УДК 550.3 : 622.02 (075.8)

К. Л. Дудко, А. И. Шиканов

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОФИЛЯ НА КАЖУЩЕЕСЯ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРОД

В геологическом отношении железорудные месторождения Сибири имеют много общего [1]. Углы падения рудных тел составляют, как правило, 70-90^0. Вмещающая толща сложена крутопадающими массивами скарна, сланцев, известняков, порфирита, сиенита и др. При этом массивы характеризуются дизъюнктивными тектоническими нарушениями, высокой трещиноватостью. Трещинная тектоника ориентирована в основном в меридиональном направлении.

Применяемое на рудниках для прогноза горных ударов электропрофилирование проводится в выработках, ориентированных горизонтально. При проведении электропрофилирования с контура горных выработок линия профиля может пересекать границы различных по составу слоев пород, плоскости нарушений и крупных трещин. Поэтому источник поля, линия наблюдений и поверхности раздела могут занимать различные положения в пространстве.

В работе [2] рассмотрена задача влияния вертикального плоского контакта двух сред с удельными электросопротивлениями (УЭС) ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$) на параметры поля точечного источника. Получены формулы для расчета кажущегося удельного электросопротивления (КУЭС) вдоль профиля.

Результаты расчетов по этим формулам приведены на рис.1, 2.

Результаты расчетов показывают, что контакт двух сред существенно влияет на распределение КУЭС по профилю измерений. Отражение тока от границ вносит существенный вклад в величины КУЭС, отклоняя их значения от истинного УЭС тем больше, чем больше коэффициент отражения тока.

В работе [2] также рассмотрена модель неоднородной среды, представляющей полупространство из нескольких крутопадающих пластов с плоскими границами.

Если расстояние между границами превышает размеры измерительной установки, то задача сводится к выделению одиночных контактов. Иначе

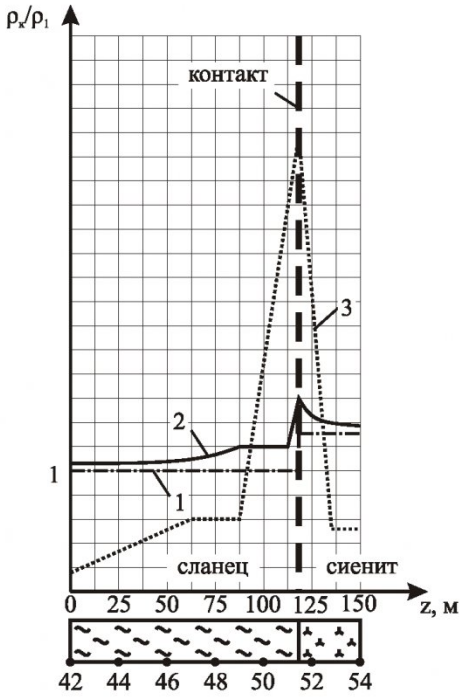

Рис. 1 Распределение КУЭС над контактом сланцев и сиенита
1 – модель удельных сопротивлений (ρ_2/ρ_1);
2 – теоретический график КУЭС;
3 – измеренные значения КУЭС; 42-54 – номер пикета

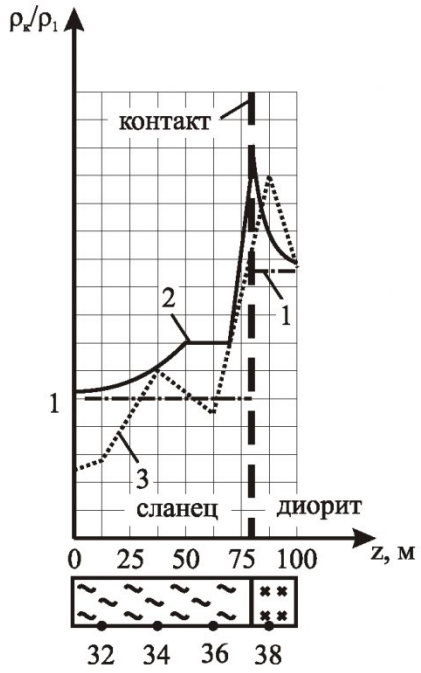

Рис. 2 Распределение КУЭС над контактом сланцев и диорита
1 – модель удельных сопротивлений (ρ_2/ρ_1);
2 – теоретический график КУЭС; 3 – измеренные значения КУЭС; 32-38 – номер пикета

необходимо учитывать экранирующее влияние соседних пластов.

Для случая, когда крайние пласты имеют неограниченную мощность, получены следующие выражения для потенциальных функций U_i и градиентов потенциала $\partial U_i/\partial z$ в каждом слое:

$$U_i(r,z)=\int_0^\infty (a_i e^{-mz}+b_i e^{mz})I_0(mr)dm \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial z}=-\int_0^\infty (a_i m e^{-mz}+b_i m e^{mz})I_0(mr)dm \quad (2)$$

где $I_0(mr)$ - функция Бесселя нулевого порядка первого рода; m – переменная интегрирования, имеющая смысл частоты повторяемости цилиндрической функции на единицу длины; a_i, b_i - постоянные коэффициенты $(i=1,2,...5)$.

В виду неограниченности первого и пятого слоев коэффициенты $a_1=I\rho_1/4\pi$ и $b_5=0$. Остальные коэффициенты можно найти с помощью граничных условий, предусматривающих равенство потенциалов и нормальных составляющих плотности тока на границах раздела сред.

Решив систему уравнений для выбранного варианта и определив соответствующие коэффициенты a_i, b_i, получаем выражения для вычисления потенциалов и их градиентов во всех пластах. Полученные выражения представляют собой несобственные интегралы, содержащие функции Бесселя: Применительно к геоэлектрике существует несколько алгоритмов вычисления таких интегралов.

При их вычислении получается функциональ-

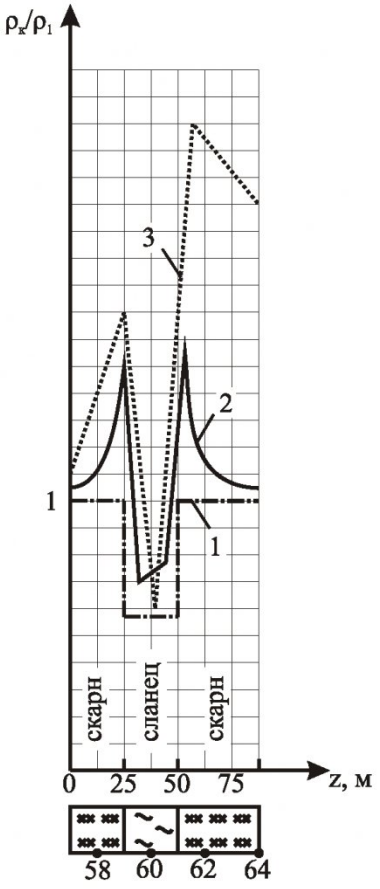

Рис.3. Распределение КУЭС над пластом из сланца

1 – модель удельных сопротивлений (ρ_2/ρ_1);
2 – теоретический график КУЭС;
3 – измеренные значения КУЭС;
58-64 – номер пикета

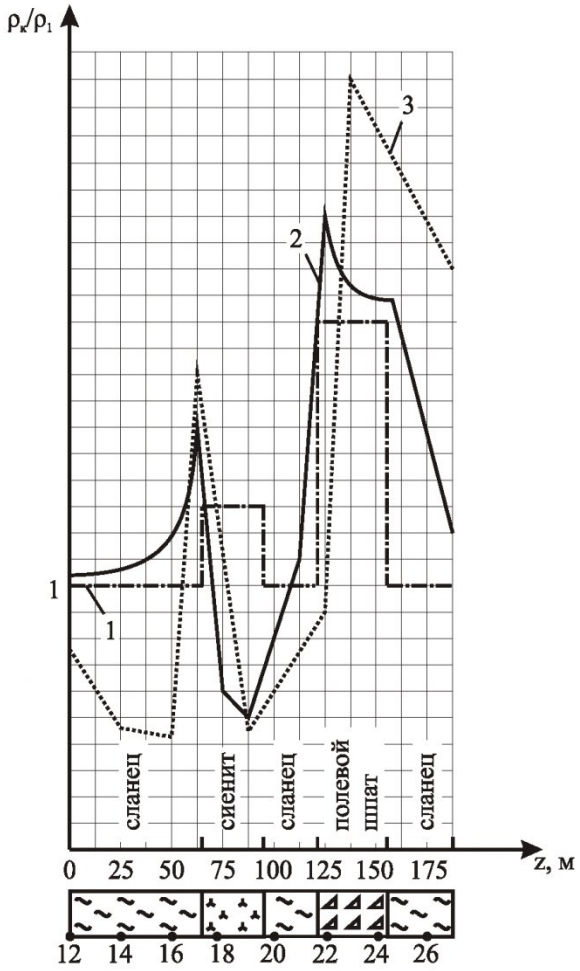

Рис.4. Распределение КУЭС над сближенными пластами из сиенита и полевого шпата

1 – модель удельных сопротивлений (ρ_2/ρ_1);
2 – теоретический график КУЭС;
3 – измеренные значения КУЭС;
12-26 – номер пикета

ный ряд, коэффициенты которого зависят от геометрических и электромагнитных параметров модели. Эти коэффициенты умножаются на собственные функции, зависящие от величины разноса. Применительно к нашей задаче (небольшие по сравнению с электроразведочными работами разносы электродов) целесообразно использовать метод расчета потенциала точечного источника тока в многослойной плоскопараллельной модели среды, предложенный в работе [3]. Аппроксимацию подынтегральной функции

$$\Phi = ae^{-mz} + be^{mz}$$

проводят экспоненциальным многочленом по методу Прони, что позволяет произвести взятие несобственного интеграла, используя тождество Вебера-Липшица (аналогичный подход аппроксимации экспонентами – алгоритм Андерсона – используется в электроразведке):

$$\Phi = \int_0^\infty \Phi(m, z_0, z) I_0(mr)\, dm =$$

$$= \int_0^\infty I_0(mr) \sum_{s=1}^{N} A_s e^{-mB_s}\, dm \cong \sum_{s=1}^{N} \frac{A_s}{\sqrt{r^2 + B_s^2}} \qquad (3)$$

где N – старшая степень аппроксимирующего многочлена, соответствующая количеству слоев исследуемой модели среды;

A_s, B_s – коэффициенты аппроксимации;

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}\ ;$$

x, y, z – координаты расчетной точки;

x_0, y_0, z_0 – координаты источника тока.

Для расчета коэффициентов аппроксимации A_s и B_s определяют корни разностного уравнения через обратную матрицу тёплицевой структуры, формируют полином из полученных коэффициентов, определяют его экспоненциальные корни $p = e^{-B_s}$ и решают систему линейных алгебраических уравнений, сформированную корнями полинома в виде матрицы Вандермонда относительно коэффициентов A_s. При этом получаемые коэффициенты B_s не знакопеременны (основное условие использования тождества Вебера-Липшица).

Рассмотренный выше алгоритм вычисления значений функции Ф для n – слойной модели среды был реализован на языке *JavaScript* с использованием программ, приведенных в работе [4]. Результаты расчетов приведены на рис. 3, 4.

Результаты расчетов и сравнение их с экспериментальными данными (рис.1-4) показывает, что геологическое строение электроразведочного профиля существенно отражается на характере распределения КУЭС вдоль профиля. Это необходимо учитывать при обработке результатов измерений для оценки напряженного состояния массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Курленя М. В.* Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири / М. В. Курленя, А. А. Еременко, Б. В. Шрепп // Новосибирск, Наука, 2001. – 184 с.

2. *Матвеев Б. К.* Электроразведка.– Москва, Недра, 1990. – 368 с.

3. *Зубов К. Н.* Метод расчета заземляющих устройств произвольной конфигурации в неоднородных грунтах / К. Н. Зубков, А. Е. Немировский // Липецк, Вести высш. учеб. заведений Черноземья № 2, 2010. – 21-26 с.

4. *Кафтанова Ю.В.* Специальные функции математической физики. Часть I. – Харьков, Новое слово, 2009. – 178 с.

Авторы статьи

Дудко Константин Львович,
ассистент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ
e-mail: constantin.dudko@yandex.ru

Шиканов Алексей Иванович
канд.техн.наук, доцент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ
e-mail: shai.tgm@mail.ru

Поступило в редакцию 09.12.2014