

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.371.39(035.3)

**ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД****М.В. Изойтко,**
студент**В.Ф. Янушкевич,**
к.т.н., доц.,Полоцкий государственный университет имени Евфросинии
Полоцкой,
г. Новополоцк

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы поиска анизотропных сред на примере углеводов с применением амплитудно-модулированных сигналов. Проведено исследование фазовых характеристик поверхностного импеданса вмещающих пород над залежами нефти и газа. Рассмотрены частотные зависимости фазовых составляющих поверхностного импеданса анизотропных сред с учетом влияния диэлектрической проницаемости наполнителя. Определены закономерности трансформации фазовых характеристик поверхностного импеданса в режиме амплитудно-модулированных сигналов. Даны рекомендации по применению режимов зондирующих сигналов и предложены методы поиска и оконтуривания углеводов. Результаты исследований могут быть использованы для электроразведки углеводородных залежей.

Ключевые слова: фазовые характеристики, анизотропная среда, углеводородные залежи, амплитудно-модулированный сигнал, электромагнитная волна

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач состоит в повышении точности определения границ и уровня идентификации месторождений углеводородных залежей (УВЗ). Современное состояние науки и техники характеризуется широким внедрением электромагнитных методов георазведки [1-3]. Применение для поиска УВЗ методов электроразведки с возможностью получения электродинамического отклика от исследуемой анизотропной среды на основе новых режимов взаимодействия электромагнитной волны приводит к повышению точности разрабатываемых методов выделения УВЗ за счет расширения функциональной зависимости компонентов диэлектрической проницаемости среды над углеводородами от режимов зондирования [4, 5].

Использование амплитудно-модулированных сигналов для зондирования месторождений нефти и газа вида

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (1)$$

где E – амплитуда несущего колебания;

k_m – коэффициент амплитудной модуляции;

$\Omega = 2\pi F$, $\omega = 2\pi f$ – соответственно модулирующая и несущая частоты, ведет к повышению информативности методов поиска.

Поверхностный импеданс анизотропной среды над УВЗ равен [1]:

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

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 $\dot{\epsilon}_2$ – компоненты тензора диэлектрической проницаемости анизотропной среды.

Применение фазовых характеристик для исследования свойств среды над углеводородами находит широкое применение при разработке современных электромагнитных методов георазведки [4]. В качестве исследуемых характеристик УВЗ взяты импедансные граничные условия. Представим выражения (2) в следующем виде:

$$\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} = |\dot{Z}_{11}| \cdot e^{j\varphi_{Z11}} = |\dot{Z}_{22}| \cdot e^{j\varphi_{Z22}}, \quad (3)$$

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = |\dot{Z}_{12}| \cdot e^{j\varphi_{Z12}} = |\dot{Z}_{21}| \cdot e^{j\varphi_{Z21}}. \quad (4)$$

Проведено исследование характеристик поверхностного импеданса (3) от частоты (рис. 1, 2) для дифференциации анизотропных сред. Фазовые характеристики обозначены для компонент поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} и \dot{Z}_{21} соответственно $\arg(Z_{11}(f))$ и $\arg(Z_{21}(f))$.

При проведении моделирования применялись данные экспериментально полученных параметров анизотропной среды над УВЗ [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, коэффициент амплитудной модуляции $k_m = 0.5$. Величина поверхностного импеданса позволяет проводить оценку характеристик антенн, что может быть использовано для идентификации залежей полезных ископаемых.

Импеданс исследуемого слоя плазмopodobного типа является комплексной величиной.

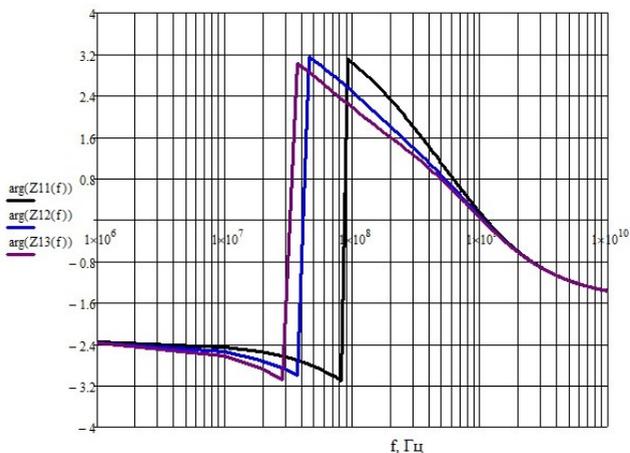


Рисунок 1 – Зависимости фазовой компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от частоты ($\arg(Z_{11}(f))$ – для $\varepsilon_r = 5$; $\arg(Z_{12}(f))$ – для $\varepsilon_r = 10$; $\arg(Z_{13}(f))$ – для $\varepsilon_r = 15$)

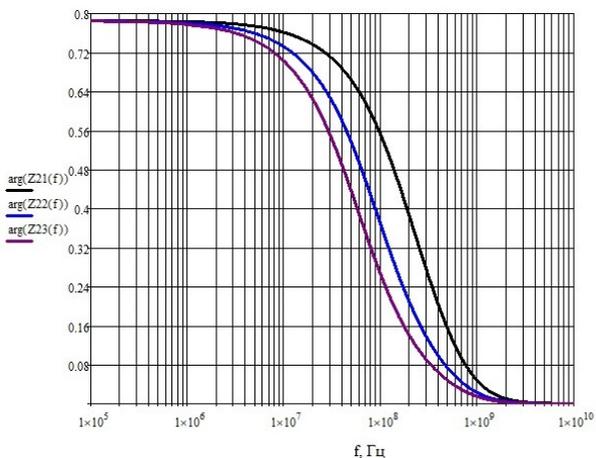


Рисунок 2 – Зависимости фазовой компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от частоты: ($\arg(Z_{21}(f))$ – для $\varepsilon_r = 5$, $\arg(Z_{22}(f))$ – для $\varepsilon_r = 10$, $\arg(Z_{23}(f))$ – для $\varepsilon_r = 15$)

Установлено, что при распространении электромагнитных волн в среде над углеводородами:

1. В режиме амплитудно-модулированных сигналов наблюдается скачкообразный рост фазовой составляющей компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} на частотах 30 МГц – 100 МГц. С увеличением значения диэлектрической проницаемости среды частота увеличения фазы смещается влево. Фазовые характеристики рассматриваемой компоненты не меняются в диапазоне частот 1 МГц – 30 МГц. На участке 100 МГц – 10 ГГц происходит уменьшение фазы с положительных значений на отрицательные и переходом через нуль между (1 – 2) ГГц.

2. Проведено моделирование зависимостей фазовых характеристик фазовой составляющей компоненты поверхностного импеданса \dot{Z}_{12} от частоты. Установлено, что низкие значения частоты f не влияют на данную компоненту рассматриваемой составляющей. На участке (1 МГц – 1 ГГц) происходит уменьшение фазы поверхностного импеданса и при дальнейшем росте частоты зондирования характеристика не меняется.

3. Проведенные исследования могут быть рекомендованы для разработки методов электроразведки углеводородов с применением выше указанных режимов.

Список литературы

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

[2] Streich R. Controlled-source electromagnetic approaches for hydrocarbon exploration and monitoring on land / R. Streich // Survey in geophysics. – 2016. V.37. 47-80 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 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: 24: 18 may 2021).

[5] Электромагнитные исследования методом ЗСБ 2D, 3D, 4D: Последовательность постановки геологоразведочных работ / Буддо И.В [и др.] // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. Т. 12, № 35. 715-730 с.

© М.В. Изютко, В.Ф. Янушкевич, 2022