

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Камнев Я.К., Кожевников Н.О., Стефаненко С.М.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

В работе обсуждаются проблемы, которые возникают при лабораторных измерениях магнитной вязкости геологических сред во временной области, а так же некоторые пути их решения.

Ключевые слова: индукционные переходные характеристики, магнитная вязкость, суперпарамагнетизм.

В статье рассматриваются эффекты магнитной вязкости, связанные с релаксацией намагниченности однодоменных частиц ферромагнитных минералов. Если однодоменная частица мала, или температура велика, её магнитный момент испытывает тепловые флуктуации. Под действием внешнего магнитного поля частицы пытаются выстроиться по его направлению. После выключения магнитного поля в результате тепловых флуктуаций приобретённая намагниченность J спадает по экспоненциальному закону: $J(t) = J_0 \exp(-t/\tau)$. Здесь J_0 – намагниченность в момент выключения внешнего поля, t – время после выключения поля, τ – постоянная времени релаксации намагниченности: $\tau = \tau_0 \exp(KV/kT)$, где K – постоянная магнитной анизотропии, V – объём частицы, T – температура, k – постоянная Больцмана, $\tau_0 = 10^{-9}$ с.

Обычно, в геологических средах присутствуют однодоменные частицы разного размера, поэтому процесс их намагничивания характеризуется спектром времен релаксации. Во многих случаях можно принять, что логарифмы времен релаксации распределены равномерно. Для такого распределения намагниченность ансамбля частиц при ступенчатом изменении магнитного поля изменяется пропорционально логарифму времени [1].

В геофизике магнитная вязкость рассматривается преимущественно как помеха, осложняющая измерения. Так, в палеомагнетизме выявление и устранение вязкой намагниченности является важной частью исследований. После появления в начале восьмидесятых годов прошлого столетия высокочувствительной аппаратуры для работ методом переходных процессов (МПП) эффекты магнитной вязкости отмечаются и в *импульсной индуктивной электроразведке*. И здесь в большинстве случаев магнитную вязкость рассматривают как нежелательный фактор, препятствующий интерпретации данных МПП в терминах электропроводности. С другой стороны, в последние 10 – 15 лет появились работы, где показано, что изучение магнитной вязкости геологических сред может найти применение при решении разнообразных геологических задач [2]. В этой связи исследования, ориентированные на изучение магнитной вязкости, представляют большой интерес.

В настоящее время лабораторные измерения магнитной вязкости проводятся преимущественно в частотной области, однако при работе во временной области есть преимущества, например, нечувствительность к постоянной компоненте магнитной восприимчивости, широкий спектр измеряемых сигналов и др. Поэтому, методика измерений во временной области может стать полезным инструментом при исследовании магнитной вязкости. В настоящей работе обсуждаются некоторые проблемы методики измерения магнитной вязкости во временной области, а так же пути их решения.

Для исследования магнитной вязкости в лабораторных условиях логично использовать уже имеющуюся аппаратуру для электроразведочных работ методом переходных процессов. При этом вместо приёмной и генераторной петель следует использовать систему, включающую генераторную катушку, которая создаёт магнитный поток через образец, и приёмную катушку, плотно облегающую его для достижения максимального потокосцепления.

Авторами первые измерения магнитной вязкости в лабораторных условиях проводились на образцах керна базальтов, магнитная вязкость которых подтверждена петромагнитными методами. Из керна были изготовлены цилиндрические образцы большого размера, содержащие значительное количество суперпарамагнитных частиц. Для измерений были изготовлены специальные катушки, с двумя обмотками (генераторной и приёмной), плотно облегающие образец и разделённые перегородкой. Для измерения использовались две катушки. В первую вставлялся образец, а приёмная

обмотка второй (пустой) катушки включалась встречно с обмоткой первой катушки, что позволяло уменьшить шумы, наводимые на измерительную систему извне. В большинстве случаев ЭДС U в измерительной катушке, приведенная к току I в генераторной, описывались степенной зависимостью $U/I=At^x$ (t – время, A – амплитуда переходной характеристики, $x \approx 1$).

Первые результаты продемонстрировали эффективность методики, однако вместе с тем выявили и некоторые проблемы. Во-первых, система многовитковых катушек, расположенных рядом друг с другом имеет длительный собственный переходный процесс. С одной стороны, переходный процесс измерительной системы длительностью 1 мс не критичен при изучении переходных характеристик большинства образцов, однако сигнал слабых образцов падал до шумов уже при $t > 2\text{ мс}$. Предполагалось, что уменьшение длительности собственного переходного процесса измерительной системы позволит выполнить измерения на ранних временах, где значения ЭДС образца выше. Проблема особенно актуальна при измерении переходных характеристик небольших образцов кубической формы, которые являются стандартными при палеомагнитных исследованиях. Нами для работы с кубическими образцами была изготовленная специальная катушка, которая, как и первая, плотно облегла образец для максимального потокосцепления. Однако переходный процесс большинства образцов уже на ранних временах был едва различим на фоне шумов. Попытки уменьшить длительность собственного переходного процесса путём разнесения генераторной и измерительной обмоток не дали результатов, так как вместе с уменьшением связи между обмотками, уменьшалась связь измерительной системы с образцом. Можно было ожидать, что увеличение силы тока в генераторной обмотке приведет к возрастанию намагниченности, приобретаемой образцом за время действия токового импульса, и, тем самым, амплитуды сигнала. С другой стороны, влияние шумов можно снизить путем накопления реализаций переходного процесса, тем самым уменьшив амплитуду шумов в $n^{1/2}$ раз, где n – число реализаций. Все эти меры приводят к нагреванию образца во время измерения и дрейфу сигнала. (Как показали измерения в частотной области, изменение температуры образца всего на несколько градусов приводит к ощутимым изменениям его магнитной восприимчивости).

На основе проведённых исследований предложена новая катушечная система. Приёмная катушка, как и раньше, плотно облегла образец и находится внутри генераторной катушки большего размера. Обе катушки устанавливаются на подставку, при этом воздух циркулирует в пространстве между катушками и не успевает нагреваться. Это позволило увеличить магнитный поток через образец и количество накапливаемых измерений, уменьшив нагревание образца. Ещё одно решение заключается в шунтировании генераторной обмотки сопротивлением порядка $100\ \text{Ом}$ [3]. Хотя измерительная система с таким шунтом имеет довольно длительный собственный переходный процесс, она эффективно подавляет высокочастотные помехи. В импульсной индуктивной электроразведке применение таких шунтов нежелательно, поскольку измерение собственного переходного процесса измерительной системы в полевых условиях и его последующий учёт при интерпретации могут представлять проблему, которую не всегда удастся решить. Однако в лабораторных условиях можно легко измерить собственный отклик катушечной системы, после чего вычестить его из суммарной переходной характеристики.

Перечисленные улучшения методики измерения магнитной вязкости в лабораторных условиях позволили повысить чувствительность и эффективно выделять из измеряемых данных переходный процесс, связанный с релаксацией намагниченности суперпарамагнитных частиц. Даже для слабомагнитных образцов при последующей обработке удаётся выделить полезный сигнал, уровень которого намного меньше по сравнению с собственным откликом измерительной системы (рис.1).

Использование высокоомного ($800\ \text{Ом}$) шунта и малого ($\approx 0,4\ \text{А}$) тока в генераторной обмотке позволило уменьшить длительность собственного переходного процесса измерительной системы до нескольких десятков микросекунд. Благодаря этому удалось изучить переходные процессы некоторых сильномагнитных образцов во временном интервале от $100\ \mu\text{с}$ до $1\ \text{мс}$ [3]. Результаты измерений оказались несколько неожиданными: сигнал, порождаемый релаксацией намагниченности, не удается описать одной степенной функцией на всем временном интервале. Приемлемая аппроксимация возможна, если ее проводить на трех временных интервалах. При этом на каждом интервале для аппроксимации используется своя степенная функция. Эти результаты, которые свидетельствуют об отклонении распределения размеров суперпарамагнитных частиц от стандартной модели, могут найти применение в магнитной гранулометрии однодоменных частиц.

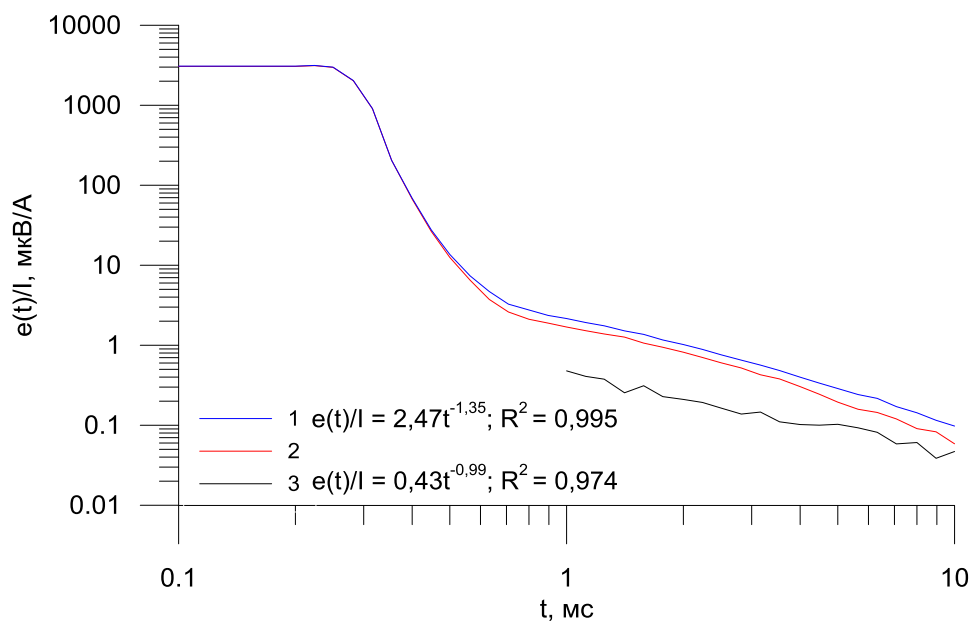


Рис.1. Индукционные переходные характеристики. 1 – суммарная; 2 – измерительной системы; 3 – образца.

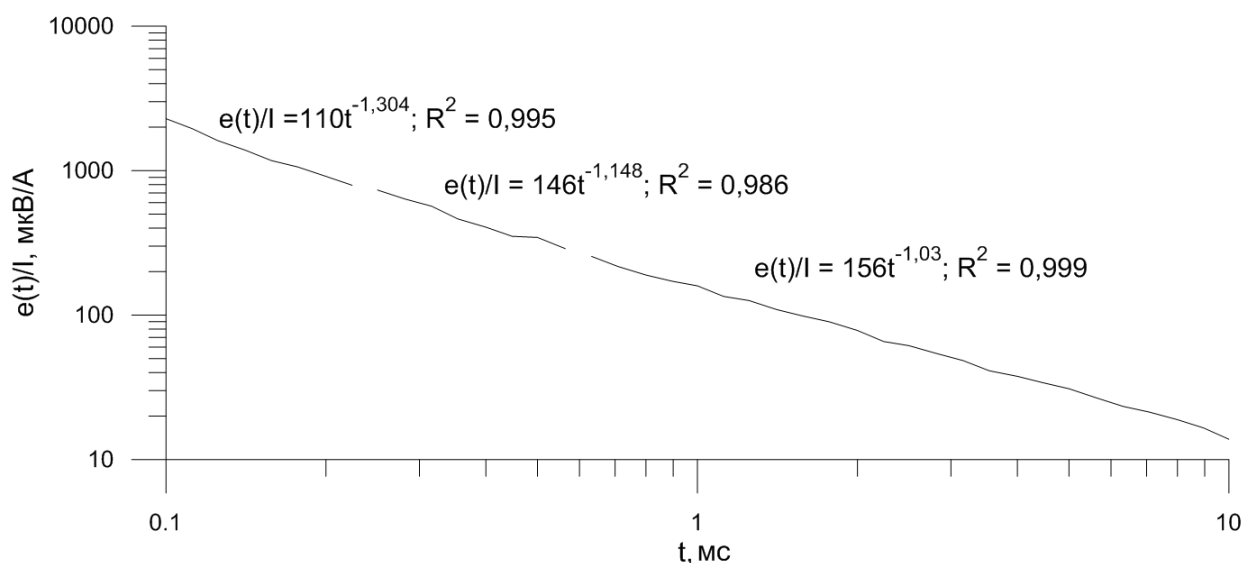


Рис.2. Переходная характеристика сильномагнитного образца. На каждом участке графика для аппроксимации переходной характеристики используется своя степенная функция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трухин В.И. Введение в магнетизм горных пород. М.: МГУ, 1973, 272 с.
2. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю., Матасова Г.Г., Камнев Я.К. Метод переходных процессов при изучении геологических сред с магнитной вязкостью // Геофизический журнал, №4, Т.34, 2012, с. 137 – 149.
3. Камнев Я.К., Кожевников Н.О., Стефаненко С.М. Измерение магнитной вязкости во временной области лабораторной индукционной установкой // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2013. IX Междунар. Научн. конгр., 15 – 26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 3 т. Т.2. – Новосибирск: СГГА, 2013. – С. 197 – 202.