

Результаты исследований и работ ученых и конструкторов

УДК 550.832.582

А. С. Зеленов, Ю. Л. Иванов
ООО "Нефтегазгеофизика"

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Описан механизм влияния градиента магнитного поля на результаты измерений методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Приведен способ введения поправки в спектры времен поперечной релаксации на неоднородность магнитного поля (поправка на диффузию) при известном характере насыщения. Рассмотрены результаты применения предлагаемой поправки на модельных спектрах. Проведена оценка работоспособности методики на образцах керна с использованием данных, полученных на ЯМР-релаксометре Экспо-Керн.

Ключевые слова: петрофизика, каротаж, ядерный магнитный резонанс, диффузия, магнитное поле, моделирование, релаксометр.

В последнее время в практике геофизических исследований все большее распространение получают методы, основанные на использовании эффекта ядерного магнитного резонанса для получения информации о строении и характере насыщения горных пород. Эти методы действительно являются одними из наиболее информативных

в современном комплексе геофизических исследований и позволяют получить информацию о распределении пористости по размерам пор, что в свою очередь дает возможность оценить такие петрофизические характеристики, как пористость, проницаемость, параметр пористости и т. п. [1, 2]. С каждым годом появляется все большее количество ЯМР-аппаратуры с различными характеристиками. Для получения корректных и сравнимых между собой результатов необходимо правильно учитывать как условия, в которых проводились измерения, так и характеристики используемой при измерениях аппаратуры. В данной статье рассматривается влияние градиента магнитного поля на результаты измерений методом ядерного магнитного резонанса.

Метод ЯМР основан на наблюдении эффектов, вызванных взаимодействием ядер водорода друг с другом и с окружающими их частицами. Исследуемые объекты помещаются в достаточно сильное магнитное поле, на которое затем воздействуют радиоимпульсом высокой частоты, после чего регистрируют сигналы спин-эхо. При проведении как скважинных, так и лабораторных измерений в сильных магнитных полях используется импульсная последовательность Карра–Парселла–Мейбум–Гилла (КПМГ), состоящая из одного 90° импульса и следующих за ним 180° импульсов с интервалом TE . Результатом измерения является релаксационная кривая, которая затем преобразуется в спектр времен поперечной релаксации.

Преобразование релаксационной кривой в спектр, которое также часто называют инверсией, сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода:

$$\int_{T_{2\min}}^{T_{2\max}} B(T_2) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} dT_2 = A(t), \quad (1)$$

то есть к нахождению распределения $B(T_2)$. Здесь $A(t)$ – сигнал ЯМР-релаксации; t – время; $T_{2\min}$ и $T_{2\max}$ – соответственно минимальное и максимальное время поперечной релаксации. Это уравнение относится к классу некорректно поставленных задач. Некорректно поставленные задачи – это задачи, решения которых неустойчивы к малым изменениям исходных данных. Они характеризуются тем, что сколь угодно малые изменения исходных данных могут приводить к произвольно большим изменениям решений. Для решения подобных уравнений используется метод регуляризации А. Н. Тихонова, специально раз-

