Секция «Геофизические методы исследований земной коры»

Моделирование импульсного электромагнитного поля диэлектрического пласта при его возбуждении горизонтальным магнитным диполем

Андреева Сусанна Анваровна

Студент (специалист)

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

E-mail: andreeva_ 90@mail.ru

С расширением сферы применения георадиолокации, в частности при поисках и разведки рассыпных месторождений криолитозоны, инженерно-геокрологических исследований возникают вопросы теоретического обеспечения технологии импульсного зондирования с позиции классической электроразведки [2]. В этой связи рассмотрим прямую задачу собственно георадиолокационного зондирования (РЛЗ) при возбуждении диэлектрической среды (объекта исследования) импульсным электромагнитным полем горизонтального магнитного диполя. Диэлектрический пласт аппроксимируем эквивалентным ему по электрофизическим параметрам плоскостью $D = \lim \varepsilon l$ при $\varepsilon \to \infty$, $l \to 0$. Здесь D — продольная диэлектрическая проницаемость пласта, ε — диэлектрическая проницаемость пласта, l — мощность пласта. Горизонтальный магнитный диполь с моментом $\overline{M} = M_x e^{iwt}$, ориентированный по оси X декартовой системы координат (x, y, z) поместим в начало цилиндрической системы координат (r, φ, z), совмещенной с декартовой, расположенной на расстоянии $h = -z$ от плоскости D. Здесь w — круговая частота, t — время, i — мнимая единица. Согласно уравнениям электродинамики электромагнитное поле данной системы описывается уравнением Гельмгольца: $\nabla^2 A_{z,x} + k^2 A_{z,x} = 0$, где $A_{z,x}$ — компоненты вектор—потенциала магнитного поля, $k^2 = w^2 \varepsilon \mu$ — волновое число, μ — магнитная проницаемость вакуума. Вне пласта электромагнитное поле описывается уравнением Лапласа: $\nabla^2 A_{z,x} = 0$. Опуская детали решения уравнения Лапласа и применяя обратное преобразование Фурье—Лапласа к решению электродинамической задачи в гармоническом режиме, представим электромагнитное поле во временной области в виде:

$$A_{1z} = \frac{\mu M_x}{4\pi} \frac{\partial}{\partial x} \int\limits_0^\infty \frac{1}{2\pi i} \frac{e^{pt}}{p} dp \int\limits_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha m} \frac{p}{p^2 + a^2} J_0(mr) dm \frac{2}{\mu D} = \frac{M_x}{2\pi D} \frac{\partial}{\partial x} \int\limits_0^\infty e^{-\alpha m} \frac{\sin at}{a} J_0(mr) dm,$$

где $\alpha = 2h + z$, $a = \left(\frac{2m}{\mu D}\right)^{\frac{1}{2}}$, $p = iw$ — символика операционного исчисления, $J_0(mr)$ — функция Бесселя нулевого порядка, m — переменная разделения, t — время. Функция $sina/a$ аппроксимируется многочленом $1 - 0,2a^2 + ...$ с точностью до единиц процента [1].

$$A_{1z} = \frac{M_x}{2\pi D} \frac{\partial}{\partial x} \int\limits_0^\infty e^{-2\alpha m} \left(1 - 0,2a^2 t^2\right) t J_0(mr) dm = -\frac{M_x}{\pi D} \frac{xrt}{(\alpha^2 + r^3)^{\frac{3}{2}}} - \frac{6 M_x t^3}{\pi \mu D^2} \frac{xr}{(\alpha^2 + r^2)^{\frac{5}{2}}}$$

Измеряемые компоненты определяются по формулам:

$$B_z = -\frac{\partial^2 A_{1z}}{\partial z^2},\ B_r = -\frac{\partial^2 A_{1z}}{\partial r \partial z}.$$

Источники и литература

1) Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям, перевод с английского, М.:Наука, 1979. С. 832

2) Ним Ю. А. Георадиолокация: элементы методологии и аппроксимационной терии // Наука и образование №4, Якутск: ЯГУ, 2005. С. 27−32

Иллюстрации

Рис. 1. Тезис