

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу Алимбековой Нурланы Бауржановны на тему: «Конечно-элементные методы решения начально-краевых задач для дробно-дифференциальных уравнений фильтрации», представленную на соискание степени PhD (доктора философии) по специальности «6D060100 – Математика»

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы) 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертационное исследование выполнено при поддержке грантового финансирования молодых ученых на 2020-2022 годы в рамках научно-исследовательской работы «Разработка и исследование параллельных конечно-элементных методов решения нелинейных задач многофазной фильтрации» (ИРН АР08053189). Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки «Научные исследования в области естественных наук».
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта/не раскрыта</u> .	Полученные диссертантом в ходе научно-исследовательской работы результаты можно квалифицировать как новые достижения, вносимые вклад в развитие вычислительной математики. Важность исследования хорошо раскрыта в каждом из разделов диссертационной работы. Диссертационная работа является целостным научным исследованием, содержащим анализ состояния вопросов в исследуемой области, проработку актуальных направлений численного анализа и обоснованности достигнутых научных результатов через глубокий теоретический анализ и вычислительные эксперименты.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1.) <u>Высокий</u> ; 2.) Средний; 3.) Низкий; 4.) Самостоятельности нет.	На основании изучения диссертационной работы можно сделать вывод о том, что диссертант в ходе выполнения научно-исследовательской работы проявил высокий уровень самостоятельности. Диссертантом проведен аналитический обзор существующих современных подходов к решению

			задач по теме исследования, построены численные методы решения задач, получены априорные оценки устойчивости и сходимости численных методов, на основе вычислительных экспериментов проверены согласованность теоретических порядков сходимости с эмпирическими порядками.
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <p>1) <u>Обоснована</u>;</p> <p>2) Частично обоснована;</p> <p>3) Не обоснована.</p>	<p>Актуальность работы в диссертации хорошо обоснована. Дробно-дифференциальное исчисление является эффективным инструментом для учета эффектов памяти. Поэтому дробно-дифференциальные уравнения можно эффективно использовать для получения более реалистичного описания течения жидкости в пористой среде, а построение численных методов, основанных на особенностях дробных производных и дробных уравнений, является актуальной проблемой.</p> <p>В целом, в современной вычислительной математике уравнения дробного порядка находятся на стадии активного развития. Несмотря на то, что многими учеными предлагаются различные методы их решения, имеется множество нерешенных вопросов. В частности, вычислительные методы решения начально-краевых задач для дробно-дифференциальных уравнений с несколькими слагаемыми с дробными производными и уравнения с порядком дробной производной (1, 2) представляют математический интерес в силу вычислительной трудоемкости.</p> <p>Докторантом рассмотрен целый класс ранее нерешенных дробно-дифференциальных задач фильтрации, которые могут быть применены при решении практических задач. В этой связи работа докторанта является достаточно актуальной.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <p>1) <u>Отражает</u>;</p> <p>2) Частично отражает;</p> <p>3) Не отражает.</p>	<p>Содержание диссертации полностью отражает тему диссертации. Начиная с введения, трех разделов, заключения и приложения диссертация в полном объеме излагает содержание полученных разделов соответственно теме научно-исследовательской</p>

			работы, а именно построению и исследованию конечно-элементных методов решения для дробно-дифференциальных задач фильтрации.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u> ; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Поставленные в работе цель исследования полностью соответствует теме диссертации и раскрывает ее содержание. Поставленные и решенные в результате задачи логически выстроены для достижения поставленной цели.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Текст диссертационной работы обладает внутренним единством, все наименования разделов и изложенный материал этих структурных элементов диссертации логичны и полностью взаимосвязаны. Содержание работы состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Во введении приводится краткий обзор результатов, полученных учеными в данном направлении. В первом разделе изучена начально-краевая задача для дробно-дифференциального уравнения фильтрации в трещиновато-пористых средах в предположении, что трещины распределены в среднем равномерно по объему. Построены конечно-элементные методы для четырех частных случаев в зависимости от порядков дробных производных. В втором разделе диссертационной работы рассматривается начально-краевая задача для дробно-дифференциального обобщения уравнения фильтрации с переходным (нестационарным) законом фильтрации. Для решения задачи построен вычислительный метод повышенного порядка и использована техника подшаговой схемы. В третьем разделе работы рассматривается дробно-дифференциальная задача фильтрации в трещиновато-пористых средах в предположении существования двух континуумов. Проведен полный теоретический анализ численных методов для всех задач, и проанализированы результаты вычислительных экспериментов.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы,	Предложенные диссертантом численные методы

		<p>методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>критический анализ есть</u>; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов. 	<p>решения дробно-дифференциальных задач фильтрации аргументированы и критически оценены по сравнению с известными численными методами и результатами других авторов по теме исследования. Достоверность каждого научного результата, решения и вывода, сформулированных в диссертации, подтверждаются глубоким теоретическим анализом и вычислительными экспериментами.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 	<p>Научные результаты и положения, выносимые на защиту, являются полностью новыми. Диссертантом построены устойчивые конечно-элементные схемы для численного решения дробно-дифференциальной задачи фильтрации в трещиновато-пористых средах, устойчивые конечно-элементные схемы повышенного порядка для численного решения нелинейной дробно-дифференциальной задачи фильтрации с переходным законом фильтрации, устойчивые конечно-элементные схемы повышенного порядка для численного решения дробно-дифференциальной задачи фильтрации в трещиновато-пористых средах в предположении существования двух континуумов. Доказана единственность решения и его непрерывная зависимость от входных данных, сходимость конечно-элементных схем.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 	<p>Выводы, полученные и сформулированные автором диссертации являются полностью новыми и обоснованными в области вычислительной математики.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 	<p>Решения, представленные автором диссертации являются полностью новыми. Применяемые подходы позволили получить интересные результаты.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Все основные выводы являются обоснованными и основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах, на основе методов вычислительной математики, функционального анализа и метода</p>

7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></p> <p>7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) <u>узкий</u>; 2) <u>средний</u>; 3) <u>широкий</u></p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></p>	<p>вычислительного эксперимента.</p> <p>На защиту вынесены следующие положения:</p> <p>1. Построены устойчивые конечно-элементные схемы для численного решения дробно-дифференциальной задачи фильтрации в трещиновато-пористых средах. Доказана единственность решения и его непрерывная зависимость от входных данных, сходимостью конечно-элементных схем.</p> <p>Вынесенное научное положение в полной мере доказано и сопровождаются подробными теоретическими выкладками, являются новыми и не тривиальными. Соответствующие научные результаты опубликованы в двух статьях, входящих в первый и второй квартили по базе данных Web of Science и/или имеющих показатель процентиля по CiteScore в базе данных Scopus не менее 85. Результаты положения могут быть применены к решению других дробно-дифференциальных задач.</p> <p>2. Построены устойчивые конечно-элементные схемы повышенного порядка для численного решения нелинейной дробно-дифференциальной задачи фильтрации с переходным законом фильтрации. Доказаны единственность решения и его непрерывная зависимость от входных данных, сходимостью конечно-элементных схем, сходимостью итерационного процесса и получены достаточные условия его квадратичной сходимости.</p> <p>Вынесенное научное положение в полной мере доказано и сопровождаются подробными теоретическими выкладками, являются новыми и не тривиальными. Соответствующие научные результаты опубликованы в статье, опубликованной в журнале, рекомендованный КОКСНВО и в материалах международной конференции.</p> <p>3. Построены устойчивые конечно-элементные схемы повышенного порядка для численного решения</p>
----	---	--	---

			<p><i>дробно-дифференциальной задачи фильтрации в трещиновато-пористых средах в предположении существования двух континуумов. Доказана единственность решения и его непрерывная зависимость от входных данных, сходимость конечно-элементных схем.</i></p> <p>Вынесенное научное положения в полной мере доказано и сопровождаются подробными теоретическими выкладками, являются новыми и не тривиальными. Соответствующие научные результаты опубликованы статье, входящий показатель процентиля по CiteScore в базе данных Scopus не менее 55. Результаты положения могут быть применены к решению других дробно-дифференциальных задач.</p>
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) да; 2) нет	В диссертационной работе выбранная методология основана и подробно описана. Проведен анализ используемой научной литературы по теме исследования.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да; 2) нет	При выводе результатов диссертационной работы использованы методы конечных элементов, метод априорных оценок, методы функционального анализа, метод вычислительных экспериментов.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да; 2) нет	Теоретические выводы и выявленные закономерности доказаны и подтверждены комплексным исследованием. Все теоремы и вспомогательные леммы приведены с полными доказательствами, и подтверждены вычислительными экспериментами.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Все важные утверждения диссертационной работы подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, в том числе опубликованных в высокорейтинговых зарубежных изданиях.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не	Список использованной литературы включает 137

		достаточны для литературного обзора	ссылок на английском и русском языках. Среди них много высокорейтинговых зарубежных изданий, опубликованных в последнее время, которых достаточно для общего литературного обзора.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет	Диссертация имеет теоретическое значение. Предложенные методы решения дробно-дифференциальных уравнений фильтрации внесут существенный вклад в развитие численных методов решения задач гидродинамики. Прямые и косвенные результаты такие как, конечно-элементные методы решения дробно-дифференциальных уравнений фильтрации, алгоритмы нахождения решений краевых задач для них могут служить основой численных методов решения других дробно-дифференциальных уравнений. Учебное пособие по конечно-элементным методам решения задач фильтрации может быть использовано на спецкурсах.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет	Результаты, полученные в ходе исследовательских работ, имеют высокую практическую ценность и могут быть использованы для решения дробно-дифференциальных задач гидродинамики и могут быть внедрены в программные комплексы для моделирования процесса разработки месторождений. Научные результаты могут быть основой качественного и количественного анализа моделируемых процессов. Полученные два авторских свидетельства на программы для проведения вычислительных экспериментов по решению задач фильтрации методом конечных элементов подтверждают применение полученных результатов на практике.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Впервые построены конечно-элементные методы решения задач для дробно-дифференциальных уравнений фильтрации в трещиновато-пористых средах.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее;	Диссертация написана грамотным научно-техническим, доступным языком. Стил изложения лаконичный. Формулировки основных положений и

		3) ниже среднего; 4) низкое.	выводов носят логичный, заключенный характер. Оформление соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.
--	--	---------------------------------	--

Считаю что, рецензируемая диссертационная работа Алимбековой Нурланы Бауржановны на тему «Конечно-элементные методы решения начально-краевых задач для дробно-дифференциальных уравнений фильтрации» по своей актуальности, научной новизне, важности для теории и практики, объему исследований полностью соответствует требованиям, которые предъявляются к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а ее автор Алимбекова Нурлана Бауржановна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности: «6D060100 – Математика».

Официальный рецензент:
Кандидат физико-математических наук, профессор,
Декан факультета информационных технологий
Казахского национального университета имени Аль-Фараби



Б. А. Урмашев