

УДК 621.371.39(035.3)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД

А.М. Денисенко, Н.А. Шнипова,
магистранты

В.Ф. Янушкевич,
к.т.н., доц.,
ПГУ,
г. Новополоцк

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы электроразведки углеводородов на основе использования амплитудно-частотно-модулированных сигналов. Проведено исследование характеристик поверхностного импеданса анизотропной среды над углеводородными залежами. Проанализировано влияние вариации индекса модуляции на составляющие компонентов поверхностного импеданса вмещающих пород над месторождениями нефти и газа. Даны рекомендации по совершенствованию методов электроразведки и применению их для поисковых систем в геофизике. Предложены электромагнитные методы и способы поиска и оконтуривания углеводородов. Результаты исследований могут быть использованы в поисковой геофизике.

Ключевые слова: анизотропная среда, углеводородные залежи, амплитудно-частотно-модулированный сигнал, электромагнитная волна, поверхностный импеданс

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач состоит в определении новых закономерностей взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) с анизотропной средой над месторождениями нефти и газа (углеводородами). Данные исследования способствуют разработке новых методов поиска, оконтуривания углеводородных залежей (УВЗ) на основе расширения зависимостей свойств земной поверхности над углеводородами от режимов зондирования [1-3]. На отклик зондирующих сигналов

оказывают влияние электрохимические и электрофизические процессы, происходящие в области вмещающих пород над залежью, характеризующейся избытком свободных электронов под воздействием высокой температуры и пластовых давлений [4].

Использование амплитудно-частотно-модулированных сигналов

$$e(t) = E_{\omega} (1 + k_m \cos \Omega t) \cos [\omega t + \beta \cdot \cos \Omega t], \quad (1)$$

где E_{ω} – амплитуда сигнала несущей частоты ω ;

k_m , β – соответственно коэффициент амплитудной модуляции и индекс частотной модуляции способствует повышению точности методов поиска и оконтуривания УВЗ за счет расширения режимов зондирования.

Поверхностный импеданс анизотропной среды над УВЗ равен [5]:

$$\begin{aligned} \dot{E}_x &= -Z_0 (\dot{Z}_{11} \dot{H}_x - \dot{Z}_{12} \dot{H}_y), \\ \dot{E}_y &= -Z_0 (\dot{Z}_{21} \dot{H}_x - \dot{Z}_{22} \dot{H}_y), \\ \dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} &= -\frac{1}{2j\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} (\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \\ \dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} &= -\frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} (\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\dot{E}_{x,y}$, $\dot{H}_{x,y}$ – составляющие падающей и отражённой волн по координатам x и y ;

Z_0 – характеристическое сопротивление анизотропной среды;

\dot{Z}_{11} , \dot{Z}_{12} , \dot{Z}_{21} , \dot{Z}_{22} – компоненты поверхностного импеданса среды над УВЗ,

$\dot{\epsilon}_R = \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2$, $\dot{\epsilon}_L = \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2$, где $\dot{\epsilon}_1$ и $\dot{\epsilon}_2$ определяются выражениями:

$$\dot{\epsilon} = \begin{bmatrix} \dot{\epsilon}_1 & -j\dot{\epsilon}_2 & 0 \\ j\dot{\epsilon}_2 & \dot{\epsilon}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{\epsilon}_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Проведено исследование характеристик поверхностного импеданса (2) от индекса модуляции (рис. 1, 2) для определения

аномалий поля в анизотропной среде и установления свойств геологического профиля местности.

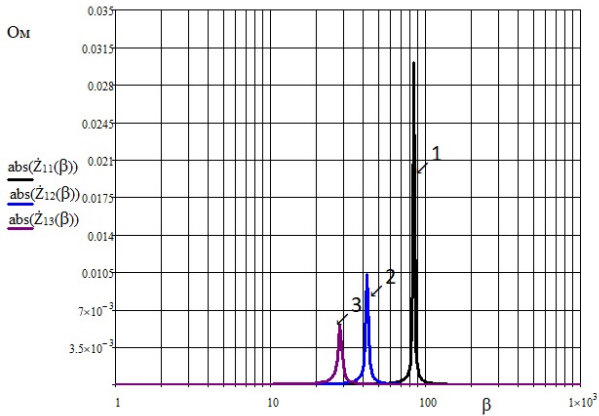


Рисунок 1 – Зависимости абсолютной части компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от индекса модуляции: $|\dot{Z}_{11}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 10$, $|\dot{Z}_{12}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 20$, $|\dot{Z}_{13}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 30$

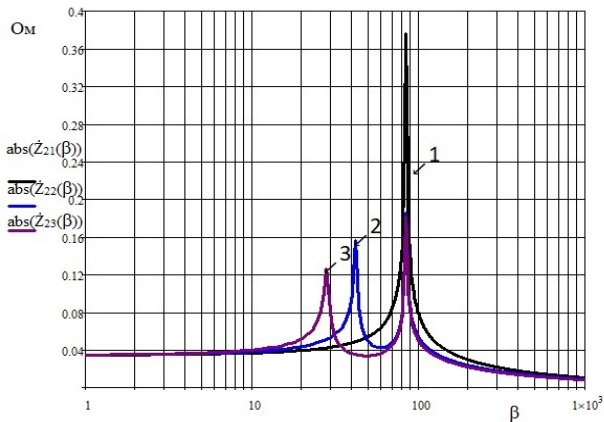


Рисунок 2 – Зависимости абсолютной части компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от индекса модуляции: $|\dot{Z}_{21}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 10$, $|\dot{Z}_{22}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 20$, $|\dot{Z}_{23}(\beta)|$ – для $\varepsilon_r = 30$

Установлены закономерности трансформации поверхностного импеданса анизотропных сред на основании экспериментально полученных параметров [1]: электрическая проводимость $\sigma_r = (10^{-6} - 1)$ См/м; концентрация частиц $N_e = N_n = 10^{16} \text{ м}^{-3}$; частота столкновения частиц $\nu = 2 \cdot \pi \cdot 10^9$ рад / с. Диэлектрическая проницаемость вмещающих пород над залежью исследовалась в диапазоне от 1 до 30. Частота несущего колебания $f = 10^6$ Гц, коэффициент амплитудной модуляции $k_m = 0.5$.

Особенности строения геологических профилей местности и их идентификационные характеристики устанавливаются по отличию литолого-физических свойств пластов осадочного чехла от подстилающих и перекрывающих пород (наличие глины в известняковых пластах и т.д.). При этом участки с повышенным импедансом в структуре пород указывают о присутствии месторождений углеводородов.

Полученные зависимости компонентов поверхностного импеданса анизотропных сред от индекса модуляции могут быть применены для прямых методов поиска УВЗ, так как основаны на изменении свойств электрических полей, обусловленных залежами углеводородов. Отличия свойств залежей газа и нефти от вмещающих пород, особенно от водоносных участков позволяют фиксировать изменения в окружающих залежи средах и выделять границы аномальных областей.

Установлено, что при распространении ЭМВ в среде над углеводородами:

1. В режиме амплитудно-частотно-модулированных сигналов обе составляющие поверхностного импеданса анизотропных сред имеют резонансные точки при индексах частотной модуляции $\beta = 30, 40, 50$.

2. Величина составляющая поверхностного импеданса $|\dot{Z}_{21}(\beta)|$ превышает компоненту $|\dot{Z}_{11}(\beta)|$ в 10 – 15 раз по величине.

3. На основании проведенных исследований могут быть даны рекомендации по совершенствованию методов электроразведки с применением выше указанных режимов для поисковой геофизики. Результаты исследований могут быть применены для повышения точности и достоверности методов электроразведки для разработки радиотехнических систем ближней и дальней радиолокации.

Список литературы

[1] Гололобов Д.В. Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей. / Д.В. Гололобов – Минск: Бестпринт, 2009. 185 с.

[2] Henke C.H. Subsalt imaging in Northern Germany using multi-physics (magnetotellurics, gravity, and seismic) / C.H. Henke, M. Krieger, K. Strack, A. Zerilli // Interpretatio. – 2020. Vol. 8. № 4. 15-24 p.

[3] Степуленок С.В. Взаимодействие амплитудно-частотно-модулированных сигналов со средой над углеводородными залежами. / С.В. Степуленок, В.Ф. Янушкевич // Вестник ПГУ. Серия С. Фундаментальные науки. Физика. – Новополоцк, 2009. №9. 103-108 с.

[4] Effect of a powerful low-frequency signal on an anisotropic medium over hydrocarbon / V.F. Yanushkevich, D.A. Dauhiala, A.L. Adamovich [et al]. – doi:10.1088/1742-6596/1889/2/022059. – Text: electronic // Journal of Phys-ics: Conference Series. – 2021. Vol. 1889. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022059/pdf/>. (дата обращения: 18.05.2021).

[5] Янушкевич В.Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей. / В.Ф. Янушкевич – Новополоцк: ПГУ, 2017. 232с.

© А.М. Денисенко, Н.А. Шнипова, В.Ф. Янушкевич, 2022