

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Фадеевой Ирины Игоревны «Количественная оценка содержания газогидратов в песчаных средах по данным лабораторных экспериментов», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика

Задачей диссертационной работы И.И. Фадеевой являлась разработка новых способов оценки гидратосодержания песчаных сред на основе экспериментальных теплофизических исследований.

Решаемая в работе задача интересна как для изучения особенностей формирования геотермических характеристик недр в присутствии газовых гидратов, так и в отношении создания новых перспектив для оценки ресурсов природного газа в газогидратных залежах.

Для решения поставленной задачи соискателем создана оригинальная экспериментальная лабораторная установка, позволяющая решать комплекс задач: моделировать гидратосодержащие среды и определять их теплофизические свойства в широком диапазоне теплопроводности.

На основе результатов исследований, выполненных И.И. Фадеевой на основе разработанной ею экспериментальной базы, разработаны два способа оценки гидратосодержания песчаных сред с высокой и низкой газопроницаемостью. Способы оценки основаны на изучении температурного режима изучаемой гидратосодержащей среды при помощи игольчатых зондов при варьируемой мощности линейного нагревателя при нагреве среды как в стабильных для существования газогидрата условиях, так и вне последних.

Для песчаных сред с высокой газопроницаемостью (в условиях, когда газ беспрепятственно покидает место разложения газогидрата) суть способа состоит в осуществлении двух типов экспериментов: без разложения газогидратов при малой мощности нагревателя и с их разложением при задании высокой мощности нагревателя. Сравнительные измерения позволяют рассчитать затраченную на разложение газогидрата энергию, определить объем газогидрата, в котором произошло его разложение, и таким путем оценить массу газогидрата в единице объема среды вокруг источника тепла.

Для песчаных сред с низкой газопроницаемостью суть способа состоит в измерении объемной теплоемкости в разных условиях: при стабильном состоянии газогидрата и вне данных условий. Разница измеренных значений характеристик



среды в разных условиях позволяет оценить количество содержащегося в ней газогидрата.

К безусловным достоинствам работы следует отнести углубленный анализ и развитие автором теоретических и экспериментальных основ метода измерений теплофизических свойств на основе линейного источника. В совокупности с завершающим тщательным экспериментальным метрологическим тестированием данного метода эту часть диссертации можно отнести к лучшим работам в области мировой экспериментальной тепловой петрофизики.

Верификация предложенных способов была выполнена в лабораторных условиях на созданной соискателем экспериментальной установке, для которых И.И.Фадеевой было создано необходимое метрологическое обеспечение, включавшее тестирование разработанного аппаратурно-методического комплекса при помощи сертифицированных образцовых мер и проведение кругового сличения с использованием сторонних средств измерений прецизионного уровня в диапазонах теплофизических свойств изучаемых сред, охватывающими большую часть осадочных пород (по теплопроводности - от 0.1 до 4 Вт/(м·К)). Работы соискателя по созданию метрологического обеспечения важны, так как в тепловой петрофизике распространены ситуации, когда фактические погрешности измерений теплофизических свойств пород выходят далеко за уровень предположений в связи с тем, что традиционно теплофизическая измерительная техника неплохо работает для промышленных материалов, но имеет серьезные проблемы, когда ее формально, без надлежащих адаптации и тестирования, применяют для измерений на образцах горных пород, характеризующихся повышенной неоднородностью, анизотропией, склонностью к техногенным изменениям свойств в ходе эксперимента.

Предлагаемые способы проверены автором диссертационной работы на гидратосодержащих песчаных образцах с равномерным распределением в них газогидрата (при конкретной реализации). Равномерное распределение газогидрата в образцах серьезно упростило задачу оценки их гидратосодержания для соискателя, однако равномерное распределение гидрата редко отвечает реальным геологическим средам, в связи с чем можно порекомендовать соискателю в будущем оценить возможности применения разработанных способов для более сложных сред.

Важно отметить, что в течение последних лет можно было заметить усилия И.И. Фадеевой в углубленном изучении особенностей создаваемых ею методик исследований, метрологическом анализе качества измерений, расширением области использования прежних достижений экспериментальной петрофизики. Достаточной



редкостью для тепловой петрофизики является то, что был получен большой объем экспериментальных данных сразу для комплекса теплофизических свойств пород.

Новизна представленной диссертационной работы не вызывает сомнений, поскольку в работе впервые предложены новые способы оценки содержания газогидратов в песчаных средах с использованием игольчатых зондов, положенных в основу теплофизических экспериментов. К достоинствам работы относится то, что за счет сопоставления результатов измерений, проведенных в стабильных для существования газогидрата условиях и вне последних, обеспечена чувствительность получаемых экспериментальных данных к наличию малых количеств газогидрата в породе. Разработанные способы применимы при низких температурах и высоких давлениях и при дальнейшей доработке могут быть адаптированы для полевых работ погружными геотермическими зондами. Полученные результаты могут стать основой для создания погружных зондов, измеряющих как теплофизические, так и электрические и акустические свойства осадочных пород, что позволит при работах на акваториях определять содержание гидратов в донных отложениях без их поднятия образцов на судно.

В материалах диссертации следует отметить ряд недостатков. В первую очередь к ним оппонент относит расплывчатость научных положений. По всему объему диссертации одни и те же физические величины называются по-разному – теплофизические характеристики, теплофизические параметры, теплофизические свойства, причем часто разные термины присутствуют в пределах одной страницы. В названии работы лишним представляется слово «количественная». При упоминании теплоемкости иногда не указывается, имеется ли в виду объемная или удельная теплоемкость. В некоторых случаях, например, на стр. 31, вместо термина «образцовые меры» автор некорректно применяет термин «эталоны» и т.д. Хотя замеченные оппонентом недостатки носят технический характер, однако их весьма значительное количество снижает общее впечатление от работы, по существу своему безусловно выполненной на высоком научном уровне.

В целом диссертация оставляет благоприятное впечатление, защищаемые результаты экспериментально обоснованы и достоверны, указанные выше недостатки не лишают научной ценности проведенные исследования, содержание опубликованных статей и автореферата соискателя соответствуют основным защищаемым результатам диссертации.

В целом можно заключить, что диссертационная работа И.И. Фадеевой представляет собой завершённое научное исследование, соответствующее



специальности 1.6.9 – «Геофизика» по техническим наукам (по следующим пунктам: 13, 21, 24) и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства России от 24 сентября 2013 г. № 842. Соискатель Фадеева Ирина Игоревна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук.

Профессор Центра науки и технологий добычи углеводородов  
Автономной некоммерческой образовательной  
организации высшего образования  
«Сколковский институт науки и технологий»,  
доктор физико-математических наук  
(25.00.10-Геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых),  
проф.

Попов Юрий Анатольевич

Я согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Попов Юрий Анатольевич

28.03.2024

Почтовый адрес:

Сколковский институт науки и технологий  
Россия, 121205, г. Москва, Большой бульвар, 30

Контактные данные:

Тел: +7 910 463 56 69

e-mail: y.popov@skoltech.ru

Подпись Попова Ю.А. заверяю

Руководитель отдела  
Кадрового администрирования  
Гук О.С.

