УДК 621.371.39(035.3)

ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СРЕДЫ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

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

Аннотация: В статье приводится анализ распространения амплитудно-модулированных электромагнитных волн в анизотропной среде над залежами нефти и газа. Исследованы компоненты тензоров диэлектриче-ской проницаемости среды, образующейся над углеводородными залежами. Исследованы характеристики среды над скоплениями углеводородов для электромагнитных волн с правой и левой круговыми поляризациями в зависимости от частоты несущего колебания, коэффициента амплитудной модуляции, частоты модуляции и проводимости диэлектрического наполнителя. Предложено внедрение различных методов и аппаратуры для поиска углеводородов на основе установленных частот резонансного взаимодействия с исследуемой средой. Рекомендованы режимы зондирований анизотропных сред над углеводородами для повышения производительности геологоразведочных работ и точности определения границ залежей углеводородов.

Ключевые слова: углеводородная залежь, электромагнитная волна, амплитудно-модулированный сигнал

Активное внедрение различных методов и аппаратурных средств для обнаружения углеводородных залежей (УВЗ) основано на практическом решении данных задач с достаточно хорошими характеристиками [1]. Совместное применение морских магнитотеллурических и гравиметрических данных измерений с учетом сейсмических ограничений актуально в современных системах поиска полезных ископаемых [2].

Выбор диапазонов электромагнитных волн (ЭМВ) для георазведки основывается на построении электродинамических моделей сред, образующихся над скоплениями нефти и газа и нахождении откликов на воздействие зондирующего сигнала по анализу электрохимических и электрофизических процессов над образующимися над УВЗ анизотропными средами и определяет методику проведения экспериментальных испытаний [3]. Тенденции развития поисковой геофизики направлены на решение задач внедрения эффективных методов георазведки с высоким уровнем точности и достоверности обнаружения месторождений УВЗ с использованием методов широкого спектра [4, 5].

Взаимодействие амплитудно-модулированных (АМ) сигналов с анизотропным наполнителем над УВЗ рассмотрено в работе [3]. Для реализации новых методов электроразведки представляют интерес процессы взаимодействия АМ сигналов на основе получения дополнительных режимов взаимодействия.

В случае применения для зондирования месторождений нефти и газа тональной АМ радиосигнал записывается как

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

где E – амплитуда несущего колебания;

k_m– коэффициент амплитудной модуляции;

$\Omega = 2\pi F, \quad \omega = 2\pi f$– соответственно модулирующая и несущая частоты.

Использование АМ сигналов и модификаций способов поиска УВЗ на их основе предполагает обнаружение месторождений углеводородов по регистрации амплитудных и фазовых компонент поверхностного импеданса геологического участка местности. Активное внедрение радиоволновых методов и аппаратурных средств для обнаружения углеводородов основано на решении данных задач с высокой точностью обнаружения.

Методика исследований заключается в определении компонент тензора диэлектрической проницаемости и его анализе в различных режимах воздействия ЭМВ. Вариация характеристик зондирующих сигналов повышает информативность методов поиска.

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды для такого режима имеют вид [3]:

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_1 = \varepsilon_r + \sum_{i=1}^{2} \left\{ \omega_{\Pi i}^2 \dfrac{\omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2 - \nu_i^{\,2}}{(\nu_i^{\,2} + \omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^{\,2}} + j \left[\dfrac{\varepsilon_r k_m \Omega \sin \Omega t}{\omega(1 + k_m \cos \Omega t)} - \right. \right. \\ \left. \left. - \dfrac{\sigma_r}{\omega \varepsilon_0} - \right. \right. \\ \left. \left. - \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \nu_i}{\omega} \dfrac{\omega^2 + \nu_i^{\,2} + \omega_{\Gamma i}^2}{(\nu_i^{\,2} + \omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^{\,2}} \right] \right\}, \\ \dot{\varepsilon}_2 = \sum_{i=1}^{2} \left\{ \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \omega_{\Gamma i}}{\omega} \dfrac{\omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2 + \nu_i^{\,2}}{(\nu_i^{\,2} + \omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^{\,2}} - \dfrac{2 j \nu_i \omega_{\Pi i}^2 \omega_{\Gamma i}}{(\nu_i^{\,2} + \omega_{\Gamma i}^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \nu_i^{\,2}} \right\}, \\ \dot{\varepsilon}_3 = \varepsilon_r + \sum_{i=1}^{2} \left\{ \omega_{\Pi i}^2 \dfrac{1}{\nu_i^{\,2} + \omega^2} + j \left[\dfrac{\varepsilon_r k_m \Omega \sin \Omega t}{\omega(1 + k_m \cos \Omega t)} - \right. \right. \\ \left. \left. - \dfrac{\sigma_r}{\omega \varepsilon_0} - \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \nu_i}{\omega} \dfrac{1}{\omega^2 + \nu_i^{\,2}} \right] \right\}. \end{cases} \quad (2)$$

В выражениях (2) фигурируют компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ $\dot{\varepsilon}_1$, $\dot{\varepsilon}_2$, $\dot{\varepsilon}_3$; плазменная частота ω_{ni}; гиротропная частота $\omega_{\Gamma i;}$ частота столкновения частиц ν_i; относительная диэлектрическая проницаемость среды ε_r; проводимость среды σ_r; диэлектрическая постоянная ε_0.

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

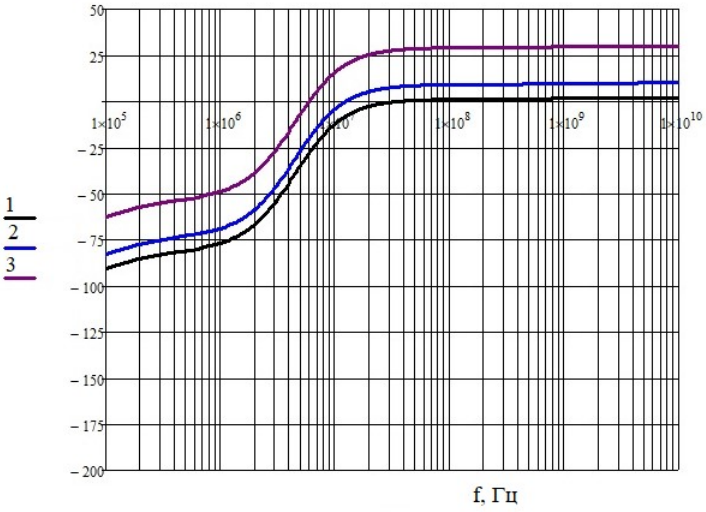


Рисунок 1 – Зависимости $Re(\dot{\varepsilon}_L(f))$, $k_m = 0.5$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $\varepsilon_r = 2$; 2 – для $\varepsilon_r = 10$;3 – для $\varepsilon_r = 30$)

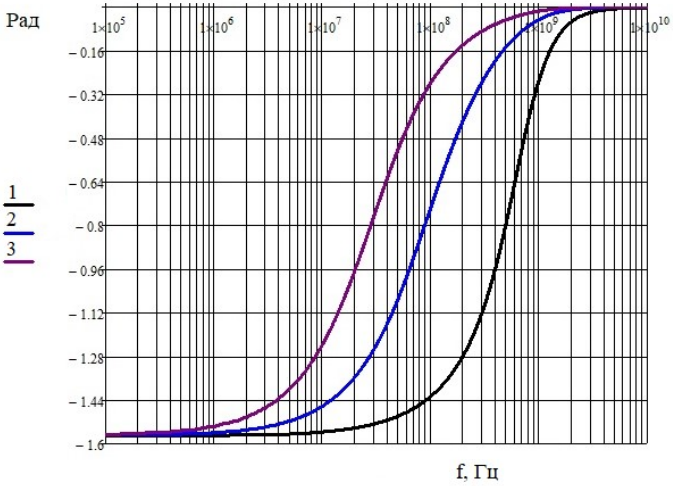


Рисунок 2 – Зависимости $arg(\dot{\varepsilon}_R(f))$, $k_m = 0.5$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $\varepsilon_r = 2$; 2 – для $\varepsilon_r = 10$;3 – для $\varepsilon_r = 30$)

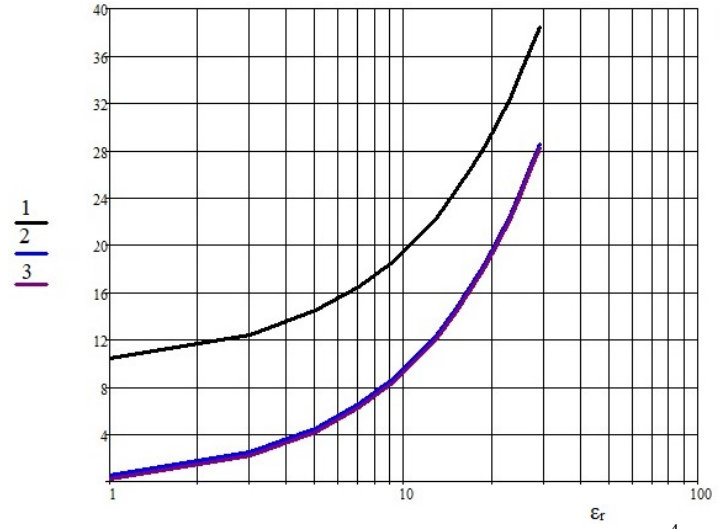


Рисунок 3 – Зависимости $Re(\grave{\varepsilon}_R(\varepsilon_r))$, $k_m = 0.5$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $f = 10^5$ Гц; 2 – для $f = 10^6$ Гц;3 – для $f = 10^8$ Гц)

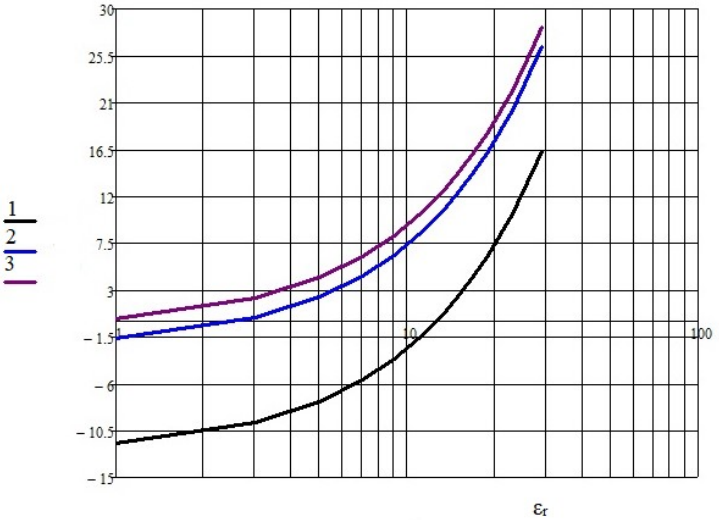


Рисунок 4 – Зависимости $Re(\grave{\varepsilon}_L(\varepsilon_r))$, $k_m = 0.5$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $f = 10^5$ Гц; 2 – для $f = 10^6$ Гц; 3 – для $f = 10^8$ Гц)

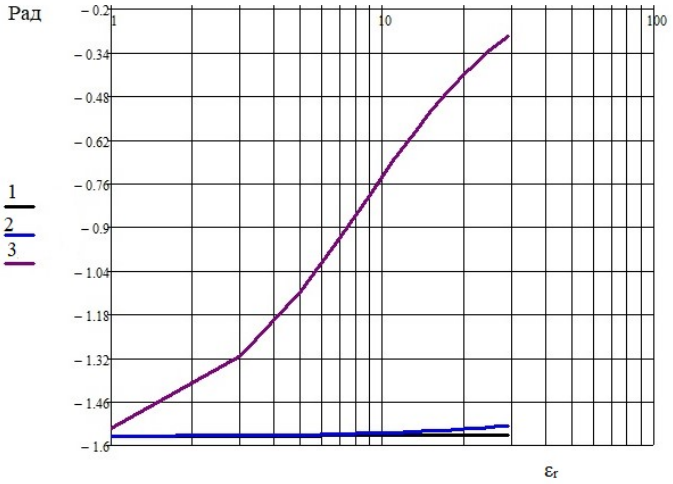


Рисунок 5 – Зависимости $\arg(\dot{\varepsilon}_R(\varepsilon_r))$, $k_m = 0.5$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $f = 10^5$ Гц; 2 – для $f = 10^6$ Гц; 3 – для $f = 10^8$ Гц)

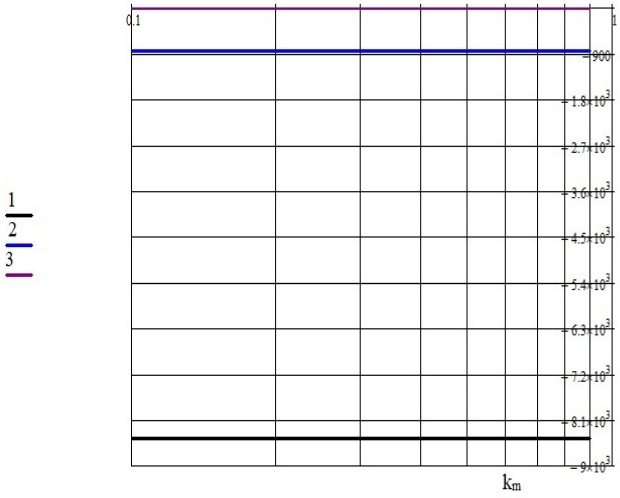


Рисунок 6 – Зависимости $\mathrm{Im}(\dot{\varepsilon}_R(k_m))$, $\varepsilon_r = 2$, $F = 10^4$ Гц
(1 – для $f = 10^5$ Гц; 2 – для $f = 10^6$ Гц; 3 – для $f = 10^8$ Гц)

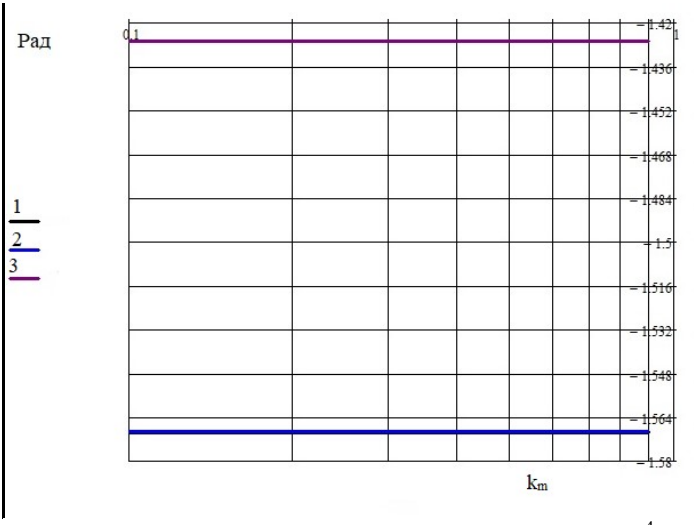


Рисунок 7 – Зависимости $\arg(\dot{\varepsilon}_R(k_m))$, ε_r = 2, F = 10^4 Гц
(1 – для f = 10^5 Гц; 2 – для f = 10^6 Гц; 3 – для f = 10^8 Гц)

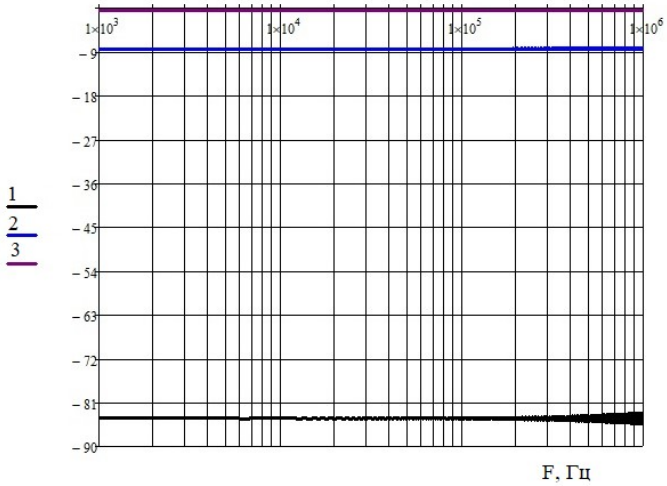


Рисунок 8 – Зависимости $\mathrm{Im}(\dot{\varepsilon}_R(F))$, ε_r = 10, k_m = 0.5
(1 – для f = 10^7 Гц; 2 – для f = 10^8 Гц; 3 – для f = 10^9 Гц)

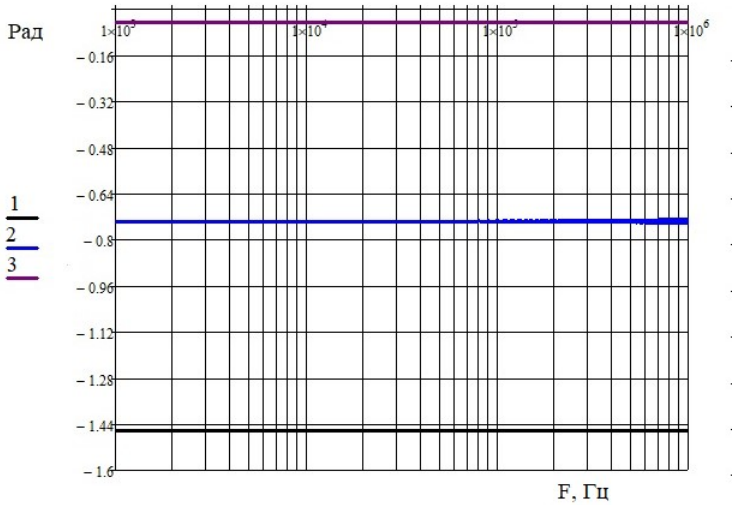


Рисунок 9 – Зависимости $\arg(\dot{\varepsilon}_R(F))$, $\varepsilon_r = 10$, $k_m = 0.5$
(1 – для $f = 10^7$ Гц; 2 – для $f = 10^8$ Гц; 3 – для $f = 10^9$ Гц)

Как видно, вещественная составляющая ЭМВ с левой поляризацией с ростом частоты несущего колебания возрастает от отрицательных значений и имеет точки перехода через нуль на частотах в пределах (5-30) МГц, причем с ростом диэлектрической проницаемости она смещается влево по оси абсцисс. Поведение данной характеристики зависит от соотношения концентрации частиц в зависимости от этого частота электронного плазменного резонанса может смещаться в диапазон 100 МГц – 3 ГГц и выше. Наблюдается увеличение фазовой составляющей суммарной компоненты для АМ сигналов на частотах 1 МГц – 5 ГГц. Во всех остальных диапазонах частоты несущего колебания фаза стабильна. С увеличением значения диэлектрической проницаемости среды частота увеличения фазы смещается влево. С ростом диэлектрической проницаемости среды над УВЗ вещественная компонента для ЭМВ с правой поляризацией увеличивается.

Аналогично ведут себя амплитудные характеристики для составляющей ЭМВ с левой поляризацией и фазовые характеристики для составляющей ЭМВ с правой поляризацией. На фазу оказывают

влияние высокие частоты зондирования. Дополнительная априорная информация получается с помощью перемещения передатчика и приемника по территории исследуемого профиля. При определении комбинационных составляющих компонентов диэлектрической проницаемости среды над углеводородами повышаются производительность методов электроразведки и информативность за счет получения дополнительных данных по исследуемому геологическому профилю местности.

Установлено, что вариация коэффициента АМ не влияет ни на амплитудную, ни на фазовую составляющие ЭМВ с правой поляризацией, также не происходит влияния частоты модуляции F на рассматриваемые зависимости.

Использование радиотехнических систем с возможностью вариации характеристик зондирующих ЭМВ (более информативным является перестройка по несущей частоте)в широких пределах расширяет возможности георазведки, основываясь на выделении аномальных эффектов при распространении ЭМВ над данной средой. Проведённый анализ показал, что компоненты тензоров диэлектрической проницаемости среды имеют частотную зависимость в режиме АМ-воздействия. Дисперсионныеные характеристики среды над УВЗ дают качественную и количественную оценку электродинамических параметров сред.

Заключение. Проведенный анализ распространения ЭМВ в среде над углеводородами в режиме АМ сигналов показал, что:

– частота электронного плазменного резонанса лежит в пределах (5-30) МГц, причем с ростом диэлектрической проницаемости она смещается влево по оси абсцисс;

– вещественная составляющая ЭМВ с левой поляризацией с ростом частоты несущего колебания возрастает от отрицательных значений и имеет точки перехода через нуль на частотах в пределах (5-30) МГц;

– наблюдается увеличение фазовой составляющей для ЭМВ с правой поляризацией на частотах 1 МГц – 5 ГГц, что может быть применено для идентификации УВЗ фазовыми методами.

Список литературы

[1] Holten T. Time lapse CSEM reservoir monitoring of the Norne field with vertical dipoles / T. Holten, X. Luo, G. Naevdal, S.L. Helwig // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2016. Vol. 35. 971-975 p.

[2] Джеген М. Совместная инверсия морских магнитотеллурических и гравиметрических данных с учетом сейсмических ограничений – предварительные результаты построения изображений суббазальтов у Фарерского шельфа / М. Джеген, Р.В.Хобс, П. Тариц, А. Чаве // Планета Земля Sci Lett:– 2009. 47-55 с.

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

[4] Гололобов Д.В. Взаимодействие ЧМ-сигналов с анизотропной средой / Д.В. Гололобов [и др.] // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств. Сборник мат-ов 2 межд. научно-техн. конференции. – 15-17мая 2002г. – Новополоцк, 2002. 300-303 с.

[5] Interaction of two-frequency electromagnetic waves with anisotropic media over hydrocarbon accumulation. / V.F. Yanushkevich, D.A. Dauhiala, A.L. Adamovich, S.N. Abramenka and Siarhei V Kalintsau. // Journal of Physics: Conference Series 2373 (5), 052016.

© В.Ф. Янушкевич, 2024