

Модель вертикального контакта в учебном процессе по электроразведке Шевнин В.А. (Геологический факультет МГУ), Павлова А.М. (Геологический факультет МГУ)

Введение

При подготовке студентов – геофизиков в общем курсе электроразведки им кратко излагается ряд теоретических задач для разных методов. В некоторых случаях такие задачи могут быть изучены студентом более глубоко в ходе курсовой работы. Наиболее простые задачи электроразведки методом сопротивлений это задача о потенциале точечного источника вблизи вертикального контакта двух сред с разными сопротивлениями, вертикальные электрические зондирования над горизонтально-слоистой средой, и круговые наблюдения с некоторой установкой метода сопротивлений над однородным анизотропным полупространством, соответствующие трем основным моделям среды и методикам: горизонтально-слоистая среда и методика ВЭЗ, горизонтально неоднородная среда и методика профилирования, и анизотропная среда с методикой круговых измерений. Для этих задач может быть создан алгоритм расчета, написана компьютерная программа, выполнены вычисления и проведен анализ результатов. Программирование студенты либо знают со школы, либо дополнительно изучают в ВУЗах. Помня о том, что студент – геофизик не является программистом, при реализации компьютерной программы ему лишь нужно получить работоспособную программу, убедиться в правильности счета и сделать выдачу результатов удобной для последующего геофизического анализа, который должен составлять именно геофизическую смысловую часть работы. Выполнение такой работы, на мой взгляд, очень полезно для подготовки специалиста - электроразведчика.

Краткая теория

Формулы для расчета потенциала точечного источника вблизи вертикального просты и общеизвестны: (Заборовский, 1963; Хмелевской, 1984 и др.). Как известно, возможны три случая положения электродов АМ и вертикального контакта (Рис.1).

Случай 1 – оба электрода в среде 1 причем А слева от М

$$k_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \text{ коэффициент отражения}$$

$$U_1 = \frac{\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{R} + \frac{k_{12}}{R'} \right) \quad (1)$$

Случай 2 – электрод А слева в среде 1, электрод М справа в среде 2

$$U_2 = \frac{\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1 + k_{12}}{R} \right) \quad (2)$$

Случай 3 – оба электрода в среде 2 причем А слева от М

$$U_3 = \frac{\rho_2}{2\pi} \left(\frac{1}{R} - \frac{k_{12}}{R''} \right) \quad (3)$$

Кажущееся сопротивление для потенциал-установки АМ и геометрический коэффициент считаются по известным формулам:

$$\rho_k = K \frac{U}{J}, K = 2\pi R_{AM} \quad (4)$$

Работа с программой

Когда алгоритм запрограммирован и отлажен, можно развивать его для других установок. На мой взгляд, полезно получить решение для трехэлектродной и четырехэлектродной установки путем расчета потенциалов точечного источника и затем разности потенциалов и кажущегося

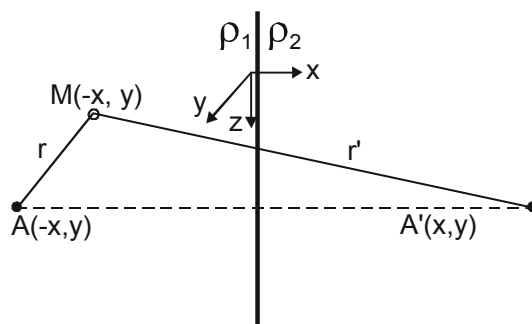


Рис.1. Метод отражений для модели с одной границей

сопротивления. Если отлажен алгоритм для потенциала точечного источника, то его просто нужно использовать несколько раз, используя свойство суперпозиции потенциалов.

$$\Delta U_{MN} = U_{AM} + U_{AN} + U_{BM} + U_{BN} \quad (5)$$

Задача электропрофилирования через вертикальный контакт

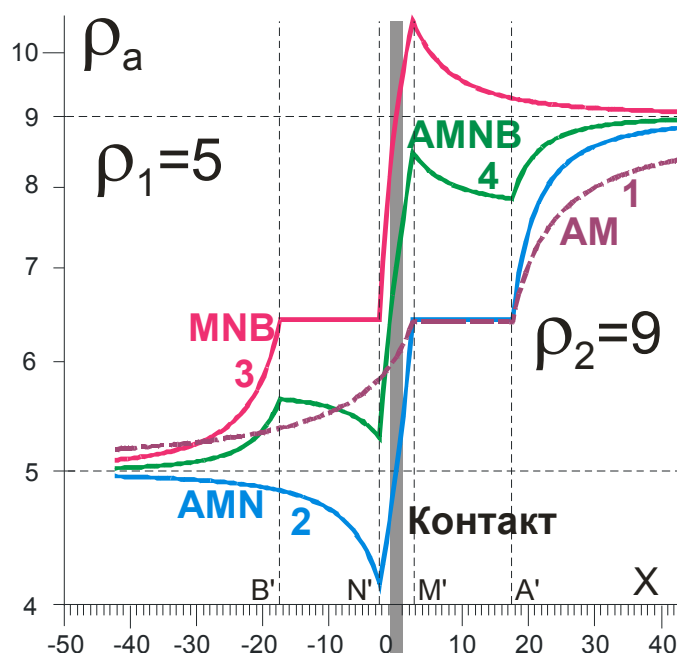


Рис.2. Графики электропрофилирования над вертикальным контактом с разными установками.

Расчеты для установок AMN и MNB можно проверить, меняя сопротивления слева и справа от контакта. Можно получить решение для симметричной четырехэлектродной установки либо как комбинацию четырех потенциалов от двух точечных источников, либо как полусумму двух трехэлектродных установок. Сопоставляя графики ЭП для потенциал установки AM и градиент – установки AMN видим непрерывность потенциала и разрывность разности потенциалов (нормальной компоненты электрического поля) (Рис.2).

Попутно усваивается вопрос о точке записи для разных установок.

Этот же алгоритм, когда он отлажен, может быть использован для расчета еще нескольких ситуаций, представляющих интерес.

Задача зондирования вблизи вертикального контакта с установкой ориентированной параллельно контакту и с измерением двух составляющих (ВЭЗ-МДС).

Хотя центр установки зондирования находится над однородной средой, при выполнении зондирования все больше влияет среда, расположенная по другую сторону контакта, и кривые ВЭЗ по внешнему виду оказываются похожи на двухслойные (Рис.3). Приведены результаты расчета 12 кривых ВЭЗ, для шести точек слева и 6 справа от контакта с постоянным шагом по профилю вкрест контакта для установки вдоль контакта.

Этот расчет дает возможность почувствовать ограниченность модели горизонтально-слоистой среды для методики ВЭЗ, задуматься о развитии как методики наблюдений, так и усложнении модели среды. В частности, ощутить

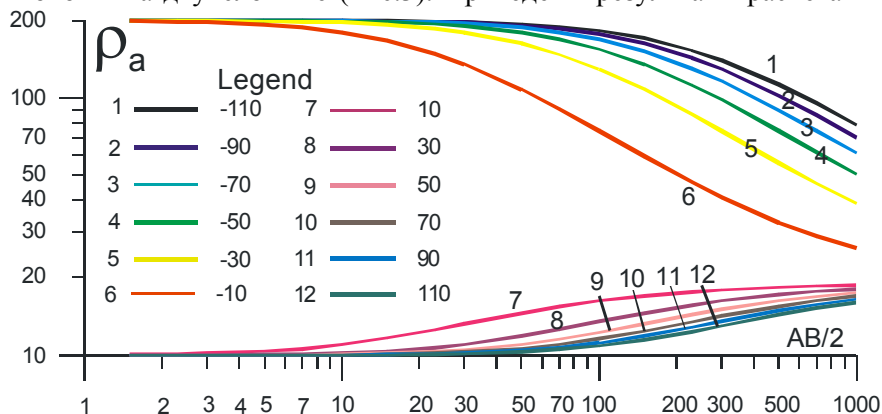


Рис.3. Кривые ВЭЗ для параллельной установки на разных расстояниях от контакта.

потребность в переходе к двумерным алгоритмам интерпретации (или инверсии).

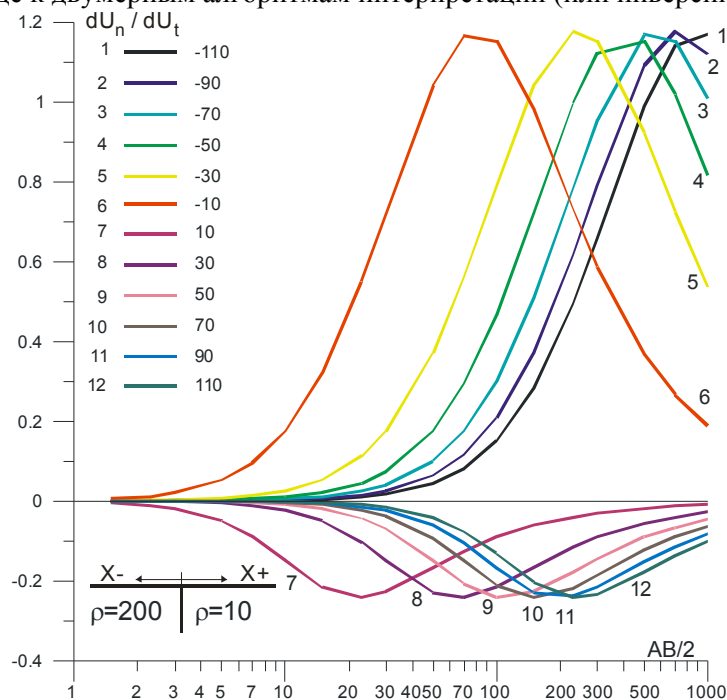


Рис. 4. Графики азимутальной составляющей для точек ВЭЗ с рис.3.

В России с шестидесятых годов известен так называемый метод двух составляющих, предложенный А.Н.Боголюбовым (Руководство..., 1984). В этом методе измеряются две взаимно перпендикулярные компоненты электрического поля – радиальная и азимутальная. Первая позволяет рассчитывать кажущееся сопротивление в ВЭЗ или ЭП, а вторая – видеть влияние горизонтальных неоднородностей сбоку или под углом к установке.

В том случае, когда установка находится в среде повышенного сопротивлений вблизи контакта с более проводящей средой и параллельно ему, азимутальная компонента будет положительна. Для установки в проводящей среде вблизи контакта со средой повышенного сопротивления азимутальная компонента будет отрицательной (Рис.4).

Часто в литературе методику измерения двух взаимно-перпендикулярных компонент электрического поля называют векторной съемкой (А.С.Семенов, В.А.Комаров, М.В.Семенов, И.Н.Модин и др.). Это достаточно частый случай, когда одно и то же понятие или явление и соответствующую методику измерений называют по-разному.

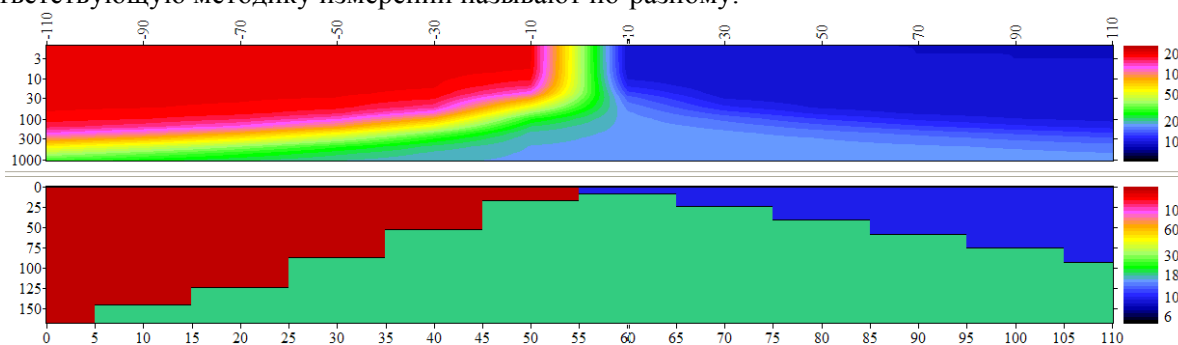


Рис.5. Разрез кажущихся сопротивлений (вверху) и геоэлектрический разрез (внизу) по 1D интерпретации продольных кривых ВЭЗ вблизи вертикального контакта.

На рис.5 показан вид псевдоразреза кажущегося сопротивления и геоэлектрического разреза после 1D интерпретации. Модель разреза состоит из трех тел. Интересно отметить, что сопротивление "основания" на рис.5 на больших разносах примерно равно 20 Ом.м и не равно ни ρ_1 ни ρ_2 модели вертикального контакта. Сопротивление первого слоя слева равно 200 Ом.м, а справа 10 Ом.м. Форма границы не похожа на вертикальный контакт.

Задача о круговых наблюдениях вблизи вертикального контакта

Методика круговых измерений придумана главным образом для изучения анизотропных сред. Но анизотропия слабый эффект и в присутствии неоднородностей может не проявиться, или наоборот, влияние неоднородности может быть принято за проявление анизотропии. Примеров такого рода в литературе довольно много. К.Ватсон (Watson and Barker, 1999) заключила, что 80% случаев анизотропии, описанных в публикациях, скорее всего, являются проявлениями неоднородности.

Вертикальный контакт здесь $\rho=10$

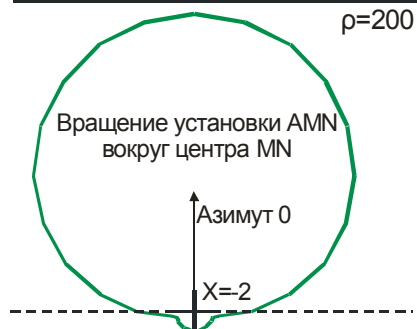


Рис. 7. Круговая диаграмма для AMN в точке $X=-2$.

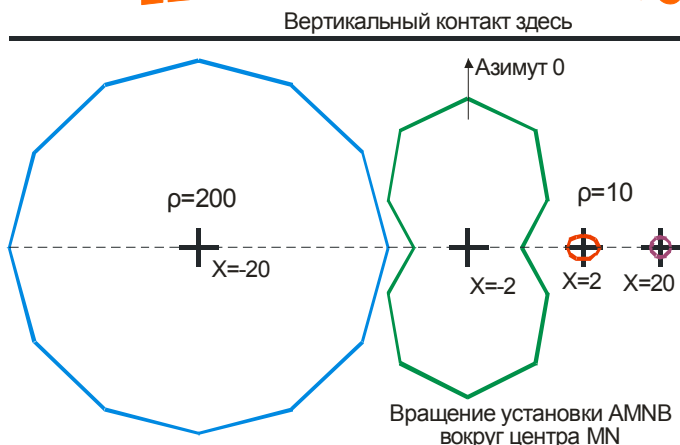


Рис. 6. Четыре круговые диаграммы кажущегося сопротивления для установки AMNB, вращаемой вокруг центра MN в точках -20, -2, 2, 20. Разнос 10 м.

Используя алгоритм расчета кажущегося сопротивления вблизи вертикального контакта можно рассчитать круговые диаграммы. Пример таких диаграмм приведен на Рис.6. Центр диаграммы обозначен крестом. Если взять симметричную установку AMNB и вращать ее относительно центра MN, то диаграмма будет симметричной и отличить ее от анизотропной среды непросто. Отношение $O/E=0$, т.е. на спектральном уровне эта диаграмма неотличима от анизотропной (когда $O/E<1$).

При вращении же установки AMN вокруг MN явно видна асимметрия диаграммы (Рис.7), то есть это будет диаграмма не для анизотропной среды, а именно для неоднородной. Отношение $O/E=15$ (когда $O/E>1$ преобладает неоднородность)

Некоторые принципы выполнения студентами задачи на программирование (рекомендации)

1. Программа читает из файла с фиксированным именем и пишет в файл с фиксированным именем.
2. Программа не рисует результаты, это задача специализированных программ типа Grapher и Surfer.
3. Считаются потенциалы точечного источника, из которых рассчитывается разность потенциалов, кажущееся сопротивление и др.
4. Если студент чувствует свою силу, он может усложнять программу, включать в нее графику, диалог. Но задача-минимум состоит в том, чтобы программа правильно считала, и получить расчет для последующего геофизического анализа. Именно геофизический анализ является главным.

Выводы

Целью данного сообщения является показ возможностей изучения в учебном процессе самой простой модели в электроразведке методом сопротивлений для неоднородных сред – вертикального контакта. Если студенту удалось создать работающую программу для потенциала точечного источника вблизи вертикального контакта, то успех можно развивать в нескольких направлениях: для методики профилирования разными установками, зондирования, азимутальных наблюдений, сравнения радиальной и азимутальной компонент (ВЭЗ - МДС, ЭП – МДС). Это все действующие практические методики и их изучение полезно с методической точки зрения и несложно для программирования. Лучше начать с простой задачи, успешно с ней справиться и почувствовать веру в свои силы, чем взяться за сложную проблему и не решить ее. Автор неоднократно наблюдал, как студенты, выполнив учебную задачу на программирование, развивали свой успех, проводили серьезные научные исследования или создавали коммерческие продукты.

Литература

- Заборовский А. И. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963. С.115-123.
 Руководство по интерпретации кривых ВЭЗ МДС. М., Стройиздат. 1984. (Боголюбов А.Н., Боголюбова Н.П., Мозганова Е.А.). 200 с.
 Хмелевской В.К. Электроразведка. М. Изд-во МГУ, 1984. С. 206-207.

Watson K.A., Barker R.D. Differentiating anisotropy and lateral effects using azimuthal resistivity offset Wenner soundings. Geophysics 64 (3): 739-745 May-June 1999.