

СЕКЦИЯ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**УДК 621.371.39(035.3)****ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НЕСУЩЕЙ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД****В.Ф. Янушкевич,**

к.т.н., доц.,

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии

Полоцкой,

г. Новополоцк

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы поиска углеводородных залежей с применением радиоимпульсных сигналов. Проведен анализ взаимодействия электромагнитных волн путем исследования абсолютных, вещественных, мнимых и фазовых составляющих поверхностного импеданса сред, образующихся над скоплениями углеводородов. Определение границ углеводородных залежей основано на установлении эффектов влияния частоты несущей радиоимпульсных сигналов на аномальные изменения компонентов поверхностного импеданса. Расчеты проведены на основе экспериментальных данных параметров анизотропных сред над углеводородными месторождениями. Результаты исследований дают возможность разработки и усовершенствования методов поиска и оконтуривания углеводородов. Рассмотренные режимы взаимодействия могут быть использованы в поисковой геофизике.

Ключевые слова: частота радиоимпульса, углеводородные залежи, радиоимпульсный сигнал, электромагнитная волна, поверхностный импеданс

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач состоит в разработке и усовершенствовании методов поиска и оконтуривания углеводородных залежей (УВЗ) с применением электромагнитных волн (ЭМВ), широко используемых в современной электроразведке [1-3]. Для повышения точности определения границ

углеводородов применяется теоретическая база с методологией сравнения анизотропной среды над залежами нефти и газа с плазмоподобным образованием с имеющимися решениями для плазмы и им подобных сред на использовании квазигидродинамического подхода, феноменологически заданных частот столкновений, многочастичных электронно-ионных токов [4, 5]. Установлено, что электрохимические и электрофизические процессы в анизотропных средах над УВЗ определяются свойствами твердого кристаллического скелета с влиянием электролитов и проводящих включений, минералов электронного вида проводимости, высокой температуры и пластовых давлений над залежью нефти и газа [4]. Электромагнитные методы основываются на нахождении откликов на воздействие зондирующего сигнала [3-5].

Рассмотрим воздействие ЭМВ на среду над УВЗ радиоимпульсным сигналом:

$$U(f) = \frac{\sin \frac{(2 \cdot \pi \cdot f - 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau}{2}}{(2 \cdot \pi \cdot f - 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau} + \frac{\sin \frac{(2 \cdot \pi \cdot f + 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau}{2}}{(2 \cdot \pi \cdot f + 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau} \quad (1)$$

где f – частота сигнала;

F_2 – частота несущего сигнала;

τ – длительность импульса.

Поверхностный импеданс геоэлектрического профиля 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 $\dot{E}_{x,y}, \dot{H}_{x,y}$ – значения падающей и отражённой волн по координатам x и y ;

$Z_0, \dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{21}, \dot{Z}_{22}$ – компоненты поверхностного импеданса воздуха и среды над УВЗ;

$\hat{\varepsilon}_R$, $\hat{\varepsilon}_L$ – составляющие диэлектрической проницаемости для ЭМВ с правой и левой поляризациями.

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости для такого режима взаимодействия имеют следующий вид [6]:

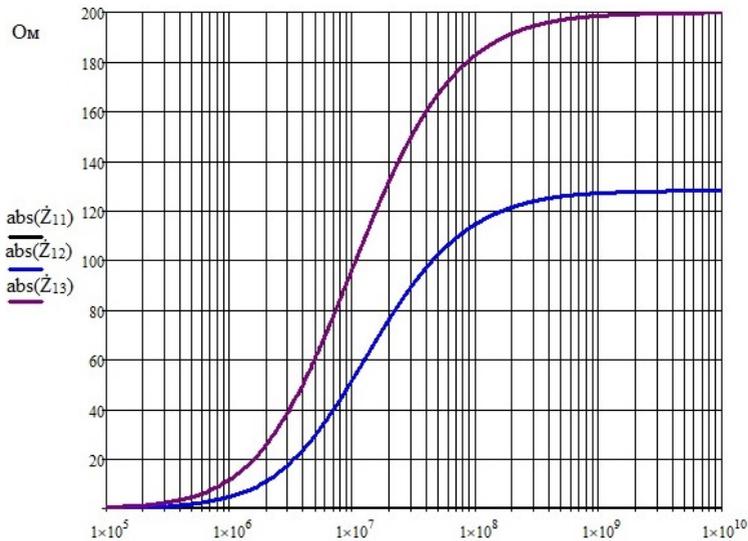
$$\left. \begin{aligned}
 \hat{\varepsilon}_1 &= \varepsilon_r \cdot F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{\omega}\right) + \\
 &+ \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned}
 &\left[\frac{F \cdot \omega_n^2}{\omega} \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1) \cdot [\omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2 - \nu_i^2]}{[\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot \nu_i^2} - \right. \\
 &\left. -jF \left[\frac{\omega_n^2}{\omega} \cdot \nu_i \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1)^2 + \nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2}{[\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot \nu_i^2} + \right. \right. \\
 &\left. \left. + \frac{\delta_r F}{\omega \varepsilon_0} \right] \right\} \\
 \hat{\varepsilon}_2 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned}
 &\left[\frac{\omega_n^2}{\omega} \cdot F \cdot \omega_{\Gamma i} \cdot \frac{\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2}{[\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot \nu_i^2} - \right. \\
 &\left. -2j \frac{\omega_n^2}{\omega} \cdot F \cdot \omega_{\Gamma i} \cdot \nu_i \cdot \frac{\omega + n\Omega_1}{[\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot \nu_i^2} \right] \end{aligned} \right\}, (3) \\
 \hat{\varepsilon}_3 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned}
 &\left[F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{\omega}\right) \times \right. \\
 &\left. \times \left[\varepsilon_r - \frac{\omega_n^2}{\omega} \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + \nu_i^2} \right] - j \left[\frac{\omega_n^2}{\omega} \cdot F \cdot \nu_i \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + \nu_i^2} + \right. \right. \\
 &\left. \left. + \frac{\delta_r F}{\omega \varepsilon_0} \right] \right\}
 \end{aligned} \right.$$

В выражениях (3) фигурируют компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ $\hat{\varepsilon}_1$, $\hat{\varepsilon}_2$, $\hat{\varepsilon}_3$; плазменная частота ω_n ; гиротропная частота $\omega_{\Gamma i}$; частота столкновения частиц ν ; относительная диэлектрическая проницаемость среды ε_r ; проводимость среды σ_r ; диэлектрическая постоянная ε_0 , Ω_1 – круговая частота следования импульсов.

Количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала равно $n \cdot F$ – множитель.

Проведено исследование характеристик поверхностного импеданса (2) от частоты радиоимпульса (рис. 1 б).

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



Ф2. Гц

Рисунок 1 – Зависимости абсолютной составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от частоты радиоимпульса $|\dot{Z}_{11}(F_2)|$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$,

$|\dot{Z}_{12}(F_2)|$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $|\dot{Z}_{13}(F_2)|$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

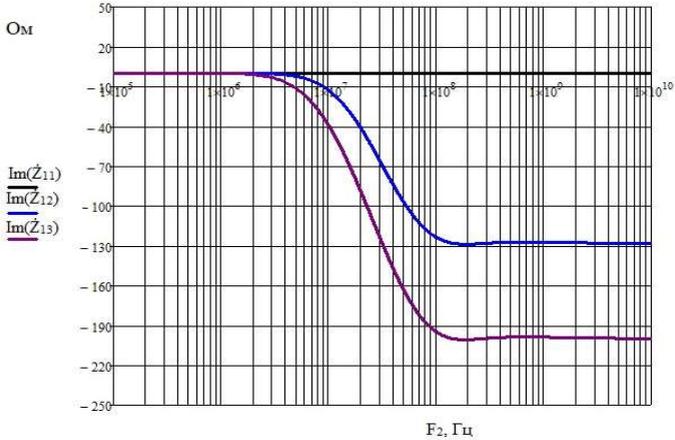


Рисунок 2 – Зависимости мнимой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от частоты радиоимпульса $\text{Im}(\dot{Z}_{11}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$, $\text{Im}(\dot{Z}_{12}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $\text{Im}(\dot{Z}_{13}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

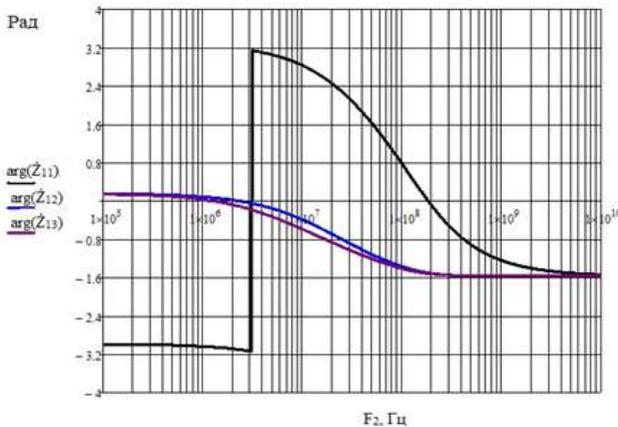


Рисунок 3 – Зависимости фазовой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от частоты радиоимпульса $\text{arg}(\dot{Z}_{11}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$, $\text{arg}(\dot{Z}_{12}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $\text{arg}(\dot{Z}_{13}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

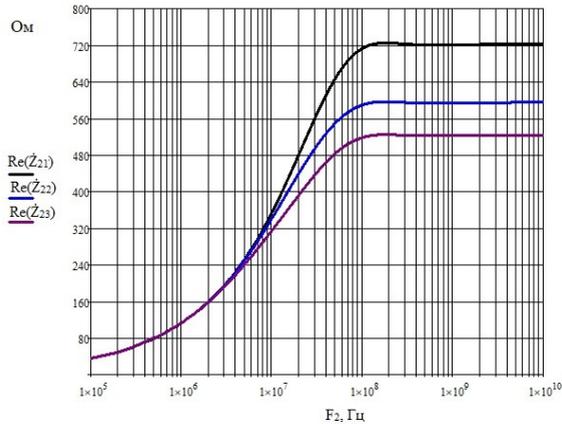


Рисунок 4 – Зависимости вещественной составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от частоты радиоимпульса $\text{Re}(\dot{Z}_{21}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$, $\text{Re}(\dot{Z}_{22}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $\text{Re}(\dot{Z}_{23}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

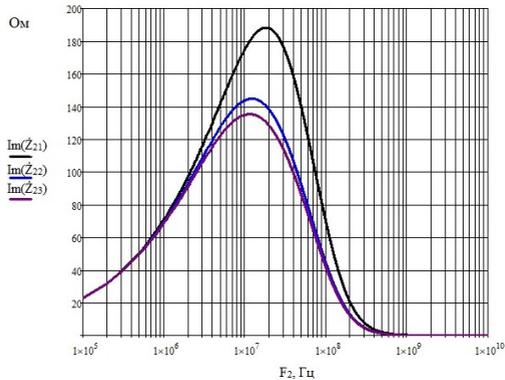


Рисунок 5 – Зависимости мнимой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от частоты радиоимпульса $\text{Im}(\dot{Z}_{21}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$, $\text{Im}(\dot{Z}_{22}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $\text{Im}(\dot{Z}_{23}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

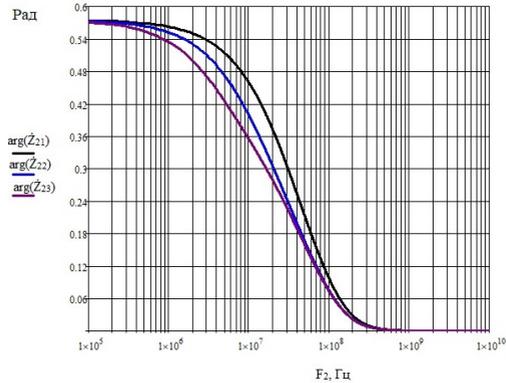


Рисунок 6 – Зависимости фазовой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} от частоты радиоимпульса $\arg(\dot{Z}_{21}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 5$, $\arg(\dot{Z}_{22}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 12$, $\arg(\dot{Z}_{23}(F_2))$ – для $n = 5$, $\varepsilon_r = 25$

На частотах $(1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^8)$ Гц происходит увеличение абсолютной составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} . При уменьшении диэлектрической проницаемости анизотропных сред значение поверхностного импеданса уменьшается. Мнимые составляющие данной компоненты поверхностного импеданса меняют характер проводимости с положительной на отрицательную на частотах (5-10) МГц. Фазовые характеристики данной компоненты поверхностного импеданса практически постоянны в диапазоне частот 10 кГц – 3 МГц. На частоте 3 МГц происходит скачкообразное увеличение фазы для $\varepsilon_r = 5$ с дальнейшим уменьшением до отрицательных значений в сантиметровом диапазоне. На частотах $(1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^8)$ Гц происходит увеличение вещественной составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} при уменьшении диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород. Существуют частоты резонансов мнимой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} на отрезке (5-10) МГц со смещением влево при увеличении диэлектрической проницаемости сред над УВЗ. Фазовая составляющая поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} уменьшается в диапазоне (1– 100).

При исследовании характеристик поверхностного импеданса от частоты радиоимпульса установлено, что:

- в режиме радиоимпульсных сигналов закономерности изменения характеристик поверхностного импеданса анизотропных сред могут быть применены для разработки и усовершенствования методов поиска и оконтуривания углеводородов при вариации частоты несущей;

- могут быть рекомендованы частоты $(1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^8)$ Гц, на которых происходит увеличение абсолютных составляющих поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} и \dot{Z}_{21} ;

- частоты резонансов мнимой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{21} на отрезке $(5 - 10)$ МГц повышают информативность методов поиска и оконтуривания углеводородов;

- зависимости фазовой составляющей поверхностного импеданса \dot{Z}_{11} от частоты радиоимпульса в диапазоне $(5 - 10)$ МГц могут быть применены для повышения точности определения границ залежей нефти и газа.

Список литературы

[1] 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.

[2] 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. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022059/pdf/>. (date of publication: 18.05.2021).

[3] Гололобов Д.В. Влияние параметров амплитудно-модулированного воздействия на фазовые составляющие поверхностного импеданса анизотропной среды плазмopodobного типа. / О.В. Орлова, В.Ф. Янушкевич // Вестник ПГУ. Серия С. Фундаментальные науки. Физика. – Новополюцк, 2010. №9. 98-101 с.

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

[5] Гололобов Д.В. Импедансные граничные условия анизотропной среды для амплитудно-модулированного сигнала. / Д.В. Гололобов, В.Ф. Янушкевич, С.В. Калинин // Доклады БГУИР. – Мн, 2010. № 6(52). 13-17 с.

[6] Янушкевич В.Ф. Влияние режима радиоимпульсных сигналов на характеристики анизотропной среды над углеводородами / В.Ф. Янушкевич, С.П. Алиева, С.В. Калинин // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2021. № 12. 47-54 с.

© В.Ф. Янушкевич, 2022