члена диссертационного совета Н.А. Молдовяна на диссертацию
Кривовичева Герасима Владимировича «Гиперболические модели процессов
переноса и гемодинамики», представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность тематики диссертации

Представленная диссертация посвящена гиперболическим моделям процессов переноса вещества и гемодинамики, с уклоном на разработку и исследование численных методов для их реализации на практике. Автором разработаны математические модели линейной диффузии, при дискретизации которых строятся разностные схемы, алгоритмы расчета по которым удобно реализовывать для высокопроизводительных вычислений. Предложены и подробно исследованы новые численные методы решения задач переноса вещества, газовой динамики, теории волновых процессов. Разработаны новые математические модели гемодинамики, в которых учтена внутренняя структура крови. Таким образом, тема работы является актуальной в контексте разработки новых математических моделей физических процессов и разработки численных методов.

Научная новизна выносимых на защиту результатов

Автором получено несколько интересных новых результатов в области математического моделирования и численных методов:

- 1) Построена новая гиперболическая модель линейного диффузионного процесса в виде системы дискретных по скоростям кинетических уравнений и проведено исследование свойств ее решений. Показано, что известные из литературы разностные схемы могут быть получены как дискретные аналоги этой системы. Проведен сравнительный анализ устойчивости известных разностных схем и найдены оптимальные значения их параметров.
- 2) Впервые проведен анализ устойчивости схем на основе решеточных уравнений Больцмана с различными представлениями для члена, учитывающего влияние объемных сил. Показано, что среди явных схем наилучшими свойствами обладает модель метода точной разности.
- 3) Предложены новые конечно-разностные схемы для систем кинетических уравнений для расчета процессов конвекции-диффузии, имеющие большие по площади области устойчивости по сравнению с известными конечно-разностными схемами.
- 4) Впервые проведено сравнение известных нелинейных схем метода пассивного скаляра, предложены их модификации и получены условия устойчивости.
- 5) Предложены новые параметрические конечно-разностные схемы для линейного уравнения переноса, более устойчивые по сравнению с известными схемами с теми же аппроксимациями по пространству. Проведена оптимизация схем и найдены оптимальные параметры, обеспечивающие минимальные значения дисперсионных и диссипативных характеристик.
- 6) Впервые проведена параметрическая оптимизация методов на основе обобщенных методов Рунге — Кутты и показано, что за счет значений параметров можно снизить влияние численных дисперсий и диссипации.
- 7) Предложены новые одномерные математические модели течения крови с учетом ее неньютоновских свойств, позволяющие производить вычислительные эксперименты по моделированию кровотока в больших сосудистых системах. Для модели Куимады и обобщенной модели Кросса впервые получены первые интегралы для уравнения стационарного течения. Получены новые аналитические решения нелинейных модельных задач для уравнений вязкой и невязкой гемодинамики.

РК № 33-06-1194 от 08.11.2022

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Диссертация имеет теоретическую и практическую значимость. Разработанные автором модели и численные методы могут быть использованы при решении задач переноса вещества, газовой динамики, физики волновых процессов и в медицинских исследованиях.

Полнота опубликования основных результатов диссертации

Результаты диссертационного исследования достаточно полно изложены в 27 работах, из них 6 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 21 в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

Вопросы и замечания

- 1) При рассмотрении примеров применения разработанных численных алгоритмов к решению конкретных задач в главах 3-4 автор не приводит значения времени расчетов при сравнении с другими известными алгоритмами. Значения времени расчетов приведены только в главе 5.
- 2) В заключении на стр. 245 в качестве одной из перспектив развития работы отмечено, что улучшенные численные методы Рунге — Кутта могут быть перспективными для адаптации и применения в задачах глубокого обучения. Было бы интересно услышать более подробные соображения автора относительно этих исследований.
- 3) К сожалению, текст диссертации нельзя назвать образцово оформленным. Замечено довольно много опечаток (в том числе во Введении к работе), часть рисунков неаккуратно оформлена — например, все надписи на рисунках даже в русской версии работы представлены на английском языке.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация Кривовичева Герасима Владимировича на тему «Гиперболические модели процессов переноса и гемодинамики» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Кривовичев Герасим Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
Лаборатории проблем компьютерной безопасности
Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН
Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра
Российской академии наук

Н.А. Молдовян

19.10.2022

Подпись руки Н.А. Молдовян заверяю
Начальник отдела кадров СПб ФИЦ РАН

Д.В. Токарев

«10» 10 2022 г.

