

УДК 621.371.39(035.3)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК 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 поиска углеводородов на основе использования режимов зондирования анизотропных сред частотно-модулированными сигналами. Проведено исследование абсолютной части поверхностного импеданса вмещающих пород над залежами нефти и газа. Определение границ углеводородных залежей основано на трансформации компонентов поверхностного импеданса при вариации индекса модуляции. Используются данные экспериментально полученных параметров анизотропных сред над месторождениями нефти и газа. Даны рекомендации по разработке поиска и оконтуривания углеводородов. Результаты исследований могут быть использованы в поисковой геофизике.

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

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач состоит в обеспечении современной поисковой геофизики методами повышенной точности определения границ и достаточно высокого уровня идентификации месторождений

углеводородных залежей (УВЗ). Соответственно является актуальным направлением разработка и модификация методов поиска и оконтуривания на базе электромагнитных методов георазведки. Выбор метода поиска месторождений нефти и газа (углеводородов) основывается на анализе электрохимических и электрофизических процессов над образующимися над УВЗ анизотропными средами и определяет методику проведения экспериментальных испытаний [1-3]. Применяемые и вновь разрабатываемые электромагнитные методы основываются на построении электродинамических моделей сред, образующихся над скоплениями нефти и газа и нахождении откликов на воздействие зондирующего сигнала [4]. При воздействии высокой температуры и пластовых давлений над залежью нефти и газа происходят электрохимические и электрофизические процессы, приводящие к образованию на границе с воздушным пространством промежуточной области, характеризующейся избытком свободных электронов. Эти процессы оказывают влияние на электродинамический отклик зондирующих сигналов [4, 5].

Использование частотно-модулированных сигналов

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

где E_{ω} – амплитуда сигнала несущей частоты ω ;
 b , Ω – соответственно индекс частотной модуляции и частота модуляции способствует повышению точности методов поиска и оконтуривания УВЗ за счет расширения режимов зондирования.

Поверхностный импеданс анизотропной среды над УВЗ равен [3]:

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

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,

$\dot{\epsilon}_R = \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2, \dot{\epsilon}_L = \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2$, данные величины определяются как

$$\begin{aligned}
 \dot{\mathcal{E}}_R(\omega) &= \dot{\mathcal{E}}_1 + \dot{\mathcal{E}}_2 = \text{Re } \dot{\mathcal{E}}_R + j \text{Im } \dot{\mathcal{E}}_R \\
 \dot{\mathcal{E}}_L(\omega) &= \dot{\mathcal{E}}_1 - \dot{\mathcal{E}}_2 = \text{Re } \dot{\mathcal{E}}_L - j \text{Im } \dot{\mathcal{E}}_L
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

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

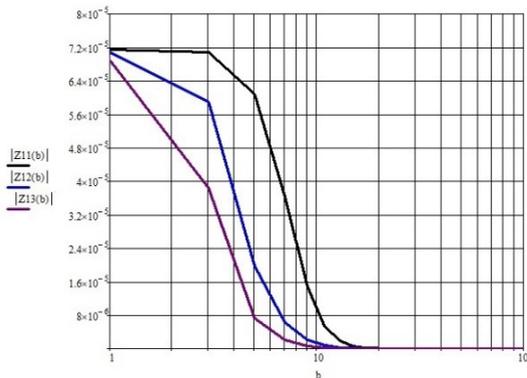


Рисунок 1 – Зависимости абсолютной части компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от индекса модуляции ($|\dot{Z}_{11}(b)|$ – для $\epsilon_r = 3$; $|\dot{Z}_{12}(b)|$ – для $\epsilon_r = 10$; $|\dot{Z}_{13}(b)|$ – для $\epsilon_r = 20$)

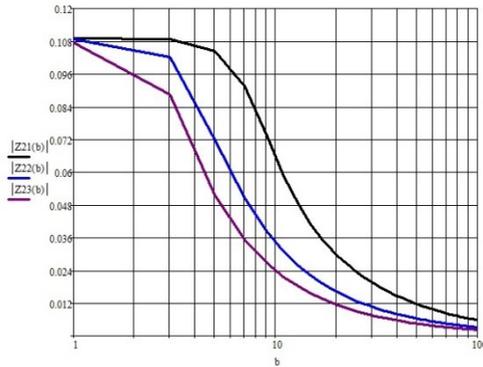


Рисунок 2 – Зависимости абсолютной части компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от индекса модуляции ($|\dot{Z}_{21}(b)|$ – для $\varepsilon_r = 3$; $|\dot{Z}_{22}(b)|$ – для $\varepsilon_r = 10$; $|\dot{Z}_{23}(b)|$ – для $\varepsilon_r = 20$)

Таким образом, анализ сводится к раздельному исследованию амплитудных и фазовых характеристик поверхностного импеданса.

Установлены закономерности трансформации поверхностного импеданса анизотропных сред на основании экспериментально полученных параметров [4]: электрическая проводимость $\sigma_r = (10^{-6} - 1)$ См/м; концентрация частиц $N_e = N_i = 10^{16} \text{ м}^{-3}$; 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 $f = 10^7$ Гц.

Дополнительная априорная информация получается с помощью перемещения передатчика и приемника по территории исследуемого профиля. При определении комбинационных составляющих компонентов поверхностного импеданса среды над углеводородами повышаются производительность методов электроразведки и информативность за счет получения

дополнительных данных по исследуемому геологическому профилю местности.

Процедура диагностики среды над УВЗ осуществляется по методике решения обратной задачи за счет набора конкретных значений расстояний и конкретизации электродинамических моделей УВЗ с учетом влажности слоев, климатических факторов и особенностей измерений сезонного характера.

Установлено, что при распространении ЭМВ в среде над углеводородами:

– в режиме частотно-модулированных сигналов обе составляющие поверхностного импеданса анизотропных сред уменьшаются с ростом b ;

– на основании проведенных исследований могут быть даны рекомендации по применению режимов частотно-модулированных сигналов со значениями индексов модуляции на отрезке от 0 до 5.

Результаты исследований могут быть применены для измерения характеристик исследуемой среды в режиме взаимодействия частотно-модулированных сигналов с профилем над УВЗ. Полученные выражения для компонентов тензоров диэлектрической проницаемости анизотропных сред определяют закономерности трансформации частотных зависимостей комбинационных элементов от соотношения частот и амплитуд частотно-модулированных сигналов. Проанализированы закономерности поверхностного импеданса анизотропных сред в режиме частотно-модулированных сигналов. Рассмотрены различные режимы взаимодействия.

Список литературы

[1] 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 Physics: Conference Series. – 2021. Vol. 1889. [Electronic resource]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022059/pdf>. (date of access: 18.05.2021).

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

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

[5] 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.

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