

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу **СЕ МИНЦІЮНЬ**  
«Моделирование фильтрационно-емкостных свойств нефтяных  
коллекторов и процесса гамма-гамма цементометрии  
при геофизических исследованиях в скважинах»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.6.9 «Геофизика»

Диссертационная работа посвящена развитию новых подходов к моделированию и интерпретации электрических, электромагнитных и гамма-квантовых полей, возбужденных искусственно в скважинах и пластах. Целью работы явилось создание и опробование эффективных высокоточных алгоритмов разработки данных геофизических исследований в скважинах в рамках указанных методов, позволяющих повысить точность оценки фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и качества цементирования обсаженных скважин.

Диссертационная работа представлена на 145 страницах, содержит введение, четыре главы основного содержания, 62 рисунка, 25 таблиц, 68 формул и заключение. В работе приведен список литературы из 112 наименований.

Автореферат диссертации структурирован по трем защищаемым положениям, изложен на 23 страницах и содержит 12 рисунков. Приведенный в автореферате список работ с участием автора включает 7 публикаций в изданиях, рецензируемых ВАК, 5 публикаций - в научных журналах и сборниках статей, рецензируемых в РИНЦ.

В обзорной главе 1 диссертант рассматривает результаты исследований в области электрических и диэлектрических свойств, структуры порового пространства горных пород, технологий цифрового моделирования ядра и пластов, технического состояния обсаженных скважин. Справедливо отмечает, что обоснованное введение поправки за влияние искажающих факторов при обработке сложных полей позволяет выделить полезную информацию и уменьшить погрешность.

Первую часть главы 2 автор посвящает построению цифровой модели ядра и исследованию влияния распределения и содержания пирита на эффект дисперсии сланцев. Детально рассматривается подход создания цифровой модели ядра и математический принцип определения относительных диэлектрических параметров модели ядра трехмерным

алгоритмом конечных разностей. Сравнивая относительную диэлектрическую проницаемость, определенную на основе построенных цифровых моделей и по экспериментальному анализу керна, диссертант приходит к выводу, что цифровую модель керна можно использовать для исследования эффекта дисперсии сланцев. Установлены зависимости электрических параметров сланца от частоты электромагнитного поля при различных видах распределения и объемных долях пирита и указывает на то, что пирит в сланцах имеет значительное влияние на относительную диэлектрическую проницаемость сланцев, особенно при рассеянном виде распределения пирита.

Предлагается методика определения поправки водонасыщенности на основе данных диэлектрического каротажа и приведены результаты её применения при интерпретации полевых данных. Сравнивая водонасыщенность после введения поправки по предложенной методике с результатами по другим методам геофизических исследований скважин, автор доказывает правильность предложенной методики.

Во второй части главы 2 рассмотрена технология цифрового моделирования скважины с использованием цифровой модели керна и результатов каротажей. Применение цифровой модели скважины позволяет анализировать трехмерное распределения петрофизических, насыщенных и фильтрационных параметров пластов. Приведен обоснованный пример для подтверждения надежности технологии цифрового моделирования скважины по сравнению с пористостью и проницаемостью, полученных по цифровой модели скважины и по анализу керна традиционным способом и ядерно-магнитному каротажу.

Глава 3 посвящена влиянию проникновения фильтрата бурового раствора, анизотропии и наклона пластов на данные многозондового бокового каротажа (МнБК) и взаимосвязи между структурой порового пространства и спектром пористости стенок скважины. Отмечен ряд факторов, влияющих на кривые кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС), полученных по МнБК. Исследует изменение степени разделения кривых УЭС в зависимости от радиуса проникновения, коэффициента анизотропии и угла падения. На этой основе предлагает алгоритм быстрой 3D инверсии распределения УЭС горных пород с использованием метода Левенберга – Марквардта. Результаты численного моделирования, проведенного на 24-слойной геологической модели Оклахомы, показывают, что при незначительной анизотропии алгоритм

быстрой 3D инверсии позволяет эффективно определить удельное электрическое сопротивление неизменной части пласта, УЭС и радиус зоны проникновения, коэффициент анизотропии и угол падения пластов.

Диссертант выполнил практическую проверку алгоритм инверсии. Восстановленные кривые УЭС по алгоритму инверсии удовлетворительно совпадают с измеренными кривыми по прибору МнБК, а значения продольного и поперечного удельного электрического сопротивления соответствуют данным эксперимента на керне.

Во второй части главы 3 диссертант рассматривает характеристики коллекторов с различной структурой пор в результате эксперимента по закачке ртути в керн на T2-спектре времени поперечной релаксации ядерно-магнитного резонанса и на спектре пористости. Предлагает использовать оценочный индекс структуры пор для описания характеристик пластов на спектре пористости, чтобы количественно оценить фильтрационно-емкостные свойства коллекторов. В качестве примера подтверждения методики автор сравнивает оценочный индекс и спектр пористости с данными эксперимента по закачке ртути в керн и ядерно-магнитному каротажу. На рис. 3.17 результаты интерпретации по оценочному индексу и спектру пористости согласуются с пористостью по эксперименту на керне T2-спектром и проницаемостью по ЯМР каротажу, что свидетельствует о надежности предложенного оценочного индекса структуры пор.

Несомненной научной новизной характеризуется глава 4, в которой диссертант развивает адаптивную методику интерпретации данных гамма - гамма цементометрии (ГГЦ), предложенную профессором Д.А. Кожевниковым, и разрабатывает свою программу моделирования GGCM, представленную в разделе 4.1, которая создается на основе натурального прибора ГГЦ и метода Монте-Карло. Программа состоит из 7 функциональных блоков: «Материалы», «Геометрия», «Физические процессы», «Инициализация гамма-кванта», «Управление и отслеживание процесса», «Запись и хранение результатов» и «Чтение и анализ данных», используется для исследования процесса распространения и взаимодействия гамма-квантов в обсаженной скважине. В качестве иллюстрации на рисунках 4.2 – 4.7 диссертант приводит 2D и 3D модель прибора и обсаженной скважины, структуру программы и пример визуализации результата моделирования.

В разделе 4.2 приведены результаты моделирования гамма-гамма

цементометрии, в том числе энергетические спектры, распределение количества гамма-квантов, достигающих ближнего и дальнего детекторов по максимальному радиусу проникновения и по максимальной массовой толщине в зависимости гамма-счета от различных параметров на моделях с разными структурами и параметрами. Изменение энергетических спектров и скорости счета детекторов в зависимости от плотности цемента, толщины обсадной колонны и эксцентриситета колонны совпадает с теоретическими положениями и результатами других исследователей. Однако неясно, было ли смоделировано и исследовано влияние эксцентриситета прибора в колонне на спектры и скорость счета детекторов? Это важно для корректировки полевых данных, когда прибор не отцентрирован в колонне.

В разделе 4.3 рассматриваются сложности применения адаптивной методики при интерпретации данных ГГЦ в связи с тем, что характерные параметры измерительной системы должны определяться экспериментально для каждого прибора. Диссертант предлагает объединить технологию 3D-моделирования, метод Монте-Карло и гамма-гамма цементометрия, а также разработать численный алгоритм с использованием метода Гаусса-Ньютона для определения характерных параметров на основе смоделированных данных. Численный алгоритм представлен в виде формулы.

### **Замечания**

1. По мнению оппонента лучшим вариантом является использование метода Левенберга – Марквардта для создания численного алгоритма, позволяющего избежать проблему несходимости результатов, вызванную выбранными начальными значениями итераций. Результаты решения обратной задачи, выполненного на основе смоделированных данных, указывают на то, что предложенный алгоритм можно использовать для определения плотности цемента при центрированной и эксцентричной колонне в скважине при незначительной погрешности.
2. В редакционном плане текст диссертации выверен несколько небрежно. Текст содержит ряд лексических и стилистических ошибок, местами нарушена орфография.
3. В формуле (2.14) для выражения связи между комплексной относительной диэлектрической проницаемостью воды, температурой и частотой, отсутствует описание параметра  $\alpha$ .
4. В описании к рисунку 2.8, иллюстрирующему надежность применения

предложенной методики для оценки водонасыщенности сланцевого коллектора, не указаны значение и источник данных на треке 10.

5. В конце раздела 3.1 при описании вывода моделирования о том, что радиус проникновения фильтрата бурового раствора оказывает большее влияние на коэффициент разделения кривых УЭС, коэффициент анизотропии и угол падения пластов, то следовало указать предварительное условие, что удельное электрическое сопротивление неизменной части пласта предусматривается в два раза больше УЭС зоны проникновения.

Отмеченные замечания не затрагивают существа основных научных положений, используемого математического аппарата, методических приемов и алгоритмов, а также полученных автором результатов моделирования и интерпретации полевых данных каротажа. Работа представляется достаточно масштабной, многоплановой и содержательной.

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы и неоднократно докладывались автором на научных конференциях и семинарах. Научная новизна защищаемых положений, достоверность и обоснованность выводов диссертационной работы могут считаться доказанными. Диссертантом созданы алгоритмы интерпретации данных ГИС, уменьшающие влияния различных факторов на оценку фильтрационно-емкостных свойств, и прикладная компьютерная программа моделирования GGCM, используемая для исследования физических процесса ГГЦ и определения характерных свойств системы.

В целом, диссертационная работа Се Минцзюнь представляет собой завершенное инновационное исследование, направленное на разработку методов моделирования и интерпретации результатов электрического, электромагнитного полей и поля гамма-излучения в скважинах, имеющих существенное значение для повышения точности и эффективности геофизических исследований скважин в нефтегазовой отрасли.

Автореферат и научные публикации автора отражают основное содержание диссертационной работы.

Считаю, что представленная диссертация 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), соответствует Паспорту специальности 1.6.9 «Геофизика» по пунктам 14, 16,

18, а ее автор Се Минцзюнь заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 «Геофизика».

**Официальный оппонент:**

директор по науке ООО "Научно-производственное предприятие ЭНЕРГИЯ", доктор технических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

*[Handwritten signature]*  
Черменский Владимир Германович

Общество с ограниченной ответственностью  
"Научно-производственное предприятие ЭНЕРГИЯ"  
Адрес: 170007, г. Тверь, Затверецкий бульвар, дом 35  
Тел.: +7 910 647 43 41  
эл. почта: cherm62@mail.ru

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

*[Handwritten signature]*  
В.Г. Черменский

«13» ноября 2023 г.

Подпись В.Г. Черменского удостоверяю:

*Зам. главного бухгалтера уф  
подписала и ксерковала*



*Ч.М.О.*

*13.11.2023*