

**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).	Представленная диссертация выполнена в рамках грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2020–2022 годы по теме «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», утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.
2.	Важность для науки	Работа <b>вносит</b> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <b>раскрыта</b> /не раскрыта.	Диссертационная работа имеет теоретическую, практическую значимость и вносит существенный вклад в развитие науки, в которой построены и теоретически исследованы конечно-элементные схемы для трех ранее не исследованных дробно-дифференциальных задач фильтрации. Важность данного исследования раскрыта в полной мере. Автор выполнил глубокое научное исследование поставленной проблемы, теоретические результаты подтверждены многочисленными численными экспериментами, что свидетельствует о проведении всестороннего анализа.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1.) <b>Высокий</b> ; 2.) Средний; 3.) Низкий; 4.) Самостоятельности нет.	Представленная диссертационная работа носит высокий уровень самостоятельности: показано умение работать с различными информационными источниками, владение теоретическими знаниями в области вычислительной математики, функционального анализа, а также практическими

			<p>навыками при получении теоретических результатов и проведении, и анализе вычислительных экспериментов. Кроме того, уровень самостоятельности подтверждается серией статей, опубликованных докторантом, в международных научных журналах, входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science, занимающих высокие рейтинговые позиции, в одной из которых докторант является первым автором, и в одной – автором для корреспонденции.</p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <p>1) <b>Обоснована;</b></p> <p>2) Частично обоснована;</p> <p>3) Не обоснована.</p>	<p>Диссертационное исследование проведено на актуальную тему, так как дробно-дифференциальные уравнения фильтрации учитывают долгосрочную память сложных сред, и такие задачи для дробно-дифференциальных уравнений во многих случаях трудно решаются аналитическими методами. Поэтому работы, направленные на разработку эффективных методов численного решения дробных дифференциальных уравнений фильтрации и построение вычислительных схем высокого порядка с их теоретическим обоснованием, являются актуальными и значимыми, результаты исследования несомненно вносят вклад на развитие данного направления. Актуальность диссертации хорошо обоснована путем демонстрации практической и теоретической значимости полученных результатов.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <p>1) <b>Отражает;</b></p> <p>2) Частично отражает;</p> <p>3) Не отражает.</p>	<p>Представленная диссертационная работа полностью отражает заявленную тему диссертации по всем пунктам заглавия. Автором построены и исследованы конечно-элементные методы решения для нескольких ранее не исследованных дробно-дифференциальных задач фильтрации.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <p>1) <b>соответствуют;</b></p> <p>2) частично соответствуют;</p> <p>3) не соответствуют.</p>	<p>В диссертации четко сформулированы цель и задачи исследования, которые в полной мере соответствуют теме диссертации. Автор достигает поставленной цели путем реализации задач, по пунктам постулирующих основными аспектами исследования заявленной темы.</p>

		<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью взаимосвязаны;</u></b></li> <li>2) взаимосвязь частичная;</li> <li>3) взаимосвязь отсутствует.</li> </ol>	<p>Все разделы диссертационной работы и выносимые на защиту положения логически взаимосвязаны: каждому положению соответствует свой раздел. Структура диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к квалификационным работам такого рода. В научной работе четко показан личный вклад автора в науку, который охватывает совокупность новых научных результатов в области вычислительной математики.</p>
		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>критический анализ есть;</u></b></li> <li>2) анализ частичный;</li> <li>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.</li> </ol>	<p>Автором впервые предложены конечно-элементные схемы для нескольких ранее не исследованных дробно-дифференциальных задач фильтрации. Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов обеспечивается комплексным характером проводимых исследований: все теоретические результаты сопровождаются подробными выкладками, теоретический порядок сходимости численных схем подтверждается вычислительными экспериментами. Имеется достаточно полный исторический обзор и критический анализ имеющихся результатов по теме диссертации. На основе чего выявлена цель и выбраны аргументированные методы решения поставленных задач для достижения цели. Автором предложены достаточно усовершенствованные методы решения поставленных задач, которые позволили получить новые результаты по сравнению с имеющимся выводами и положениями.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью новые;</u></b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25–75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%).</li> </ol>	<p>Научные результаты и выносимые положения на защиту являются полностью новыми: построены и теоретически исследованы конечно-элементные методы решения задачи фильтрации в трещиновато-пористой среде в предположении равномерного распределения трещин, задачи фильтрации с переходным законом фильтрации и задачи фильтрации в предположении существования двух континуумов. Это также подтверждается наличием трех статей в рецензируемых научных журналах,</p>

			входящих в первый и второй квартили по базе данных Web of Science и Scopus.
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25–75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Выводы, сделанные по результатам исследований, являются новыми. В частности, впервые получен результат об единственности и непрерывной зависимости решения от входных данных в дифференциальной форме, теоретически обоснован вопрос об устойчивости и сходимости конечно-элементных методов для всех рассмотренных мелко-дифференциальных задач фильтрации. Впервые доказана теорема о сходимости итерационного метода Ньютона для задачи фильтрации с переходным законом фильтрации и найдены достаточные условия его квадратичной сходимости. Кроме того, на основе вычислительных экспериментов сделан интересный вывод о влиянии порядков дробных производных на процесс течения жидкости через пористые среды, который может быть полезным в практических приложениях.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25–75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Представленные автором решения являются полностью новыми. В частности, при составлении численных схем впервые применена аппроксимационная формула повышенного порядка, которая ранее не использована в практических задачах. Для получения схем повышенного порядка сходимости применен интересный подход, основанный на технике подшаговой схемы. Кроме того, степень новизны и эффективности предлагаемых методов решения подтверждается двумя авторскими свидетельствами на программы для проведения вычислительных экспериментов.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <b>основаны</b>/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 полученные выводы основаны на достаточно весомых с научной точки зрения доказательствах. Даны и доказаны промежуточные леммы и, как следствие, вытекающие из них основные теоремы единственности и непрерывной зависимости решения задачи от входных данных в дифференциальной форме, оценки устойчивости</p>

			численной схемы по начальным данным и правой части уравнения, оценки сходимости решения дискретных задач к решению дифференциальной задачи.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <b>доказано</b>;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;</p> <p>2) <b>нет</b></p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) <b>средний</b>;</p> <p>3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) <b>да</b>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Положение, выносимое на защиту №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, сходимость конечно-элементных схем» является новым, не является тривиальным и доказано в двух статьях, опубликованных в журналах, входящих в первый и второй квартили базы Web of Science. Результаты положения могут быть применены к решению других дробно-дифференциальных задач.</p> <p>Положение №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, сходимость конечно-элементных схем, сходимость итерационного процесса и получены достаточные условия его квадратичной сходимости» является новым, не является тривиальным и доказано в статье, входящей в перечень КОКСНВО, и в материалах международной конференции.</p> <p>Положение №3: «Построены 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» является новым, не является тривиальным и доказано в статье, опубликованной в журнале, имеющем показатель</p>



			процентиль по CiteScore в базе данных Scopus, равный 55.
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>	Выбор методологии исследования хорошо обоснован, используемые методы исследования подробно описаны в соответствующем разделе диссертационной работы.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с использованием актуальных языков программирования и графических средств.
		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) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>	Теоретические выводы и выявленные закономерности доказаны на основе методов вычислительной математики и функционального анализа, и подтверждены методом вычислительного эксперимента. Стоит отметить, что 1) В первом разделе диссертации таблица сравнения теоретического и эмпирического порядков сходимости по пространственной переменной приведена только для примеров 1.1 и 1.4. Для полноты исследования следовало бы привести аналогичный анализ для примеров 1.2 и 1.3.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, что широко освещено в литературном обзоре и в процессе вывода основных результатов в тексте диссертационной работы.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	Используемые источники литературы вполне достаточны для полного и детального изложения материала, сравнения результатов диссертации с предшествующими результатами и строгого их доказательства.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>	Диссертационная работа имеет высокий уровень теоретического значения. Теоретическая значимость работы состоит в строгом математическом

			обосновании единственности решения и его непрерывной зависимости от входных данных, вопросов устойчивости и сходимости построенных конечно-элементных схем для мало изученных дробно-дифференциальных задач фильтрации. Результаты, полученные в работе, окажут влияние на развитие теории вычислительных методов решения краевых задач для дробно-дифференциальных уравнений фильтрации.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертационная работа имеет высокий уровень практического значения. Несомненной практической значимостью обладают предложенные в работе конечно-элементные методы решения рассматриваемых задач фильтрации, так как они могут быть внедрены в программные комплексы для моделирования процесса разработки месторождений.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Разработанные конечно-элементные схемы и алгоритмы будут вносить непосредственный вклад в развитие науки, и являются новыми.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертационная работа хорошо структурирована, логично выстроена и содержательна. Изложение материала грамотное, оформление соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.

Диссертационная работа Алимбековой Нурланы Бауржановны является завершенной научно-исследовательской работой. Результаты исследований имеют большой научный потенциал и важный экономический эффект, поскольку предложенные конечно-элементные методы решения рассматриваемых задач фильтрации могут быть внедрены в программные комплексы для моделирования процесса разработки месторождений.

Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне и вполне отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, а ее автор Алимбекова Нурлана Бауржановна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности: «6D060100 – Математика».

Официальный рецензент:  
Доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры «Математическое и компьютерное моделирование»  
Международного университета информационных технологий



Б. Рысбайулы

