

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.371.39(035.3)

ХАРАКТЕРИСТИКИ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ В РЕЖИМЕ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

М.С. Алексеев, В.С. Коржуева,
студенты
В.Ф. Янушкевич,
к.т.н., доц.,
ПГУ,
г. Новополоцк

Аннотация: В статье приводится анализ воздействия радиоимпульсных сигналов на анизотропную среду над углеводородами. Исследованы вещественные и фазовые составляющие диэлектрической проницаемости среды над углеводородными залежами (УВЗ) для электромагнитных волн (ЭМВ) с правой и левой круговыми поляризациями в зависимости от частоты радиоимпульса. Рекомендованы режимы зондирования анизотропных сред над углеводородами для повышения производительности геологоразведочных работ и точности определения границ залежей углеводородов. Исследованы характеристики анизотропной среды над залежами на основании полученного отклика от воздействия радиоимпульсного сигнала. Результаты исследований могут быть использованы в поисковой геофизике.

Ключевые слова: углеводородные залежи, электромагнитная волна, радиоимпульсный сигнал

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач заключается в разработке новых методов повышенной точности для определения границ и достаточно высокого уровня идентификации УВЗ [1-3]. Современное состояние науки и техники требует от поисковой геофизики анализа электрохимических и электрофизических процессов [4] над образующимися над УВЗ

анизотропными средами и определяет методику проведения экспериментальных испытаний. Применение для поиска УВЗ методов с использованием радиоимпульсных сигналов приводит к повышению точности разрабатываемых методов выделения УВЗ за счет появления в компонентах тензоров диэлектрической проницаемости дополнительных составляющих, зависящих от параметров сигналов, что расширяет функциональные зависимости компонентов тензоров и позволяет повысить информативность электромагнитных методов поиска УВЗ.

Исходя из этого, рассмотрим процесс взаимодействия ЭМВ с УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов.

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости для такого режима взаимодействия имеют следующий вид [5]:

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

где

$$F = \frac{\tau}{T} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi \cdot n \cdot F_1 \cdot \tau)}{\pi \cdot n \cdot F_1 \cdot \tau}. \quad (2)$$

В выражениях фигурируют компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ $\hat{\epsilon}_1, \hat{\epsilon}_2, \hat{\epsilon}_3$; плазменная частота $\omega_{\text{ни}}$; гиротропная частота ω_{Γ} ; частота столкновения частиц ν ; относительная диэлектрическая проницаемость среды ϵ_r ; проводимость среды δ_r ; диэлектрическая постоянная ϵ_0 , Ω_1 – круговая частота следования импульсов, F_I – частота следования импульсов, T – период, τ – длительность импульса. Количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала равно n .

Методика исследований заключается в определении компонент диэлектрической проницаемости среды над УВЗ для ЭМВ с правой и левой круговыми поляризациями по формулам

$$\begin{aligned}\epsilon_R^{\&} &= \epsilon_1^{\&} + \epsilon_2^{\&} = Re\epsilon_R + jIm\epsilon_R \\ \epsilon_L^{\&} &= \epsilon_1^{\&} + \epsilon_2^{\&} = Re\epsilon_L + jIm\epsilon_L,\end{aligned}\quad (3)$$

Проводился анализ комбинационных составляющих тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ (3) для параметров среды над залежами углеводородов [1]: значения диэлектрической проницаемости вмещающих пород $\epsilon_r = 1-30$ и электрической проводимости $\delta_r = 1 \cdot 10^{-5}-1$ См/м; концентрации частиц $N_e = N_{\text{и}} = (10^{16}-10^{18}) \text{ м}^{-3}$, частота столкновения частиц $\nu = 2\pi 10^9$ рад / с.

Проведен анализ вещественных и фазовых составляющих для компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ (рис. 1, 2). Зависимости вещественных и фазовых составляющих компонент диэлектрической проницаемости для правой и левой поляризаций ЭМВ совпадают. На частотах 10^4-10^7 Гц происходит резкое уменьшение данной компоненты диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород над УВЗ. Особенно следует отметить диапазон частот 10^4-10^5 Гц с наибольшей крутизной характеристики. Оставшийся для моделирования участок частот не влияет на рассматриваемую зависимость. Проявление диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород над УВЗ сказывается не существенно.

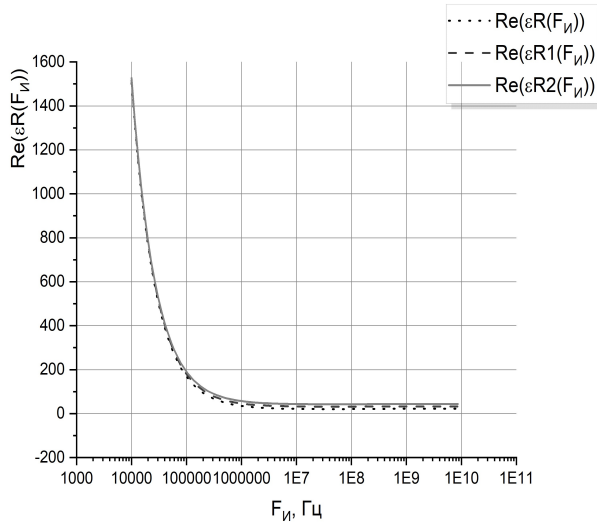


Рисунок 1 – Зависимости $\text{Re}(\epsilon R(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 10$, $\text{Re}(\epsilon R1(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 15$, $\text{Re}(\epsilon R2(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 20$

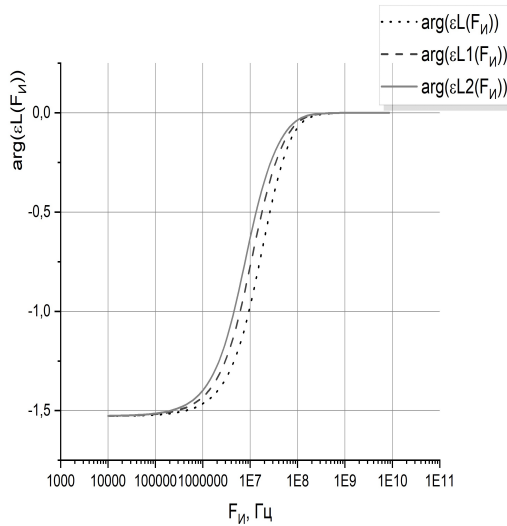


Рисунок 2 – Зависимости $\text{arg}(\epsilon R(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 10$, $\text{arg}(\epsilon R1(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 15$, $\text{arg}(\epsilon R2(F_{и}))$ – для $\epsilon_r = 20$

В диапазоне частот от 10^5 Гц до 10^8 Гц величина фазы резко увеличивается до нуля и дальше она постоянна. С уменьшением диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород значение данной компоненты диэлектрической проницаемости увеличивается.

Результаты исследований могут быть применены для разработки радиотехнических систем ближней и дальней радиолокации, для повышения производительности геологоразведочных работ и точности определения границ залежей углеводородов.

Список литературы

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

[2] Moskovich V.N. Interaction of electromagnetic waves (EMW) with anisotropic inclusion in communication line. / V.N. Moskovich. // 9-th Microw. Conf. NICON – 91, Rydzyna. – 1991. Vol. 1. 240-244 p.

[3] Adamovskiy E. Simulation of electromagnetic waves interaction with hydrocarbon deposits. / E. Adamovskiy, V. Yanushkevich. // 8 Junior researchers conference European and national dimension in research : in 3 p. / PSU. – Novopolotsk : PSU, 2016. 3 p.: Technology. 179-183 p.

[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. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022059/pdf/>-. (date of access: 27.05.2021).

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

© М.С. Алексеев, В.С. Коржуева, В.Ф. Янушкевич, 2021