

от 31.05.2022г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Быковских Дмитрия Александровича** на тему «**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА КНУДСЕНА В ТРЕХМЕРНОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Исследование течения невзаимодействующих друг с другом частиц газа в трехмерной области с подвижными границами имеет важное прикладное значение в задачах, связанных с анализом и управлением многими современными высокотехнологичными процессами, например: работа устройств с высоким вакуумом, работа атомных реакторов (движение тепловых нейтронов в тяжелой жидкости с изменяющимися с течением времени границами), керносимулятор (моделирование течения флюидов в керне на микроуровне), создание наноматериалов (исследования переноса фононов с целью получения улучшенных термоэлектрических характеристик в совокупности с низкой теплопроводностью для пористых материалов).

Авторов данного отзыва большего всего интересует применение научных результатов рассматриваемой диссертации для создания керносимулятора. Именно такой пример практического применения разработанных соискателем математических моделей, численных методов и комплекса программ рассмотрен в диссертации (глава 5). Данная технология (керносимулятор) позволяет с помощью математического моделирования проводить различные исследования на одном и том же цифровом двойнике реального керна, что позволяет связывать между собой результаты исследований. При проведении лабораторных исследований на керне большинство исследований меняют свойства керна или даже разрушают его. Это не позволяет провести в лаборатории весь необходимый набор экспериментов на одном и том же образце, что существенно осложняет сравнительный анализ результатов экспериментов. Применение технологии керносимулятора позволяет решить эту проблему. Кроме того, технология керносимулятора позволяет достаточно быстро проводить исследования на низкопроницаемых и сверхнизкопроницаемых кернах (проведение лабораторных фильтрационных исследований на таких кернах либо является очень длительным и дорогим, либо вообще невозможно на существующих установках). К тому же использование технологии керносимулятора позволяет существенно сократить количество длительных и дорогостоящих лабораторных исследований, например, при подборе технологии увеличения нефтеотдачи керносимулятор позволяет отбросить наименее эффективные варианты и сформировать набор минимально необходимых вариантов для лабораторных экспериментов. В результате технология керносимулятора позволяет уточнить представления о свойствах и геологическом строении нефтяных и газовых пластов, повысить эффективность их разработки, обосновать применение методов увеличения нефтеотдачи и добиться повышения нефтеизвлечения. Технология керносимулятора является новой, поэтому научные работы, направленные на ее совершенствование, являются важными и актуальными.

Целью диссертационной работы является разработка алгоритмов расчета движения газа Кнудсена в трехмерной области с подвижными и неподвижными границами методом Монте-Карло; создание комплекса программ для современных

высокопроизводительных вычислительных систем и его верификация; проведение вычислительных экспериментов по исследованию задачи фильтрации газа в пористой среде. Для выполнения этой цели были сформулированы 6 задач. Задачи соответствуют цели работы. Из автореферата диссертационной работы следует, что поставленная цель была достигнута, а сформулированные задачи выполнены полностью.

Следует отметить, что сделанный в работе выбор метода Монте-Карло для численного исследования течения газа Кнудсена в области с подвижными и неподвижными границами является оптимальным, поскольку позволяет легко вычислять макроскопические параметры течения газа и при этом обладает высоким уровнем параллелизма, что позволяет эффективно использовать современные высокопроизводительные вычислительные системы.

Сформулированные в автореферате 4 пункта научной новизны не вызывают нареканий. Выделенные новые научные результаты являются оригинальными.

К теоретической значимости работы относится класс точных решений, найденный для модели адиабатического сжатия газа Кнудсена в трехмерной области, который может быть использован для верификации комплекса программ.

Практическая значимость заключается в разработке эффективных алгоритмов расчета течения газа Кнудсена с подвижными и неподвижными границами, основанных на методе Монте-Карло, которые могут применяться для исследований проблем динамики разреженного газа, статистической физики, нефтегазовой отрасли, атомной и промышленной энергетики и оптики.

Следует отметить большое количество публикаций по теме работы (20 штук включая 5 публикаций в журналах из Перечня ВАК, 1 публикацию в журнале, индексируемом базой Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ).

К автореферату работы имеются следующие замечания:

1. Выбранная математическая модель не учитывает столкновение частиц между собой. Для технологии керносимулятора учет таких столкновений важен в случае, когда длина свободного пробега молекулы газа существенно меньше диаметра порового канала, а этот случай весьма распространен на практике.
2. В пятой главе представлено численное исследование задачи фильтрации идеального бесстолкновительного газа в пористой среде.
 - 2.1. Было бы интересно сравнить результаты определения коэффициента фильтрации (k/μ , где k – проницаемость, μ – вязкость газа) по предлагаемому в диссертации подходу для низкопроницаемого коллектора (когда длина свободного пробега молекулы газа больше диаметра поры) с результатами лабораторных экспериментов, интерпретированных с учетом эффекта Клинкенберга.
 - 2.2. Было бы интересно сравнить результаты расчета макроскопических параметров течения газа по предлагаемому в диссертации подходу для низкопроницаемого коллектора (когда длина свободного пробега молекулы газа больше диаметра поры) с результатами расчета с использованием других подходов.

Высказанные замечания не умаляют достоинств работы. Последнее замечание фактически является пожеланием к дальнейшей работе. В целом представленная работа является законченным научным исследованием. По актуальности, новизне,


практической ценности и обоснованности полученных результатов диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к такого рода работам.

Представленная диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Быковских Дмитрий Александрович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Афанаскин Иван Владимирович, кандидат технических наук с 2013 г. по специальности 25.00.17 - «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», ведущий научный сотрудник отдела гидродинамических исследований и моделирования в нефтегазовой отрасли Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН). Адрес: 117218, Москва, Нахимовский проспект, 36, к. 1. Тел.: +7 (495) 718-21-10 (доб. 1711). E-mail: iafanaskin@niisi.msk.ru

Я, Афанаскин И.В., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.


«17» мая 2022 г.

 (Афанаскин И.В.)

Вольпин Сергей Григорьевич, кандидат технических наук с 1979 г. по специальности 25.00.17 - «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», заведующий отделом гидродинамических исследований и моделирования в нефтегазовой отрасли Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН). Адрес: 117218, Москва, Нахимовский проспект, 36, к. 1. Тел.: +7 (495) 718-21-10 (доб. 1716). E-mail: volpin@niisi.ras.ru

Я, Вольпин С.Г., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«18» мая 2022 г.

 (Вольпин С.Г.)

Подписи Афанаскина И.В. и Вольпин С.Г. заверяю.
Начальник отдела кадров ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

