

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Маркова Павла Владимировича на тему **«Исследование и применение дискретных моделей фильтрации на различных масштабах пористой среды»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

### **1. Актуальность темы выполненной работы**

Моделирование процессов фильтрации является обязательным этапом проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений. Требование детальности этих моделей для их использования при проектировании как разработки всего месторождения в целом, так и мероприятий по скважинам требует больших временных затрат, что влияет на скорость принятия решений. Также высокая неопределенность в исходных данных вынуждает проводить серийные расчеты (например, адаптация к истории работы скважин), что, в свою очередь, также увеличивает временные затраты. В этой связи проблемы повышения скорости расчетов без существенной потери точности являются актуальными, и решаются в диссертации за счет применения непрерывных групп симметрий для дискретных моделей различных масштабов пористой среды.

Наличие многих масштабов пористой среды и их влияние на процесс фильтрации на макромасштабе, а также отсутствие некоторых экспериментальных данных и наличие высокой неопределенности в них, вынуждает изучать процессы фильтрации на микромасштабе пористой среды. Однако возникает проблема ремасштабирования упомянутых моделей микромасштаба на макромасштаб нефтегазоносных пластов. Данная проблема ремасштабирования исследуется в представленной диссертационной работе.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

В представленной диссертационной работе разработаны методы для моделирования процессов фильтрации на микромасштабе пористой среды и ремасштабирования на макромасштаб, а также численные методы для ускорения расчетов, связанных с этим процессом ремасштабирования. Обоснованность представленных результатов, связанных с методами предлагаемого подхода ремасштабирования, базируется на тестовых сравнительных расчетах с использованием синтетических моделей и экспериментальных данных, а также на согласованности отдельных выводов диссертации с результатами

известных работ, опубликованных другими авторами. Обоснованность полученных результатов, связанных с разработкой численного метода размножения решений с использованием преобразований непрерывных групп симметрий, основывается на сравнении получаемых численных решений с известными точными решениями для рассматриваемых уравнений фильтрации, использованном и сравненном с известными результатами групповой классификации дифференциальных уравнений и разностных схема аналогичного типа.

### **3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

**Достоверность результатов** подтверждается следующим: использованием известных групповых классификаций параболических дифференциальных уравнений в частных производных и известного метода получения разностных схем с сохранением непрерывных групп симметрий; сравнениями полученных численных решений с известными точными решениями соответствующих уравнений; проведением тестовых сравнительных расчетов с использованием синтетических моделей и экспериментальных данных; согласованностью отдельных выводов диссертации с результатами известных работ, опубликованных другими авторами.

**Научная новизна** результатов, представленных в диссертации, присутствует в трех областях: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В области математического моделирования: впервые с помощью непрерывных групп симметрий исследованы следующие дискретные модели фильтрации: разностные схемы для уравнений фильтрации газа, Баклея-Левретта и Рапопорта-Лиса; получены новые классы дискретных моделей, для которых применим разработанный метод размножения численных решений: двумерные и трехмерные дискретные динамические системы, разностные схемы для уравнений Рапопорта-Лиса и фильтрации газа; разработан новый метод построения моделей поровых сетей, позволяющий строить стохастические модели на основе независимой генерации параметров по их распределениям и с учетом их взаимосвязей.

В области численных методов: с использованием непрерывных групп симметрий разработан метод размножения численных решений для систем уравнений дискретных моделей процессов фильтрации; разработан новый численный метод решения обратных задач соответствия заданным фильтрационным характеристикам для стохастических моделей поровых сетей, где впервые для такого типа моделей применен оптимизационный метод «роя частиц».

В области комплексов программ: разработан оригинальный подход к ремасштабированию дискретных микромоделей на макромасштаб нефтегазоносных пластов, который основан на упомянутых выше разработанных методах и реализован в виде единого программного комплекса.

#### **4. Значимость для науки и практики полученных результатов**

**Теоретическая значимость работы** заключается в расширении типов уравнений, для которых применяется теория непрерывных групп симметрий, и в разработке нового метода размножения численных решений с использованием дискретных моделей процессов фильтрации и их непрерывных групп симметрий. Также теоретическая значимость состоит в исследовании проблем ремасштабирования моделей фильтрации на различных масштабах пористой среды.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в том, что ее результаты могут быть применены на этапе моделирования процессов фильтрации при проектировании разработки нефтяных и газовых месторождений и для создания соответствующих программных комплексов.

#### **5. Оценка содержания диссертационной работы, ее завершенности**

Диссертационная работа по структуре, постановке задач исследований и используемым методам их решения последовательна и научно выдержана. Текст работы и автореферата написан грамотным научным языком. Работа построена логично, начиная с постановки задачи, актуальности темы исследований и кончая практическими выводами и рекомендациями, имеющими как теоретическое, так и практическое значение.

Качество оформления работы оставляет хорошее впечатление. Текст диссертации написан с учетом требований ВАК РФ, предъявляемых к оформлению научных работ. Диссертационная работа содержит все необходимые ссылки на литературные источники.

Основные результаты диссертации опубликованы в 28 работах, в том числе в 10 работах в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, где 4 из них опубликовано в журналах и изданиях, индексируемых в Scopus. Также получено свидетельство о регистрации комплекса программ для ЭВМ №2016663800 «Моделирование на микромасштабе пористой среды «PoroScale».

Количество публикаций является достаточным и соответствует требованиям по апробации кандидатской диссертации. Публикации достаточно полно раскрывают содержание диссертации.

Автореферат полно отражает основное содержание диссертации.

В то же время имеется замечание, являющееся скорее предложением для дальнейших исследований:

в работе не рассматривались системы уравнений, используемые в коммерческих симуляторах. Это позволило бы заняться разработкой разностных схем с непрерывными симметриями.

Указанные замечания не принципиальны и не снижают ценности диссертационной работы

**6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация Маркова Павла Владимировича является научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую значимость. Работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. В диссертации изложены научно обоснованные разработанные методы для переноса полученных результатов моделирования на микромасштабе пористой среды для их использования на макромасштабе месторождений нефти и газа и методы для ускорения численных расчетов с помощью непрерывных групп симметрии.

Автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Старший эксперт  
Бюро старших экспертов  
ООО «РН-БашНИПИнефть»  
д.ф.-м.н., профессор

Байков В.А.

11.06.2021

Байков Виталий Анварович,  
Старший эксперт Бюро старших экспертов  
Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть»,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
450103, г. Уфа, ул. Бехтерева, 3/1.  
Тел.: +7 (917)409-62-58,  
Электронный адрес: baikov@bnipi.rosneft.ru

Подпись *А. Деманова* удовлетворено.  
*А. Деманова*  
*Деманова О.В.*