

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

«Расчет и интерпретация данных метода частотных зондирования»

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы
направление 05.03.01 геология
профиль «Нефтегазовая геофизика»
геологического ф-та
Мбомио Бейенг Моисес Мета

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н.Волкова

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н.Волкова

Саратов 2020

Введение. Метод частотных электромагнитных зондирований был предложен впервые в Советском Союзе в конце 40-х годов и интенсивно разработался в Академии наук СССР в 50-70-х годах. В то время в электроразведке использовались методы постоянного тока, эффективность которых при глубинных исследованиях была невысока из-за влияния высокоомных слоев (экранов), развитых в осадочном чехле платформ.

Сейчас метод частотных зондирований применяется при изучении и решении ряда задач, как:

1. Региональном картировании, включающем выяснение основных черт тектоники осадочных бассейнов и, в частности, определение глубины залегания высокоомного кристаллического фундамента;
2. Структурных исследованиях и прежде всего поисках нефтегазоносных структур;
3. Крупномасштабном картировании и изучении разрезов глубиной в несколько сотен метров;
4. Поисков подземных вод.

Целью настоящей бакалаврской работы является расчет, построение и интерпретация кривых методом частотных зондирований для установки диполь-петля.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Изучение теории метода частотных зондирований.
2. Формирование проводящей горизонтально-слоистой среды для расчета гармонического электромагнитного поля.
3. Расчет азимутальной компоненты электрического поля для установки диполь-петля.
4. Построение кривых частотных зондирований.
5. Интерпретирование кривых частотных зондирований.

Структура выпускной квалификационной работы:

1 Теория метода частотных зондирований.

1.1 Метод комплексных амплитуд.

1.2 Асимптота кажущегося сопротивления для проводящей плоскости и больших разносов в методе частотных зондирований.

2 Методика и техника полевых работ.

2.1 Источники поля.

2.2 Датчики поля.

2.3 Типы установок.

2.4 Выбор величины разноса.

3 Аппаратура метода частотных зондирования.

4 Расчет и интерпретация данных метода частотных зондирований.

4.1 Результаты расчета данных метода частотных зондирований.

4.1.1 Формирование модели горизонтально-слоистой среды.

4.1.2 Построение геоэлектрических разрезов.

4.1.2.1 Модель горизонтально-слоистой среды с проводящим основанием.

4.1.2.2 Модель горизонтально-слоистой среды с основанием – изолятором.

4.1.3 Интерпретация кривых частотных зондирования по асимптотам.

5 Преимущества и недостатки метода частотных зондирования.

Основное содержание работы. Частотным зондированием ЧЗ называется дипольное индукционное зондирование, основанное на изучении электрических и магнитных составляющих искусственного переменного гармонически меняющегося поля разной частоты f на постоянном разносе r в дальней зоне электрического или магнитного диполя.

В основе современной электроразведки лежит понятие скин-эффекта. В соответствии с этим эффектом глубина исследования в методах частотных зондирований повышается с понижением частоты.

Отсюда следует, что глубина проникновения электромагнитного поля в

землю тем больше, чем меньше частота f и выше сопротивление горных пород.

В методе частотных зондирования рассматривают ближнюю и дальнюю зону.

В ближней зоне (формула 1),

$$E_{\phi} = \frac{i\mu_0 M}{2r^2 T}, \quad (1)$$

где M - момент магнитного диполя, r – разнос, T – период колебаний.

В ближней зоне, компоненты поля не зависят от сопротивления полупространства. Кроме того, глубина проникновения поля в ближней зоне определяется не частотой а разномом. Поэтому частотных зондирования в ближней зоне невозможно.

Переход в дальнюю зону осуществляется увеличением разноса r в 3 - 5 раза больше глубины исследования.

В дальней зоне (формула 2),

$$E_{\phi} = -\frac{3M}{2\pi r^4 \sigma_1}, \quad (2)$$

где σ_1 - проводимость первого слоя.

Глубина проникновения поля в дальней зоне будет зависеть от частоты, а соответственно, $\check{\rho}_k$ будет отражать сопротивление разреза от земной поверхности до этой глубины.

Комплексное кажущееся сопротивление $\check{\rho}_k$ в методе частотных зондирований определяется с помощью формулы 3,

$$\check{\rho}_k = -\frac{2\pi r^4}{3M} E_{\phi}. \quad (3)$$

Тогда кажущееся сопротивление кривых частотных зондирования имеет вид формулой 4,

$$\rho_k = |\check{\rho}_k|, \quad (4)$$

а фазовая кривая определяется выражением $\varphi = \arg \check{\rho}_k$.

Кривые $\rho_k = |\check{\rho}_k|$ и $\varphi = \arg \check{\rho}_k$ называются соответственно амплитудными и фазовыми кривыми, изучаемыми в методе частотных зондирований.

В теории частотных зондирований для нахождения гармонического электромагнитного поля применяется метод комплексных амплитуд. Для изложения этого метода рассмотрим уравнения Максвелла во временной области t . Будем считать, что сторонний ток \mathbf{j}^e имеет вид $\mathbf{j}^e = \mathbf{j}(x, y, z)\psi(t)$. Тогда получим формулу 5;

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}(x, y, z)\psi(t), \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \end{aligned} \quad (5)$$

где $\mathbf{E}(x, y, z, t) = (E_x, E_y, E_z)$ и $\mathbf{H}(x, y, z, t) = (H_x, H_y, H_z)$ – напряженности электрического и магнитного поля, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость, $\sigma(x, y, z)$ – проводимость в прямоугольной декартовой координате x, y, z

Пусть теперь $\psi(t) = e^{-i\omega t}$, где ω – круговая частота; i – мнимая единица.

В этом случае будем искать решение уравнений 5 в виде формул 6,

$$\mathbf{E} = \check{\mathbf{E}}(x, y, z, \omega)e^{-i\omega t}, \quad \mathbf{H} = \check{\mathbf{H}}(x, y, z, \omega)e^{-i\omega t}, \quad (6)$$

где $\check{\mathbf{E}}(\omega) = (\check{E}_x, \check{E}_y, \check{E}_z)$ и $\check{\mathbf{H}}(\omega) = (\check{H}_x, \check{H}_y, \check{H}_z)$ называются комплексными амплитудами напряженностей электрического и магнитного поля.

В методе частотных зондирований интерпретируя комплексное кажущееся сопротивление $\check{\rho}_\tau = -\frac{2\pi r^4}{3M} \check{E}_\varphi$, полученное в дальней зоне, рассматривают линию S как предельное значение $\check{\rho}_\tau$ при больших значениях разноса r в случае горизонтально-слоистой проводящей среды, подстилаемой изолятором.

Величина S называется продольной проводимостью проводящей плоскости.

Значения линия S определяется формулой 7;

$$\tilde{\rho}_\tau = \frac{i\Gamma}{\pi\mu_0 S^2}, \quad (7)$$

где $T = \frac{1}{f}$ - период колебаний; $f = \frac{\omega}{2\pi}$ - частота.

Отсюда амплитудная и фазовая кривая кажущегося сопротивления определяют линию S выражением $\rho_\tau = |\tilde{\rho}_\tau| = \frac{\Gamma}{\pi\mu_0 S^2}$ для амплитудных кривых

$\varphi = \arg \tilde{\rho}_\tau = \frac{\pi}{2}$ для фазовых кривых частотны зондирования.

Как и в других методах геофизики, существуют качественные и количественные приемы интерпретации данных электроразведки. При качественной интерпретации ведут визуальное выделение аномалий, позволяющее оценить наличие и положение разведываемых объектов. В результате количественной интерпретации определяют их глубины залегания, геометрические параметры и электромагнитные свойства.

На данной бакалаврской работы был использован компьютерный метод интерпретации а именно метод подбора с которым получены следующие результаты.

1. Формирование модели горизонтально-слоистой среды

Рассмотрим гармоническое электромагнитное поле, возбуждаемое в 13 - слойной горизонтально-слоистой среде вертикальным магнитным диполем с моментом M и круговой частотой ω и расположенным на поверхности $z=0$. Азимутальная компонента E_φ , измеряется так же на поверхности $z=0$, как показано на рисунке 1.

Расстояние r от источника равнялось 4800 м, 9600 м, 20000 м, 80000 м, так, чтобы измерение электрического поля проводилось в дальней зоне. Мощности 1 - 12 слоев одинаковы и равны 100 м. Последний 13 слой – основание разреза.

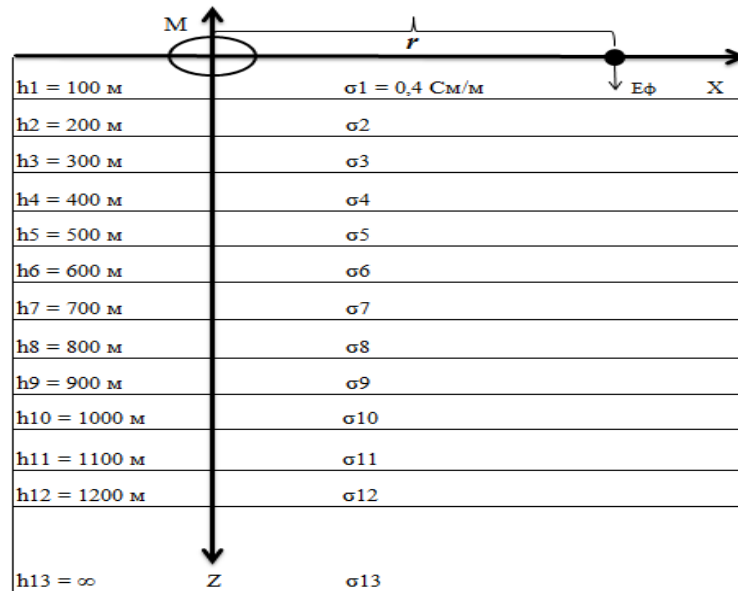


Рисунок 1 - Геоэлектрическая модель.

Проводимость первого слоя σ_1 задана и равна $\sigma_1 = 0.4 \text{ См/м}$.

Проводимость основания разреза σ_{13} будем рассматривать для двух случаев: $\sigma_{13} = 0.8 \text{ См/м}$ и $\sigma_{13} = 0$.

Проводимости 2 - 12 слоев определены с помощью генератора псевдослучайных чисел, распределенных по закону выражение 19,

$$f_X(x) = \begin{cases} 0, & x < e^a, \quad x > e^b, \\ \frac{1}{b-a} \frac{1}{x}, & e^a \leq x \leq e^b, \end{cases} \quad (19)$$

где $f_X(x)$ – плотность вероятности случайной величины X (это значения проводимости σ); $a = -3$, $b = 0$. Тем самым, плотность вероятности $f_Y(y)$ случайной величины Y , где $Y = \ln X$, распределена по равномерному закону на интервале $[a, b]$.

Проводимости всех слоев приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение проводимости слоев геологического разреза.

| i -й слой | Проводимость σ_i , См/м |
|-------------|--------------------------------|
| 1 | 0,4 |
| 2 | 0,041497746 |

| | |
|----|--------------|
| 3 | 0,024334448 |
| 4 | 0,38606337 |
| 5 | 0,2182604 |
| 6 | 0,97810827 |
| 7 | 0,068309022 |
| 8 | 0,0062898707 |
| 9 | 0,33140373 |
| 10 | 0,013414422 |
| 11 | 0,1075376 |
| 12 | 0,0010627994 |
| 13 | 0,8 |

2. Построение геоэлектрических разрезов

Применяя генератор псевдослучайных чисел, построен геоэлектрический разрез для проводящим основанием а также с основанием изолятором.

Рассмотрим сформированный 13- слойный геоэлектрический разрез при $\sigma_{13} = 0.8$ См/м показано на рисунке 2.

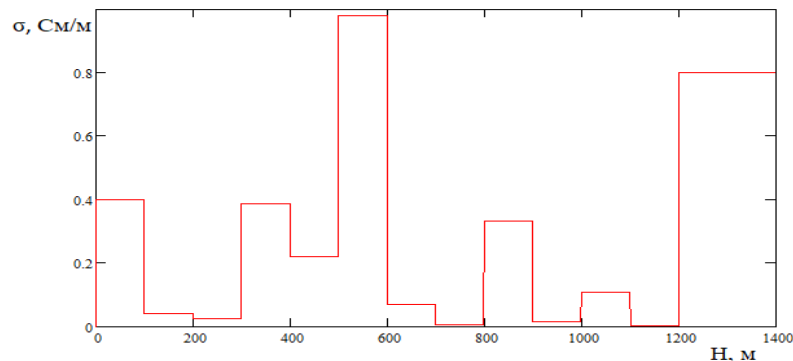


Рисунок 2 – Зависимость проводимости от глубины в линейном масштабе.

Кривая суммарной продольной проводимости изображена на рисунке 3.

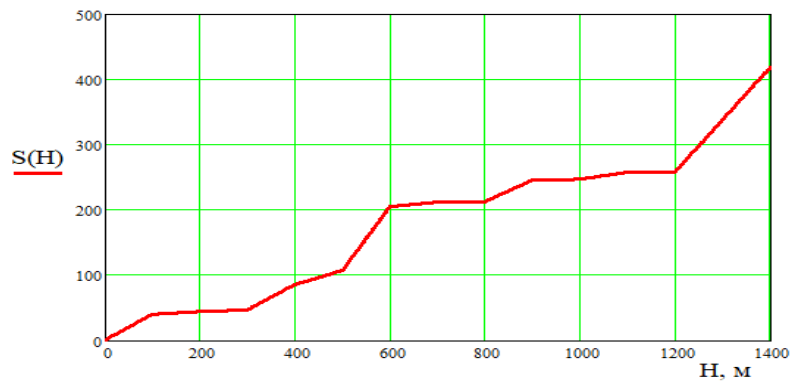


Рисунок 10 – Зависимость суммарной продольной проводимости от глубины.

Амплитудные и фазовые кривые частотных зондирования для проводящем основанием изображены на рисунках 11 - 12 для соответствующих разносов.

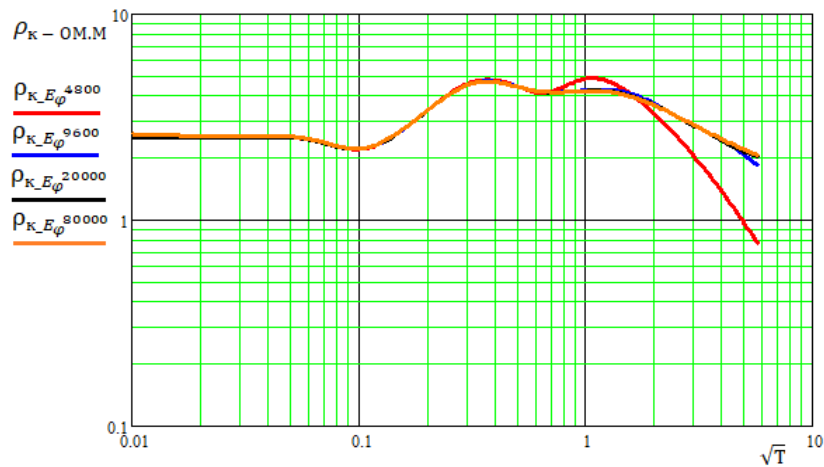


Рисунок 11 - Амплитудные кривые для различных разносов.

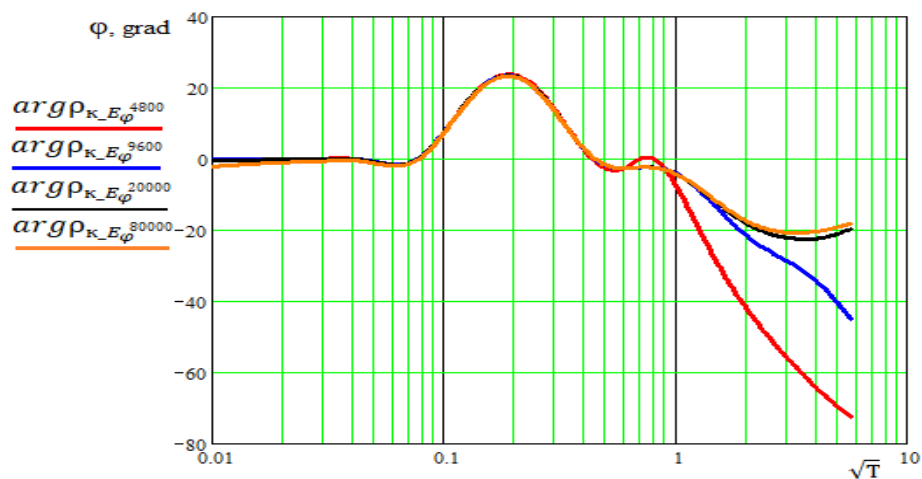


Рисунок 12 - Фазовые кривые для различных разносов.

На высоких частотах (малом периоде) для всех разносов по амплитудным кривым нетрудно определить сопротивление первого слоя, равное $\rho_1 = 2.5$ Ом·м, что соответствует $\sigma_1 = 0.4$ См/м. Сопротивление последнего слоя определить не удалось.

Как видим с увеличением разноса кривые начинают все меньше отличаться, и приближаются к асимптотическим значениям.

Рассмотрим сформированный 13 - слойный геоэлектрический разрез при $\sigma_{13} = 0$ См/м как показано на рисунке 13.

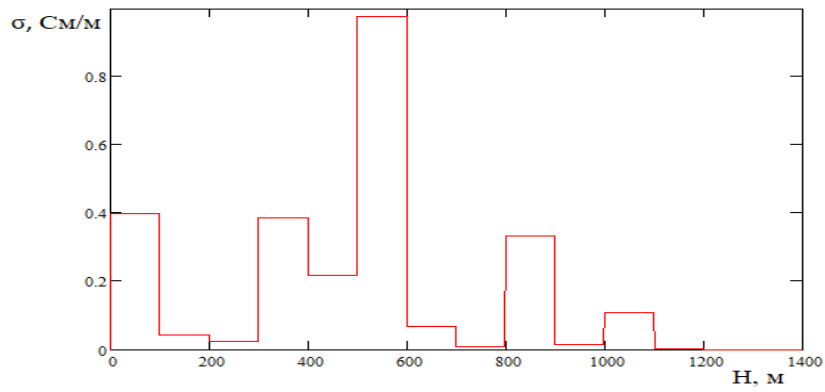


Рисунок 13 – Зависимость проводимости от глубины в линейном масштабе.

Кривая суммарной продольной проводимости при $\sigma_{13} = 0$ изображена на рисунке 14.

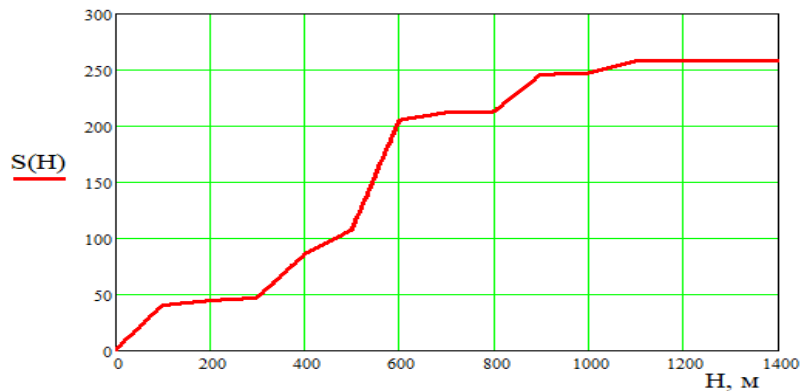


Рисунок 14 – Зависимость суммарной продольной проводимости от глубины при $\sigma_{13} = 0$.

Рассмотрим амплитудные и фазовые кривые частотных зондирований при $\sigma_{13} = 0$ и тех же разносах, что и для предыдущей модели среды. Эти кривые изображены на рисунке 15 и 16 соответственно.

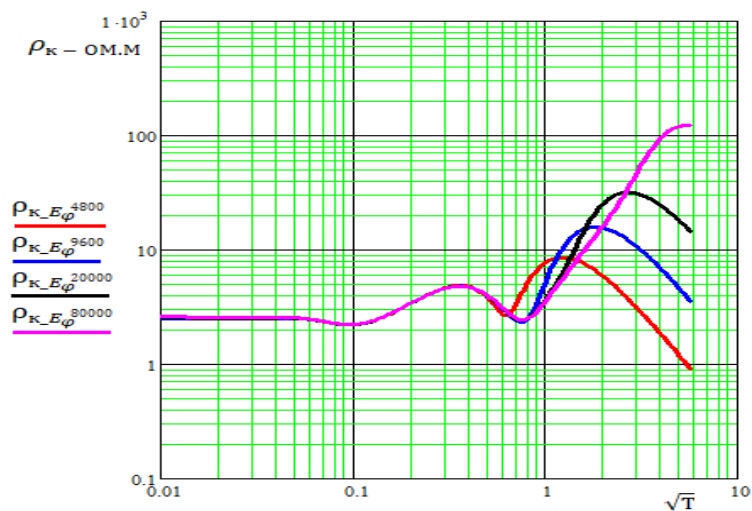


Рисунок 15 - Амплитудные кривые для $\sigma_{13} = 0$.

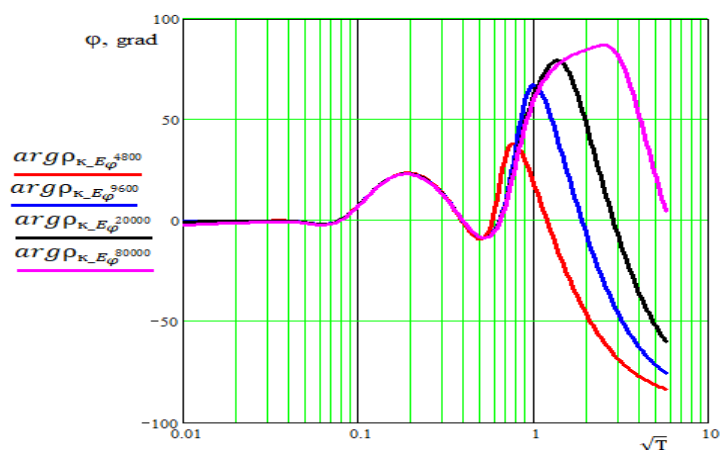


Рисунок 16 – Фазовые кривые для $\sigma_{13} = 0$.

В данном случае видим, что с увеличением разноса амплитудные кривые возрастают с уменьшением частоты, а фазовые увеличиваются к значению 90° .

Так же, как и для предыдущей модели, по высокочастотным асимптотам амплитудных кривых, нетрудно определить сопротивление первого слоя $\rho_1 = 2.5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

3. Интерпретация кривых частотных зондирования по асимптотам

Метод интерпретации по асимптотам заключается в том, что к ветвям кривых ρ_k проводятся касательные под углом $\arctg 2 = 63^{\circ}26'$, и по точкам пересечения этих касательных с осью $\rho_k = 1$ определяется суммарная продольная проводимость толщи залегающей на изоляторе.

На рисунке 17 и 18 изображены фазовые и амплитудные кривых частотных зондирования проходящие в них прямая правая асимптота (линия S).

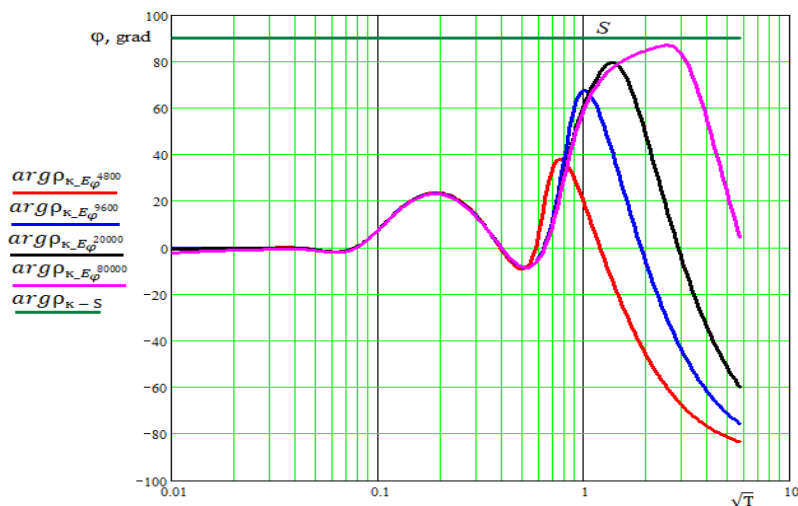


Рисунок 17 – Фазовые кривые кажущееся сопротивление с изображением линию S.

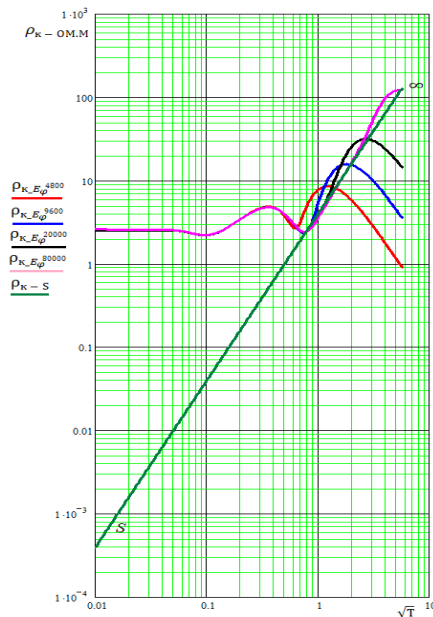


Рисунок 18 - Амплитудные кривые кажущееся сопротивление с изображением линию S.

Полученное в результате интерпретации значение суммарное продольное проводимости S равен 251,65606 м, погрешность которая равна 2.3% что хорошо соответствует теоретическому значению, равному 257,6 м.

Заключение. В ходе выполнения бакалаврской работы были получены следующие результаты:

1. Изложен метод комплексных амплитуд для нахождения электромагнитного поля в методе частотных зондирований.
2. Применяя генератор псевдослучайных чисел, задан проводимость слоев и построен нормальный геоэлектрический разрез.
3. Для построенных разрезов рассчитаны комплексные амплитуды азимутальной компоненты электрического поля при возбуждении электромагнитного поля вертикальным магнитным диполем.
4. Рассчитаны и построены амплитудные и фазовые кривые для нормального разреза когда основание разреза является проводником и когда является изолятором.
5. При интерпретации кривых частотных зондирования выполнен решение обратных задач методом подбора и можно оценить погрешность между теоретическими и практическими кривыми на 2.3 % что означает, что получили хорошие результаты.