

120 необходимости повторять циклы обработки, начиная с решения прямой задачи для измененной модели экрана. Решение прямой и обратной задач на всех этапах сопровождается графической поддержкой. Одновременно может быть визуализировано до пяти вариантов расчета.

5. Архив

Для сбора, каталогизации и хранения поступающей информации в АСО МПП предусмотрен архив, выполненный на магнитной ленте. Организация архива файловая. Структурной единицей является пикет. Информация о пикете состоит из файла протокола обработки, файла исходных данных, файла промежуточных и конечных результатов. Данные обработки пикетов последовательно накапливаются в архиве. По результатам профильных или площадных измерений выделяются участки с аномальными значениями электромагнитного поля, обусловленного объектом поиска. Окончательный результат интерпретации площадного модуля представляется в виде планов изолиний и временных разрезов по заданным сечениям на ПТР, графопроектировщике или АППУ.

По своей универсальности АСО МПП способна заменить камеральную группу из четырех-пяти человек, задействованную на всех этапах прохождения обработки данных, за счет повышения оперативности и качества проведения работ, начиная от получения первичных данных до выдачи окончательного геофизического прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Под ред. Т.С.Хуанга. - М.: Радио и связь, 1984. - 320 с.
2. Исаев Г.А. Компенсационный вариант метода переходных процессов // Методика геофизических поисков и изучения глубоконегативных рудных месторождений Сибири. - Новосибирск, 1983. - С.71-81.
3. Полевые вычислительные системы обработки геофизической информации / А.С.Алексеев, Г.Ф.Верзаков, Б.М.Глинский и др. - Новосибирск, 1983. - 62 с. (Препринт ВЦ СО АН СССР: № 421).

А.Н. Захаркин, В.С. Могилатов, Н.В. Горошко

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ЗЭС, ПОЛУЧЕННЫХ НА АППАРАТУРЕ "ЦИКЛ-2"

В нефтепоисковых работах методом ЗЭС с аппаратурой "Цикл-2", которые широко ведутся на Сибирской платформе, за последние годы

было отмечено повышение культуры ведения геофизических работ, существенное улучшение качества полевых материалов, повышение глубины исследований. Этим были созданы определенные предпосылки совершенствования методов и форм анализа полевого материала, неотъемлемой частью которого является более широкое использование ЗЭМ на этапе первичной обработки.

В курируемых СНИИПТМСом организациях делались попытки адаптировать программы первичной обработки, созданные в других организациях, либо составить собственные. Однако эти попытки (за исключением, быть может, последней версии программы ПГО "Иркутскгеофизика") не отличались ни качеством обработки, ни идеями и точками зрения, лежащими в основе созданных алгоритмов. Обсуждение противоречий в идеях и точках зрения - предмет особого разговора, выходящего за рамки статьи, поэтому здесь мы опишем лишь структуру программы и используемые алгоритмы, раскрывая, где это необходимо, их особенности.

Описываемая программа, которая получила название "Цикл", ориентирована на установки "петля в петле" и "разнесенные петли". Программа предназначена для обработки полевого материала, получаемого на аппаратуре "Цикл-2" или (после простой перестройки шкалы времен) "Цикл-3", и должна учитывать определенные особенности обрабатываемого материала, из которых существенными для нас являются следующие.

1. Процесс становления (переходная характеристика разреза) регистрируется поинтервально, на двух, трех и более режимах регистрации, характеризуемых различными диапазонами времен регистрации. Существующие требования к методике измерений [2] предусматривают такое формирование режимов, чтобы между ними имели место уверенные перекрытия. Отметим, что регистрируемый на одном режиме участок переходной характеристики содержит 40 точек, а полная, т.е. объединенная переходная характеристика - до 60-80 точек.

2. Времена регистрации аппаратуры "Цикл-2" близки к равномерно-логарифмической шкале ($t_{i+1}/t_i = \sqrt{2}$), однако не равны ей в точности. Пренебрежение этим фактом может серьезно отразиться на качестве обработки.

3. Опыт эксплуатации аппаратуры "Цикл-2", анализ реальных погрешностей измерений показывает, что обработка, направленная на их подавление, должна опираться главным образом на нелинейные методы, позволяющие исключать как следствия действий импульсных помех, ощутимые при регистрации сигналов, соизмеримых по величине с входными шумоподобными помехами, так и аппаратные погрешности,

122 приуроченные к моментам автоматического переключения масштаба усиления. Последние могут составлять величину от единиц до десятков процентов при любых уровнях сигналов. Внутри режима появления такой погрешности, затрагивающее, как правило, одну точку кривой в области переключения, может возникнуть трижды, по числу возможных переключений. Отметим, что регистрируемый на одном режиме участок переходной характеристики содержит 40 точек.

Программа состоит из следующих блоков:

- входная редакция данных по каждому режиму регистрации;
- сшивка - формирование объединенной переходной характеристики разреза;
- выравнивание переходной характеристики;
- расчет интерпретируемых кривых.

Рассмотрим особенности построения алгоритмов в каждом блоке.

1. Входная редакция предназначена для выявления и исправления промахов и ошибок ввода, а также погрешностей импульсного характера. Фактическое значение ЭДС на каждом времени $\delta_{\Phi}(t_i)$ сравнивается с приближенно вычисленным через значения на соседних точках $\delta_{\Phi} = \sqrt{\delta_{\Phi}(t_{i-1}) \delta_{\Phi}(t_{i+1})}$. Исправлению (замене δ_{Φ} на δ_{Φ}) подлежит значение ЭДС на том времени, на котором модуль величины $\lg[\delta_{\Phi}(t_i)/\delta_{\Phi}(t_i)]$ принимает максимальное значение. Для каждого режима операция повторяется трижды.

2. Сшивка различных режимов осуществляется на основе анализа расхождений на перекрытии. При этом, если оперировать графическим языком и подразумевать логарифмические координаты, на участке перекрытия выбирается интервал, в пределах которого непараллельность кривых, принадлежащих разным режимам, минимальна. По этому участку определяется коэффициент расхождения, и предыдущий режим, умноженный на этот коэффициент, "пришивается" к последующему. Операция повторяется до тех пор, пока последующим не станет последний режим регистрации.

3. Выравнивание, или сглаживание, осуществляется методом "скользящего окна", содержащего нечетное число (от 3 до 15) точек, из которых исправлению подлежит лишь центральная (шаг смещения окна - одна точка). Крайние точки переходной характеристики также подвергаются обработке, т.е. длина массива не уменьшается.

Внутри скользящего интервала используется модифицированный метод наименьших квадратов, получивший название "метода нелинейной параболы" [3].

При выполнении операций выравнивания программа оперирует с 123 логарифмами значений ЭДС и времен. Такой подход обнаруживает ряд положительных признаков:

- при аппроксимации минимизируются абсолютные отклонения логарифмов ЭДС, т.е. относительные отклонения самих ЭДС, что хорошо согласуется с преимущественно относительным характером исходной погрешности;
- как показано в работе [1], исчезает "фоновая" кривизна анализируемых функциональных зависимостей, а оставшиеся отклонения от линейных зависимостей и являются объектами внимания. Если считать, что процесс становления тяготеет к степенной зависимости, то логарифмические координаты, в которых эта зависимость становится линейной, физически оправданы и наиболее естественны для конструирования приближений.

Следует заметить, что использование логарифмических координат допустимо при погрешности исходного материала, не превышающей 10-20 % [1].

Испытания различных вариантов сглаживания, выполненные на теоретических материалах, с введением различного вида погрешностей показали, что при использовании полинома второго порядка оптимальная длина скользящего интервала составляет 13 точек шкалы "Цикл-2", а процедуры сглаживания (внутренние - без сдвига окна и внешние - по всей кривой) можно повторить дважды. При этих условиях изменений формы теоретических кривых на уровне S_{Σ} графически не отмечается.

4. Расчет интерпретируемых кривых осуществляется по шитым и сглаженным переходным характеристикам. При этом на сетке исходных времен регистрации вычисляются следующие трансформанты и параметры:

- отклонения выровненных значений ЭДС от исходных;
- кажущееся сопротивление ρ_{Σ} на основе формул поздней стадии;
- логарифмическая производная кривой кажущегося сопротивления $d \lg \rho_{\Sigma} / d \lg \tau$;
- кажущаяся продольная проводимость S_{Σ} (дифференциальная), введенная по полной формуле;
- кажущаяся глубина $H_{\Sigma} = 0,75 m$;
- логарифмическая производная кажущейся проводимости $d \lg S_{\Sigma} / d \lg H_{\Sigma}$.

Из алгоритмов этого этапа обработки заслуживает внимания один, связанный с выполнением операций дифференцирования. Здесь, как и

124 в вопросах приближения и интерполяции, переход к логарифмическим координатам также оказался плодотворным.

Если производная вычисляется традиционным разностным методом, к которому фактически сводятся любые способы вычисления:

$$d\mathcal{E}_0/dt \approx (\mathcal{E}_{+1} - \mathcal{E}_{-1}) / (t_{+1} - t_{-1}),$$

то уже при длине базы $t_{+1}/t_{-1} \geq 0,2$ погрешность расчета может превышать 5 %.

Если тем же способом расчеты проводить с использованием логарифмов функции и аргумента, т.е. проводить их на основе одного из вариантов формулы

$$\frac{d\mathcal{E}}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{t} \frac{d \lg \mathcal{E}}{d \lg t} = \frac{\mathcal{E}}{2t} \left(5 + \frac{3 d \lg \rho_{\tau}}{2 d \lg \tau} \right),$$

то из-за отсутствия "фоновой кривизны" функций погрешность расчетов существенно снижается, что позволяет использовать большую базу (t_{+1}/t_{-1}) вычисления производной. Так, обработка теоретических материалов показывает, что максимальная погрешность \mathcal{E}' не превосходит 1,5 % при $t_{+1}/t_{-1} \leq \sqrt{2}$ и 5 % при $t_{+1}/t_{-1} \leq 2$ вместо соответственно десятков и сотен процентов при вычислении традиционным способом.

В программе используется база $t_{+1}/t_{-1} \approx \sqrt{2}$ (пять точек шкалы "Цикл-2"), что ощутимо снижает погрешности вычисления \mathcal{E}' , обусловленные погрешностями случайного характера в исходных значениях ЭДС. Это приводит к тому, что на каждый процент "шумовой" составляющей погрешности ЭДС наблюдается не более 2-3 % погрешности в S_{τ} .

Программа "Цикл" написана на ФОРТРАНе, отлаживалась на БЭСМ-6, затем адаптировалась для машин серии ЕС и для "Электроника-60".

Этап опытной эксплуатации программы успешно пройден в ЛГО "Енисейгеофизика".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаркин А.К. Временная дискретизация сигнала становления поля в нефтяной электроразведке/ См. статью в настоящем сборнике.

2. Методические рекомендации по электроразведочным работам методом ЗСБ с аппаратурой "Цикл-2"/ Сост. А.К. Захаркин. - Новосибирск, 1981. - 96 с.

3. Ремпель Г.Г. Выравнивание экспериментальных данных 125
нелинейным методом параболы// Изв. АН СССР. Сер.: Физика Земли. -
1974. - № 3. - С.85-90.

Г.Б. Ицкович, И.В. Еремина, В.В. Финогеев

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЗСБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО МАГНИТОМЕТРА „КРИОМ“

В данной статье описан пакет программ для обработки данных ЗСБ, позволяющий сглаживать экспериментальные данные, учитывать влияние низкочастотной теллурической помехи, производить расчет интерпретационных параметров и визуализировать геоэлектрический разрез.

Пакет производит трансформацию профильных данных ЗСБ в разрез кажущегося сопротивления, проводимости и глубины для вертикальной (H_z) и горизонтальной (H_r) компонент магнитного поля.

Язык программирования - ФОРТРАН, ЭВМ "БЭСМ-6", "Электроника-60".

1. Алгоритм сглаживания и учета низкочастотной теллурической помехи

Пусть в интервале времен T_1, T_2 проводятся измерения некоторого сигнала $H(t'_i)$ в моменты времени t'_i , образующие сетку Δ'_T :

$$\Delta'_T: T_1 \leq t'_0 < t'_1 < t'_2 < \dots < t'_n \leq T_2, \quad i = 0, 1, \dots, n_1.$$

Обычно значения $H(t'_i)$ измеряются с некоторой погрешностью. Поскольку очевиден гладкий характер переходных характеристик, то функция должна быть плавной на всем отрезке, в частности, чтобы она не имела резких изменений в промежутках между соседними измерениями. Такая постановка, естественно, приводит к сплайнам. Мы будем пользоваться кубическими В-сплайнами¹.

Пусть $h = (T_2 - T_1)/n$, а кубический многозвенник определен формулой

$$M(t) = h^{-3} [(t+2h)^3 - 4(t+h)^3 + 6t^3 - 4(t-h)^3 + (t-2h)^3].$$

Пусть $M_i(t) = \tilde{M}(t - T_1 - ih)$, $i = -1, 0, 1, \dots, n+1$.

¹ Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплайны в вычислительной математике. - М.: Наука, 1976.