

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Яковлева Сергея Леонидовича на диссертацию Кривовичева Герасима Владимировича на тему «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.

В диссертационной работе рассматриваются «неклассические» математические модели процессов диффузии, конвекции и течения крови на основе гиперболических систем уравнений. В основной массе работ, посвященных теории таких физических процессов рассматриваются параболические уравнения и системы, так что тему исследований можно считать достаточно интересной и развивающей новое научное направление. Значительная часть работы посвящена численным методам решения гиперболических уравнений, что говорит и о ее практической ориентации. В частности, большое внимание уделено развитию метода решеточных уравнений Больцмана, активно применяемого в вычислительной физике. Для проведения численного моделирования течения крови в сосудистых системах автором разработан комплекс программ, который может применяться в прикладных исследованиях. В связи с этим, тематика диссертации соответствует специальности «1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а новизна полученных результатов подтверждает актуальность диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Во введении, и в первых абзацах каждой из глав дан обзор работ, тесно связанных с тематикой диссертации. Это свидетельствует о хорошем знакомстве диссертанта с областью исследований. Основные положения диссертации новы, достаточно обоснованы, имеют теоретическое и прикладное значение. Результаты исследования опубликованы в центральных научных журналах (в частности, опубликовано 10 работ в периодических изданиях уровня Q1 и Q2 по прикладной математике и моделированию). Они прошли апробацию на различных международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, что говорит о высокой степени достоверности полученных результатов.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Математические модели для описания диффузии в рамках метода решеточных уравнений Больцмана и результаты анализа устойчивости разностных схем на их основе.
2. Результаты сравнительного анализа моделей учета действия объемных сил в схемах на основе решеточных уравнений Больцмана.
3. Конечно-разностные схемы для численного решения задач конвекции-диффузии в рамках метода решеточных уравнений Больцмана.
4. Параметрические разностные схемы для линейного уравнения переноса.
5. Разностные схемы для волновых уравнений на основе оптимизированных методов Рунге — Кутты.

PK № 33-06-1199 от 08.11.2022

6. Одномерные математические модели течения крови, учитывающие ее неньютоновские свойства.

7. Интегралы стационарных уравнений гемодинамики и аналитические решения нелинейных начально-краевых нестационарных задач.

8. Комплекс программ для численного моделирования течения крови в сосудистых системах.

Теоретически значимыми являются следующие результаты:

1. Представлена математическая модель линейного диффузионного процесса в виде гиперболической системы и показано, что ее решения обладают дисперсией, диссипацией и являются устойчивыми при всех значениях времени релаксации.

2. На основе метода Неймана проведен сравнительный анализ устойчивости схем на основе решеточных уравнений Больцмана, учитывающих влияние объемных сил.

3. Предложены характеристические конечно-разностные схемы разных порядков аппроксимации для решения задач конвекции-диффузии и показано, что они обладают большими по площади областями устойчивости в пространстве параметров по сравнению с известными схемами.

4. Проведен сравнительный анализ устойчивости нелинейных схем метода пассивного скаляра, построенных на основе решеточных уравнений Больцмана.

5. Построены параметрические конечно-разностные схемы разных порядков для линейного уравнения переноса, проведены их анализ и оптимизация с целью снижения фиктивных нефизических эффектов.

6. Построены и исследованы конечно-разностные схемы для линейного уравнения переноса на основе обобщенной формулы Рунге — Кутты.

7. Построены одномерные модели для описания гемодинамики в больших сосудистых системах, учитывающие неньютоновские свойства крови.

8. Получены интегралы стационарных уравнений гемодинамики и получены стационарные решения.

9. С использованием метода возмущений получены аналитические решения нелинейных модельных начально-краевых задач для уравнений невязкой и вязкой одномерной гемодинамики.

В качестве практически значимых следует отметить следующие результаты:

1. Предложенная гиперболическая модель линейного диффузионного процесса может выступать в качестве основы для построения вычислительных схем для моделирования диффузии при проведении расчетов на современных высокопроизводительных комплексах.

2. В результате анализа устойчивости известных разностных схем для моделирования диффузии на основе решеточных уравнений показана возможность их применения к решению прикладных задач в широком диапазоне входных параметров.

3. По результатам сравнительного анализа явных разностных схем на основе решеточных уравнений с учетом действия объемных сил показано, что наилучшим запасом устойчивости обладает схема на основе метода точной разности, что позволяет рекомендовать ее для применения на практике.

4. Построенные характеристические конечно-разностные схемы для моделирования конвекции-диффузии могут быть использованы при численном решении задач гидродинамики и массопереноса.

5. Построенные параметрические схемы для линейного уравнения переноса могут быть применены при решении широкого круга задач.

6. Проведена оптимизация модифицированных методов Рунге — Кутты, в ходе которой получены оптимальные значения параметров, при которых снижаются фиктивные нефизические эффекты. Полученные методы могут применяться как при решении задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, так и при моделировании широкого спектра физических процессов.

7. Аналитические решения задач для одномерных уравнений гемодинамики могут применяться при сравнении друг с другом разных реологических моделей крови и для тестирования программ, реализующих алгоритмы численных методов.

8. Разработанное программное обеспечение может применяться при моделировании различных процессов, происходящих при течении крови в больших сосудистых системах.

Замечания по тексту работы:

1. В первой и второй главах диссертации не хватает численных примеров, иллюстрирующих теоретические результаты.

2. Удивляет стремление автора не переводить на русский язык англоязычные термины. Например, «lattice Boltzmann method» в русскоязычных статьях автора переводится как «метод решеточных уравнений Больцмана», тогда как в работе просто используется аббревиатура LBM.

3. В главе 6 автор указывает, что комплекс прикладных программ реализован на основе пакета Matlab. Почему выбрана именно такая среда разработки, особенно с учетом известных сложностей с проведением масштабных расчетов и отзывом лицензии компании Mathworks из России?

4. При разработке численных алгоритмов для решения физических задач в настоящее время одним из главных требований является возможность их распараллеливания. Возможно ли это сделать для алгоритма решения задачи о моделировании течения крови в большой сосудистой системе?

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы.

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», 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.

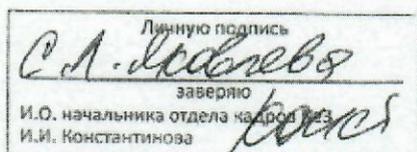
Член диссертационного совета,

доктор физико-математических наук, профессор,

заведующей кафедрой вычислительной физики

Санкт-Петербургского государственного университета,  Яковлев С.Л.

Дата 27.10.2022



27.10.2022