

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **СЕ Минцзюнь**

на тему **«Моделирование фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов и процесса гамма-гамма цементометрии при геофизических исследованиях в скважинах»**
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 -
«Геофизика»

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержание работы изложено на 145 страницах, включая 25 таблиц, 62 рисунка и содержит список литературных источников из 104 наименований.

Актуальность исследований.

Автор разработал технологию компьютерного моделирования изучения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) нефтяных коллекторов и цементирования заколонного пространства, что позволяет детально изучить петрофизический механизм и динамику электрических свойств среды, а также это повышает эффективность исследований.

Актуальность выбранной соискателем темы сомнений не вызывает, поскольку в настоящее время создание новых способов компьютерных технологий истолкования геофизических полей, позволяет решать достаточно сложные геологические задачи.

Научные исследования, проводимые автором, приобретают особую важность, так как рассмотрены методы оценки характера насыщения сланцевой породы, позволяющие повысить точность оценки фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов. В сочетании с резко возросшими вычислительными возможностями и программным обеспечением существенно расширяются возможности электрического, диэлектрического и гамма-гамма каротажа.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованная автором работы актуальность темы определила цель исследования, которая заключалась в разработке методов интерпретации данных геофизических исследований скважин с использованием математического моделирования керна и процесса каротажа для повышения точности оценки фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов и качества цементирования заколонного пространства.

Степень обоснованности научных положений определяется как высокая и подтверждается большим объемом используемого фактического материала, а именно: исследования фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов и процесса гамма-

гамма цементометрии позволяют повысить точность оценки характера насыщения пластов на месторождениях Чанцин и Цинхай (Китай), уточнению плотности и пространственного распределения цемента за колонной скважины.

Достоверность и научная новизна выводов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена использованием современных математических методов обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, согласованностью полученных результатов исследований с теоретическими положениями и практическими результатами других исследований.

Результаты, представленные в диссертации, прошли рецензирование и были опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

Научная новизна, определяющая научную и практическую значимость диссертации, заключается в следующем:

1. Предложена методика коррекции водонасыщенной пористости сланцевого коллектора на эффект дисперсии и содержание пирита, основанная на цифровой модели ядра пиритсодержащих сланцев и анализе изменения относительной диэлектрической проницаемости сланцев в зависимости от частоты измерений при разном состоянии распределения и содержании пирита в сланце.

2. Предложены методика расчета радиуса проникновения бурового раствора и удельного электрического сопротивления неизменной части пласта и оценочный индекс разделения структуры пор на основе данных электрического сканирования стенок скважин и многозондового бокового каротажа.

3. Разработана программа моделирования гамма-гамма цементометрии (ГГЦ) методом Монте-Карло на основе программного комплекса Geant4 и пространственного распределения поля гамма-квантов в процессе ГГЦ.

4. Установлены зависимости показаний прибора ГГЦ от эквивалентной плотности цемента и толщины обсадной колонны и разработана методика определения характерных параметров прибора методом Гаусса – Ньютона для решения обратной задачи.

Таким образом, новизна выводов заключается в реализации программы методом Монте-Карло и пространственного распределения поля гамма-квантов в процессе ГГЦ. Кроме того, наличие проникновения бурового раствора в скважину, а также анизотропия и минеральные составы и структура порового пространства пластов, оказывают значительное влияние на результаты оценки ФЕС по методам ГИС. Поэтому автор и сделал акцент на внесение поправок на эти мешающие факторы, чтобы точно оценить фильтрационно-емкостные свойства коллекторов.

Первое защищаемое положение: *Цифровые модели керн сланцев и ствола скважины, позволяющие корректировать водонасыщенность по эффекту дисперсии пирита, анализировать влияющие факторы и закономерности петрофизических свойств, таких как акустические, электрические свойства*

В процессе подготовки диссертации автором проведен анализ цифровой модели керн и взаимосвязи между составами горных пород, их диэлектрическими свойствами и фильтрационно-емкостными свойствами коллекторов.

Для изучения характеристик дисперсии на разных частотах рассчитывалась комплексная диэлектрическая проницаемость (ДП), комплексная проводимость и комплексная относительная диэлектрическая проницаемость цифровой модели керн сланцев с разным состоянием распределения пирита. Результаты указывают на то, что зависимость вещественной части комплексной ОДП, проводимости и ДП, а также мнимой части комплексной ДП от частоты не связаны с видом распределения пирита в сланцах. Кроме того, было обнаружено, что объемная доля пирита в сланце влияет на значение вещественной части ОДП, особенно в рассеянном варианте. Автор доказал, что построенные цифровые модели керн и ствола скважины позволяют корректировать водонасыщенную пористость сланцев на эффект дисперсии пирита и устанавливать пространственное распределение модуля упругости, удельного электрического сопротивления, пористости и проницаемости пласта. Полученные результаты позволяют повысить точность оценки фильтрационно-емкостных и петрофизических свойств. Акустические, электрические свойства и фильтрационные характеристики коллектора, рассчитанные по цифровой модели скважины, совпадают с результатами геофизических исследований скважин и анализа керн.

Первое положение доказано.

Второе защищаемое положение: *Методика определения удельного электрического сопротивления неизменной части пласта, структуры порового пространства коллектора, радиуса зоны проникновения и коэффициента анизотропии пласта*

В работе представлена методика расчета радиуса и УЭС зоны проникновения бурового раствора, коэффициента анизотропии, УЭС неизменной части пласта с использованием алгоритма Левенберга – Марквардта и метода доверительного региона. Для реализации быстрой итерации создана база начальных значений искомых параметров на основе практического опыта. В своих исследованиях автор рассматривает влияния различных факторов на кривые кажущего удельного электрического сопротивления. Считаю, что полученную методику трехмерной инверсии можно использовать для интерпретации данных многозондового бокового каротажа.

Автор обосновывает, что полученные результаты позволяют определять радиус проникновения фильтрата бурового раствора и коэффициент анизотропии пласта, а также осуществлять количественную оценку типов структуры пор коллектора. **Второе положение доказано.**

Третье защищаемое положение: *Способ моделирования и методика решения обратной задачи для гамма-гамма цементометрии, позволяющие определять распределение поля гамма-квантов и характерные параметры для расчета плотности цемента при центрированной и эксцентричной колонне в скважине.*

С учетом развития технологии компьютерного моделирования и применения метода Монте-Карло в области ядерного каротажа была разработана программа моделирования гамма-гамма цементометрии методом Монте-Карло на основании прибора ГГЦ «Карсар-8-ГП».

В своей работе автор построил энергетические спектры дальнего детектора при различной плотности цемента, а также зависимости натурального логарифма среднего гамма-счета дальних детекторов от эквивалентной плотности цемента при разных породах. Данная методика обеспечивает теоретическую возможность получения характерных параметров прибора гамма-гамма цементометрии с разной структурой.

Автор показал, что результаты исследования позволяют определить влияние различных факторов на показания прибора ГГЦ и характерные параметры для расчета плотности цемента. **Третье положение доказано.**

Значимость для практики полученных автором результатов

Практическая ценность диссертационной работы связана с решением важных прикладных задач и повышает эффективность геофизических работ при разработке и исследовании нефтегазовых скважин. Автором разработаны методы высокоточного вычисления водонасыщенности сланцевых коллекторов, определения удельного электрического сопротивления постоянной части пласта и структуры порового пространства коллектора, а также даны рекомендации по использованию программного комплекса Geant4 для исследования характеристик прибора и механизма взаимодействия гамма-квантов с геологической средой в обсаженных скважинах. Кроме того, разработанные способы моделирования и методика решения обратной задачи для гамма-гамма цементометрии позволяют смоделировать распределение поля гамма-квантов, определить влияние толщины колонны, плотности цементного камня и породы, эксцентриситета колонны и прибора на показания прибора, рассчитать характерные параметры единой измерительной системы.

Предложенная автором методика коррекции водонасыщенности, основанная на исследовании цифровой модели керна, может быть использована для определения поправки расчетных параметров водонасыщенности пиритсодержащих сланцевых пород на основе данных электрического сканирования стенок скважин. Разработанные автором алгоритмы применялись для оценки фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов на месторождениях Чанцин и Цинхай (Китай).

**Соответствие диссертационных исследований пунктами
паспорта научной специальности, публикации и апробация работы**

Диссертация СЕ МИНЦЗЮНЬ «Моделирование фильтрационно-емкостных свойств нефтяных коллекторов и процесса гамма-гамма цементометрии при геофизических исследованиях в скважинах» соответствует научной специальности 1.6.9 - «Геофизика», так как в ней содержится решение задачи создания нового методического и программного обеспечения и компьютерных технологий.

Результаты диссертационного исследования опубликованы автором лично и в соавторстве опубликовано 12 статей, из них 7 статьи входят в перечень ВАК.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на 6 научных конференциях: VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» (Пермь, 2018); 39-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геология и полезные ископаемые Западного Урала» (Пермь, 2019); XXII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, 2021); X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» (Пермь, 2022); The 13th UPC International Symposium on New Well Logging Techniques – Frontiers and Challenges of Electric Logging Technology (Циндао, Китай, 2022); XXIV Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, 2023).

Замечания по работе.

1. Текст диссертации в отдельных местах написан сложно, встречаются неудачные высказывания.

2. Автору диссертационной работы следовало в разделе 2.1 привести пример необработанного изображения образцов керна с агрегатным и рассеянным пиритом, на основе которого построена цифровая модель керна.

3. В разделе 3.2 при описании предлагаемой методики следовало добавить блок-схему итераций, чтобы более наглядно выразить характеристики алгоритма 3D инверсии.

4. В разделе 4.3 необходимо привести практический пример использования предлагаемой методики для определения плотности цемента в обсаженной скважины.

5. В заключение диссертации и автореферата не приведены направления и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Заключение

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности **1.6.9 - «Геофизика»**, так как в ней содержится решение задачи создания нового методического и программного обеспечения и компьютерных технологий по пунктам 14, 16 и 18:

п. 14 *«Математические методы и численное моделирование в теории прямых и обратных задач геофизики, включая скважинную геофизику»;*

п.16 *«Методы обработки и интерпретации результатов измерений геофизических полей, в том числе применительно к геофизической разведке»;*

п. 18 *«Использование геолого-геофизических данных для построения цифровых геологических и иных моделей среды и месторождений».*

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана технически грамотным языком, обладает новизной, внутренним единством и логикой построения, полностью раскрывает сущность выполненного исследования и аккуратно оформлена. Результаты диссертационной работы имеют методическое, технологическое значение и носят прикладной характер. Выводы диссертационных исследований не противоречат существующим теоретическим представлениям, их достоверность подтверждается многочисленными примерами апробации и большим объёмом фактических данных.

Диссертация является завершённой работой, в которой изложены научно обоснованные методы моделирования керна, изучения фильтрационно-емкостных свойств горных пород и процесса гамма-гамма цементометрии, имеющие существенное значение для повышения точности и эффективности геофизических исследований скважин для нефтегазовой отрасли.

Автореферат отражает содержание диссертации, а ее основные положения опубликованы в открытой печати.

Работа отвечает требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по критериям п.п. 9-14, установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями).

Таким образом, соискатель **СЕ МИНЦЮНЬ** заслуживает присуждения ученой степени на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **1.6.9 - «Геофизика»**

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник лаборатории скважинной геофизики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича
Уральского отделения РАН

ИГОЛКИНА Галина Валентиновна

9 ноября 2023 года

Я, Иголкина Галина Валентиновна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Контактные данные:

тел.: 8908 63 23 922

e-mail: galinaigolkina@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.10 -

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

**Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт геофизики
им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения
Российской академии наук**

Адрес места работы: 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, дом 100

Тел.: +7 (343) 267-88-68; e-mail: igfuran@mail.ru

