

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Ялаева Тагира Рустамовича

на тему: «Методика построения обобщенных моделей эффективных упругих и тепловых свойств пород с учетом их внутренней структуры и флюидонасыщения»

по специальности **25.00.10** - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Актуальность темы исследований. Ухудшение структуры запасов углеводородов, снижение запасов нефти, извлечение которой не требует значительных экономических затрат, приводит к необходимости применения вторичных и третичных методов увеличения нефтеотдачи, а также к вовлечению в разработку нетрадиционных месторождений углеводородов. Для экономически эффективной реализации таких методов необходимо иметь более детальную информацию о свойствах пород-коллекторов, чем для традиционной разработки месторождений, и строить все более сложные модели гидродинамических процессов в породах, с использованием многопараметрического описания порового пространства, свойств матрицы и флюидов. В частности, для реализации тепловых методов увеличения нефтеотдачи необходимо знать тепловые свойства пород, измерение которых в пластовых условиях связано со значительными сложностями. Альтернативой прямым измерениям теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности является разработка математических моделей, позволяющих определять эти величины по измерениям упругих параметров, валидация разработанных моделей в лабораторных экспериментах, перенос лабораторных данных на реальные горные породы в натуральных условиях. Поэтому тема рассматриваемой диссертации является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Защищаемые положения, выводы и рекомендации обоснованы путем проведения теоретических и экспериментальных исследований и сопоставления полученных результатов. На основе обзора современных методов математического моделирования эффективных упругих и тепловых свойств горных пород предложен оригинальный метод расчета эффективной теплопроводности породы на основе метода T-матрицы. Разработанные методы были применены для расчета тепловых свойств двух коллекций карбонатных пород, состоящих из 102 и 55 образцов, и 91 образца терригенных пород. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных значений эффективной теплопроводности образцов, насыщенных аналогами пластовой воды, нефти и воздухом.

ными. Выполнено сопоставление результатов расчета теплопроводности с помощью предлагаемого в диссертации метода и широко используемых методов Лихтенеккера и Рой-Адлера и показано, что результаты расчетов по предлагаемому методу имеют меньшее расхождение с экспериментальными значениями теплопроводности. Разработан и реализован оригинальный способ одновременного определения эффективной теплопроводности и упругих свойств пористых пород путем определения свойств искусственных композитов, изготовленных из шлама этих пород.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Научная и практическая значимость работы определяется возможностью использования результатов работы для теоретического прогноза теплопроводности по известным упругим свойствам в зависимости от пористости, емкости трещин, относительного их раскрытия, связности порового пространства, от свойств насыщающего флюида. Для практического применения разработанных методов существенной является показанная автором возможность оценки свойств пород по искусственным композитным образцам, созданным с использованием шлама, получаемого при бурении без выноса керна.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, объем диссертации 129 страниц, она включает 49 рисунков, 14 таблиц и два приложения. Список цитируемых научных публикаций содержит 99 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель работы, решаемые задачи, приводятся основные оригинальные результаты, защищаемые положения, даются сведения о вкладе автора в работу, об апробации и об основных публикациях автора по теме диссертации.

Первая глава является обзорно-постановочной. Рассматриваются методы математического моделирования свойств пористых пород, выделяются пять групп методов: инженерные; эмпирические; методы, основанные на нейронных сетях; методы, основанные на создании моделей цифрового керна; методы на основе теории эффективных сред. Приводятся ограничения использования методов, их преимущества и недостатки. Предлагается оригинальный метод расчета эффективной теплопроводности породы на основе метода Т-матрицы, предлагается вариант ее расчета.

Во **второй главе** описывается моделирование физических свойств карбонатных и терригенных пород, приводится решение задачи флюидозамещения для теплопроводности, даются принципы построения обобщенных моделей физических свойств пород. Выводится уравнение связи тепловых и упругих свойств горных пород с параметрами ее структуры, полученное в рамках обобщенного сингулярного приближения. Показано, что физические свойства пористой среды зависят от структуры породы и связности элементов порового пространства. Проводится моделирование физических свойств карбонатных и терригенных типов пород, решается задача флюидо-

замещения для теплопроводности, для чего предлагается алгоритм, включающий три этапа: измерение теплопроводности образца, насыщенного последовательно двумя флюидами; решение обратной задачи определения параметров внутренней структуры и теплопроводности матрицы; расчет эффективной теплопроводности образца, насыщенного третьим флюидом, по найденным параметрам матрицы и известной теплопроводности флюида.

Основное содержание **главы 3** состоит в описании результатов установления связи упругих свойств и теплопроводности на примере песчаника Бентхаймер под одноосной нагрузкой. Выполнены измерения скоростей продольной и поперечной волн и теплопроводности при различных значениях одноосной нагрузки, для измерений теплопроводности разработана специальная ячейка кернодержателя с источником постоянного тепла с постоянной мощностью. Приведены результаты параметрических исследований рассматриваемой модели эффективных свойств с учетом полученных экспериментальных данных. Представлены результаты сравнения экспериментальных и расчетных значений для двух задач: задачи определения теплопроводности по данным о скорости продольных и поперечных волн; задачи определения скоростей продольных и поперечных волн по данным о теплопроводности породы. Построенная математическая модель упругих свойств песчаника Бентхаймер используется для количественной оценки изменения параметров, описывающих внутреннюю структуру исследуемого песчаника, в зависимости от приложенной осевой нагрузки.

В главе 4 рассматриваются весьма актуальные вопросы определения свойств породы по композитным образцам, изготовленным с использованием шлама, получаемого при бурении без возможности получения целых кернов. Приведено описание способа изготовления композитных образцов, описываются результаты измерений упругих свойств и теплопроводности искусственных образцов. Полученные экспериментальные данные и подходы теории эффективных сред используются для разработки и валидации методики восстановления упругих и тепловых свойств горных пород по данным о соответствующих свойствах композитных образцов.

Замечания.

1. На стр.47 понятие «модель эффективных физических свойств породы» вводится довольно запутано: «моделью эффективных физических свойств породы... является модельная среда, отражающая основные черты строения породы..., форма зерен, пустот,...».
2. Стр. 51-52 Для моделей, рассматриваемых автором, значение имеет не столько геологический анализ истории образования и изменения структуры породы, сколько петрофизический анализ, о котором автор и говорит далее.
3. Рис.2.4-2.5. Не обоснован выбор именно экспоненциальной функции для интерполяции данных. Не рассмотрено значение предложенной функции при значениях пористости 100%.
4. Стр.77, 79. Как проведены аппроксимирующие кривые, на основании каких соображений?

5. При описании результатов в заключении в ряде пунктов описывается, что автор делал, а не какие результаты получил.

Высказанные выше замечания носят технический характер либо могут быть использованы автором в его дальнейшей работе.

Заключение. Диссертация Ялаева Тагира Рустамовича на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача, имеющая важное научное и прикладное значение. Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Ялаев Тагир Рустамович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Официальный оппонент:

Турунтаев Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук.

Адрес института: 119334, Москва, Ленинский проспект, дом 38, корпус 1.

Телефон: 8 -916-120-06-93; E-mail: s.turuntaev@gmail.com

Я, Турунтаев Сергей Борисович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Турунтаев Сергей Борисович

Подпись д.ф.-м.н. С.Б. Турунтаева удостоверяю.

26 сентября 2017 г.



Уч. секретарь ИДГ РАН
Болдоговский Н.В.