

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Гасеми Мохаммадфариды «Влияние микроструктуры карбонатных пород на их физико-механические свойства», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

### **Актуальность работы. Объект и предмет исследований.**

Геомеханическое моделирование используется на всех этапах жизни месторождения, включая бурение и заканчивание скважин, разработку залежей, а также геологическое и гидродинамическое моделирование коллекторов и т.д. Построение геомеханических моделей требует знания деформационно-прочностных и фильтрационно-емкостных свойств породы. Как правило, геомеханическими свойствами называют такие физико-механические свойства пород как статические модуль Юнга и коэффициент Пуассона, прочность на одноосное сжатие и угол внутреннего трения. К настоящему времени отсутствуют теоретические методы, позволяющие дать оценку геомеханических свойств карбонатных пород по данным о составе и микроструктуре их порового пространства. Данная диссертационная работа посвящена установлению влияния основных параметров микроструктуры пород на физико-механические свойства и прогнозу изменения упругих и прочностных свойств от изменений микроструктуры порового пространства что и определяет её несомненную актуальность.

### **Цель и задачи исследований.**

Основной целью работы являлось установление связей между физико-механическими (геомеханическими) свойствами пород и их микроструктурными параметрами для достоверной оценки геомеханических параметров горных пород с применением методов теории эффективных сред.

В первой главе диссертации приведен анализ мировых исследований по оценке статических и динамических модулей упругости и изучения параметров, оказывающих влияние на их разницу. Автором диссертации сделан правильный вывод, что упругое поведение порово-трещиноватых сред контролируется их текстурными параметрами. Проведена оценка методов моделирования эффективных упругих свойств горных пород на основе их микротекстурных параметров. Сделан обоснованный вывод, что построение и анализ модельных сред с использованием методов теории эффективных сред позволяют более достоверно определять упругие модули по сравнению с другими методами и эмпирическими зависимостями.

Во второй главе анализируются экспериментальные данные, приведены данные математического моделирования упругих свойств образцов карбонатных пород с помощью методов теории эффективных сред. В результате чего выявлена широкая область неопределенности параметров микроструктуры и делается вывод, что обратная задача определения неизмеряемых параметров микроструктуры пустотного пространства по данным скоростей упругих волн является некорректной и требует предварительного введения ограничения их величин.

В третьей главе приведены результаты трехосных испытаний карбонатных образцов, которые наряду с данными о фильтрационно-ёмкостных параметрах образцов, позволили автору диссертации ограничить диапазон параметров эффективных упругих свойств. В условиях моделирующих пластовые, определен диапазон нагрузок, при которых имеющиеся трещины закрываются, диапазон нагрузок линейной упругости и давление наступления трещинообразования, определен предел прочности образцов. Все эти параметры имеют большое практическое значение для выбора режима разработки месторождений.

Четвёртая глава посвящена описанию предложенного автором диссертации алгоритма оценки ограничений на параметр связности пустотного пространства, тесно связанного с проницаемостью горных пород.

Полученные им ограничения (параметра связности пустотного пространства, трещинной пористости и аспектного отношения трещин), позволили диссертанту дать оценки параметров математических моделей эффективных упругих свойств карбонатных пород и получить достоверные и надежные корреляционные зависимости между физико-механическими характеристиками и параметрами моделей микроструктуры пустотного пространства.

Таким образом, в диссертации отражена вся совокупность вопросов, рассмотрение которых было необходимо для оценки влияния основных параметров микроструктуры пород на физико-механические свойства и прогноза изменения упругих и прочностных свойств от изменений микроструктуры порового пространства.

#### **Научная новизна диссертационной работы и достоверность полученных результатов.**

Первое защищаемое научное положение, в котором утверждается, что обратная задача определения параметров микроструктуры пустотного пространства по данным о скоростях упругих волн методами теории эффективных тел является некорректной. Диссертантом впервые получены данные математического моделирования упругих свойств образцов карбонатных пород с помощью методов теории эффективных сред, которые выявили широкую область неопределенности параметров микроструктуры. И обоснованно делается вывод, что обратная задача определения не измеряемых параметров микроструктуры пустотного пространства по данным скоростей упругих волн является некорректной и требует предварительного введения ограничения их величин.

В рамках второго защищаемого научного положения, на базе результатов экспериментальных испытаний образцов на прессе, автор диссертации обосновал возможность уменьшения диапазона изменений параметров моделей эффективных упругих свойств, что, в свою очередь,

повысило точность определения параметров микроструктуры пустотного пространства образцов карбонатных пород.

В третьем защищаемом научном положении утверждается, доминирующее влияние на величины модулей упругости оказывают величины общей пористости и связности (подобие проницаемости) пустотного пространства, подтверждается довольно большим фактическим материалом экспериментальных исследований, выполненных диссертантом на образцах карбонатных пород.

Результаты прочностных испытаний образцов карбонатных пород, полученные диссертантом, хорошо корреспондируются с результатами прочностных испытаний образцов Оренбургского, Астраханского и других месторождений, полученными рецензентом. Ограничения на величину трещинной пористости хорошо сочетаются с её величинами, полученными рецензентом и другими исследователями иными экспериментальными методами и опубликованными в открытой печати.

**Практическая значимость работы и реализация её результатов.** Полученные автором диссертации аналитические и корреляционные зависимости между микроструктурными параметрами пустотного пространства и физико-механическими свойствами исследованных пород, могут быть использованы при решении задач геомеханики на месторождениях углеводородов, включая бурение и заканчивание скважин, разработку залежей, а также геологическое и гидродинамическое моделирование коллекторов и т.д.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций представленной работы** подтверждается тем, что при их получении были использованы: 1) широкий спектр теоретических и экспериментальных методов исследования; 2) представительный объём экспериментальных данных компьютерного и физического моделирования, проведённого на базе апробированного и хорошо зарекомендовавшего себя

аппаратурного, методического и программного обеспечения; 3) результаты экспериментальных ультразвуковых и деформационных измерений в условиях моделирующих пластовые, которые показали качественное совпадение с данными моделирования.

**По работе имеются следующие замечания:**

1. Автором в первой главе излишне подробно (на 25 страницах), рассмотрены положения теории эффективных сред, и трудно понять, что из этого массива формул и положений заимствовано из опубликованных работ, а что сделано автором диссертации лично.
2. Формулировка «не разрушающая процедура» (с.16 диссертации) не совсем корректна. Так неразрушающей процедурой могут быть и испытания образцов путем увеличения нагрузки до величины, не превышающей их прочность или даже предел линейной упругости (что, кстати, приведено и в диссертации). А для исследований с использованием скоростей упругих волн чаще используется термин «динамические» в противопоставлении термину «статические».
3. Не совсем удобно построен список использованной литературы: и не по алфавиту и не по порядку упоминания.
4. На рисунках 2.9, 2.12, отмечаются аномальные ступенеобразные изменения зависимости изменения скорости упругих волн от аспектного отношения трещин. Они не прослеживаются на зависимостях скоростей от аспектного отношения трещин.
5. Так же имеется редакционные замечания: на рис.2.9 надо поменять местами части в) и д); данные таблиц 4.1 и 4.3 содержащие данные ( $\kappa$ ,  $\kappa/\phi$ ,  $\phi$ ) по одинаковым образцам не всегда не совпадают, а отношение  $\kappa/\phi$  в таблице 4.3 увеличено в 100 раз; в таблицах 4.15 и 4.16 говорится о коэффициенте детерминации КД, а обозначен он как КК и в таблице 4.15 он имеет отрицательные значения, что исключено по определению (формально, это коэффициент корреляции в квадрате); название

рисунка 4.18 ошибочно продублировано названием рисунка 4.17, хотя там приведены зависимости прочности на одноосное сжатие от ряда микроструктурных параметров.

Отмеченные замечания 1 - 4 носят рекомендательный характер, их следует учесть автору при проведении дальнейших исследований, В целом они не снижают общего положительного впечатления о работе.

Все основные положения диссертационной работы отражены в 9-и публикациях автора, в том числе: 2 публикации в рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК и 3 публикации в изданиях, индексируемых в SCOPUS и Web of Science.

### **Заключение**

В диссертации Гасеми Мохаммадфарид, на основе проведённых автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная задача установления закономерностей влияния микроструктуры карбонатных пород на их физико-механические свойства, обеспечивающая достоверный прогноз геомеханических свойств в условиях изменяющегося напряженно-деформированного состояния недр, что имеет важное значение для развития петрофизических и математических методов, в такой отрасли знаний как геофизика и геофизические методы поисков полезных ископаемых

Считаю, что представленное диссертационное исследование обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, выполнено на актуальную тему, имеет научную и практическую значимость, полученные результаты достоверны, работа соответствует заявленной научной специальности и критериям, установленным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Гасеми Мохаммадфарид достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник лаборатории комплексных исследований  
кернового материала Корпоративного центра исследований пластовых  
систем (керна и флюиды) Общества с ограниченной ответственностью  
«Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий  
— Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») Публичного  
Акционерного Общества «Газпром» (ПАО «Газпром»), доктор технических  
наук

**Жуков Виталий Семенович**

Почтовый адрес: 142717, Московская обл., Ленинский район, сельское  
поселение Развилковское, поселок Развилка, Проектируемый проезд № 5537,  
владение 15, строение 1.

Телефон: +7 498 657 4206; газ связь 5-63-94; моб.тел.: 8-903-511-17-16

Электронная почта: [v\\_zhukov@vniigaz.gazprom.ru](mailto:v_zhukov@vniigaz.gazprom.ru)

Подпись Жукова В.С. заверяю

«04» марта 2019г

Должность

вед. спец. ОДЦУ

Фамилия И.О.

О.В. Сидоров

Я, Жуков Виталий Семенович, даю согласие на включение своих  
персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного  
совета, и их дальнейшую обработку.

