

*И.В. Судько,
студент,
В.Ф. Янушкевич,
к.т.н., доц.,
ПГУ имени Е. Пулоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ

Аннотация: проведен анализ поверхностного импеданса участка местности над углеводородами. Выполнено моделирование амплитудных и фазовых характеристик поверхностного импеданса анизотропной среды над залежами нефти и газа. Проведены исследования характеристик двух составляющих поверхностного импеданса среды в зависимости от количества гармоник, длительности импульса и проводимости среды. Использование двух режимов измерений способствует повышению точности выделения углеводородов. Исследования могут быть применены в поисковой геофизике.

Ключевые слова: проводимость среды, несущая частота, углеводороды, поверхностный импеданс, диэлектрическая проницаемость.

Актуальность геологоразведочных работ возрастает, применение режимов облучения участка местности над углеводородами с возможностью вариации параметров ведет к повышению информативности методов поиска полезных ископаемых. Применение электромагнитных волн в режиме воздействия различных зондирующих сигналов для обнаружения углеводородных залежей (УВЗ) способствует повышению точности обнаружения залежей углеводородов [1 – 3]. Аппаратура для исследования характеристик распространяющихся над углеводородными залежами (УВЗ) сигналов постоянно усовершенствуется, активно внедряются новые методы для повышения точности обнаружения и выделения залежей углеводородов [4, 5]. Применяются новые методики интерпретации результатов измерений.

Проведен анализ взаимодействия импульсных сигналов с участком местности над углеводородами. Рассчитаны характеристики поверхностного импеданса среды над месторождениями нефти и газа по формулам [5]:

$$\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} = -\frac{1}{2j\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} \left(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L} \right), \quad (1)$$

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = \frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} \left(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L} \right),$$

В формулах (1) $\dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{21}, \dot{Z}_{22}$ – составляющие поверхностного импеданса, $\dot{\epsilon}_R$ и $\dot{\epsilon}_L$ – диэлектрические проницаемости среды для электромагнитных волн с правой и левой круговыми поляризациями. При анализе использовались параметры: ϵ_r , σ_r – диэлектрическая проницаемость и проводимость; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; $\omega = 2\pi F_2$ – несущая частота, n – количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала, τ , T – длительность и период импульса. Составляющие тензора среды над месторождениями нефти и газа имеют вид [5].

Проводилось моделирование поверхностного импеданса участка местности над углеводородами в программном пакете MathCad 14. Зависимости амплитудных и фазовых характеристик поверхностного импеданса поверхностного импеданса среды показаны на рис. 1 – 12.

Зависимости $|\dot{Z}_{21}(n)|$ подвержены изменениям для несущих частот $F_2 = 20 \cdot 10^7$, 10^9 Гц. С увеличением периода сигнала значения модуля уменьшаются. На зависимости $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$ более существенно влияют низкие значения диэлектрической проницаемости для $T = 2\tau$. Для $T = 5\tau$ при значениях $\tau = (1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5})$ с происходит влияние диэлектрической проницаемости на $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$, для $T = 2\tau$ – при значениях $\tau = 1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5}$ на $|\dot{Z}_{21}(\tau)|$

и на $\arg(\dot{Z}_{11}(\tau))$ и $\arg(\dot{Z}_{21}(\tau))$ – при значениях длительности $\tau = (1 \cdot 10^{-8} – 1 \cdot 10^{-5})$ с.

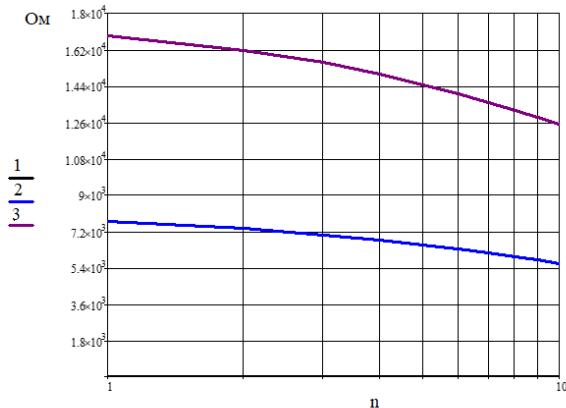


Рисунок 1 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(n)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 2\tau$

$$1 - F_2 = 10^4 \text{ Гц}, 2 - F_2 = 20 \cdot 10^7 \text{ Гц}, 3 - F_2 = 10^9 \text{ Гц}$$

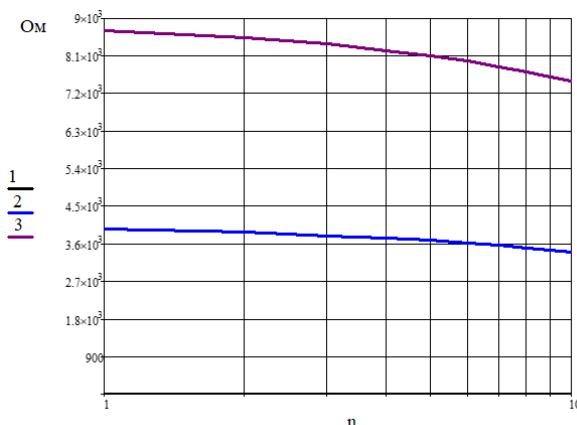


Рисунок 2 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(n)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 5\tau$

$$1 - F_2 = 10^4 \text{ Гц}, 2 - F_2 = 20 \cdot 10^7 \text{ Гц}, 3 - F_2 = 10^9 \text{ Гц}$$

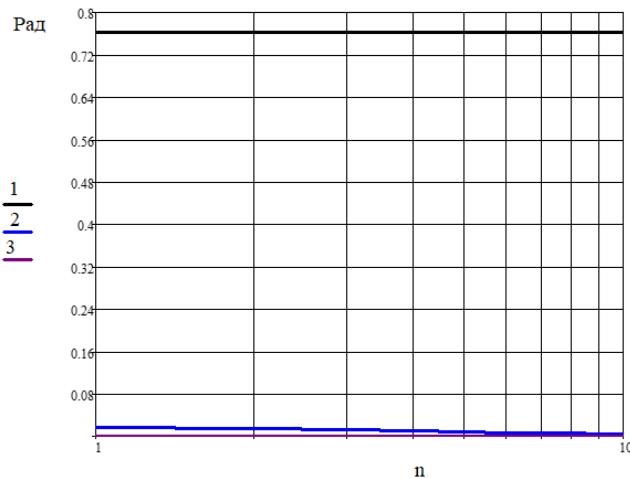


Рисунок 3 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(n))$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 2\tau$

1 – $F_2 = 10^4$ Гц, 2 – $F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц, 3 – $F_2 = 10^9$ Гц

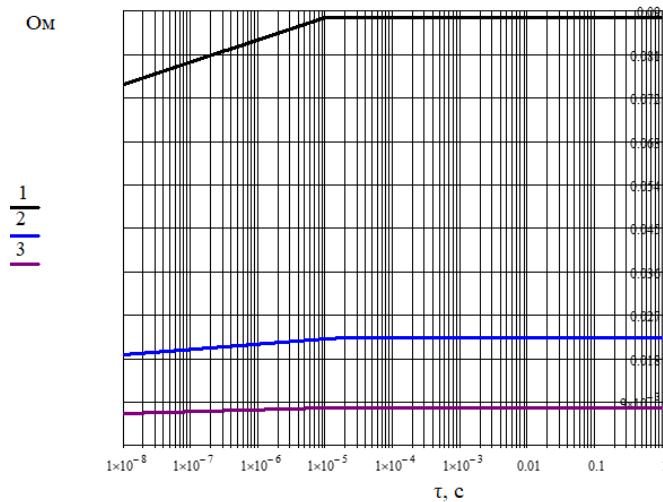


Рисунок 4 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$ для $n = 5$, $T = 2\tau$

1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

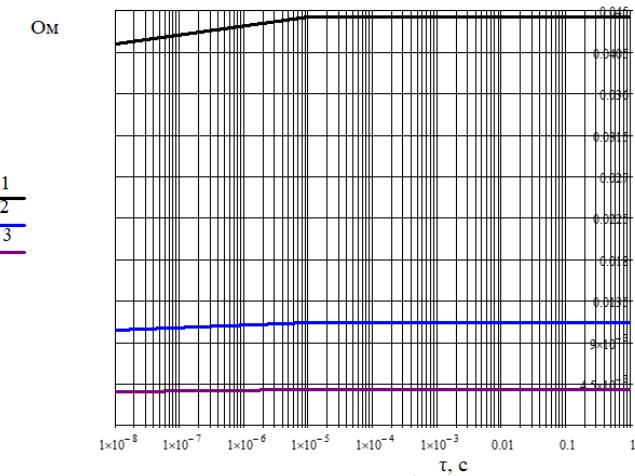


Рисунок 5 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$ для $n = 5, T = 5\tau$

1 – для $\varepsilon_r = 2, 2$ – для $\varepsilon_r = 5, 3$ – для $\varepsilon_r = 10$

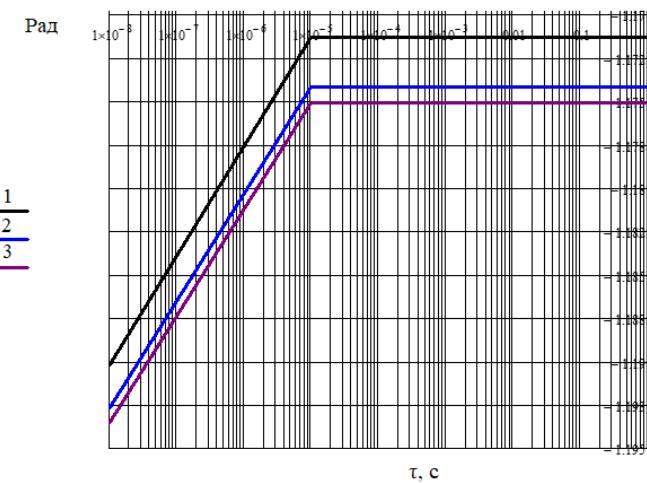


Рисунок 6 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(\tau))$ для $n = 5, T = 2\tau$

1 – для $\varepsilon_r = 2, 2$ – для $\varepsilon_r = 5, 3$ – для $\varepsilon_r = 10$

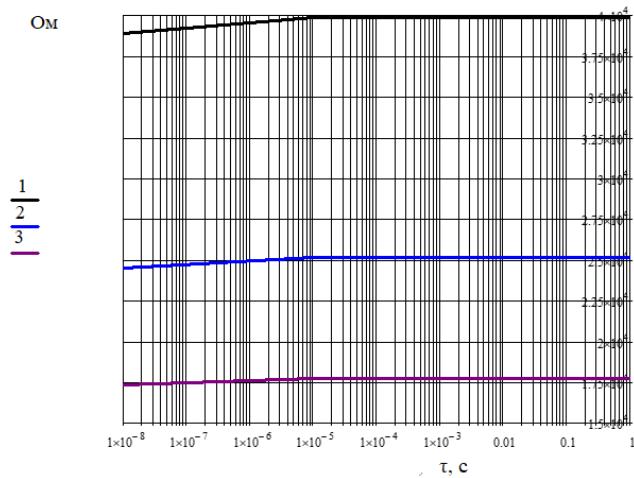


Рисунок 7 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(\tau)|$ для $n = 5$, $T = 2\tau$

1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

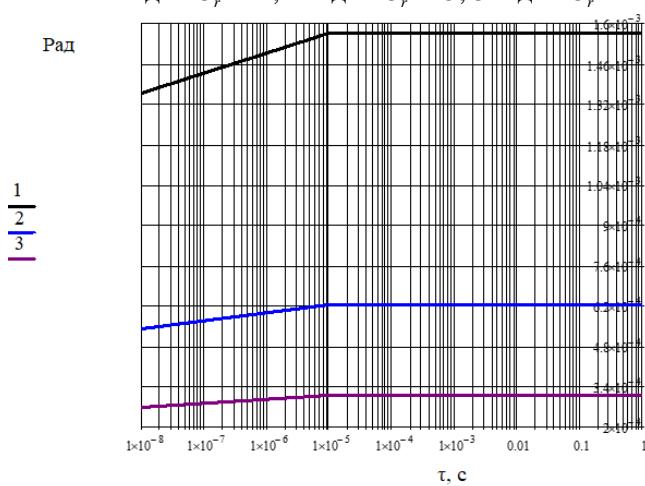


Рисунок 8 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(\tau))$ для $n = 5$, $T = 2\tau$

1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

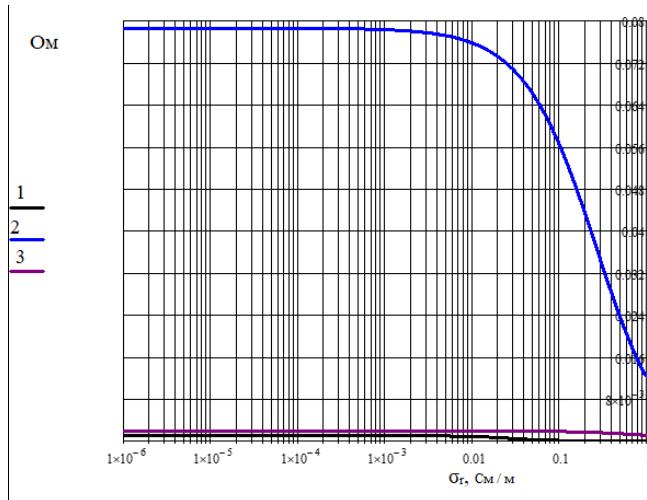


Рисунок 9 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\sigma_r)|$ для $F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц

1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

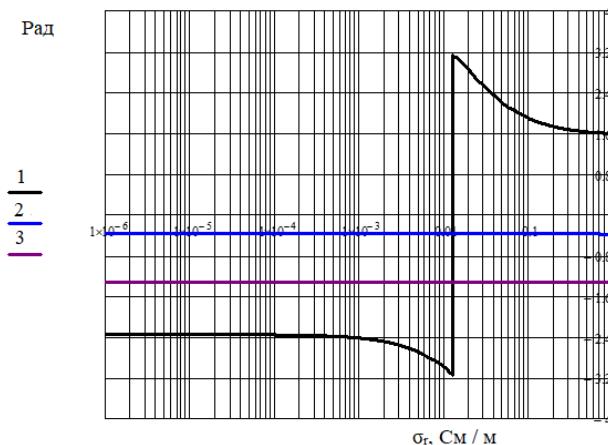


Рисунок 10 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(\sigma_r))$ для

$F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц

1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

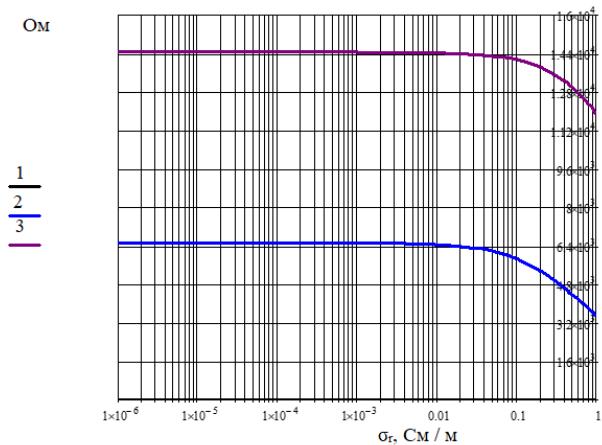


Рисунок 11 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(\sigma_r)|$ для $F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц,
 1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

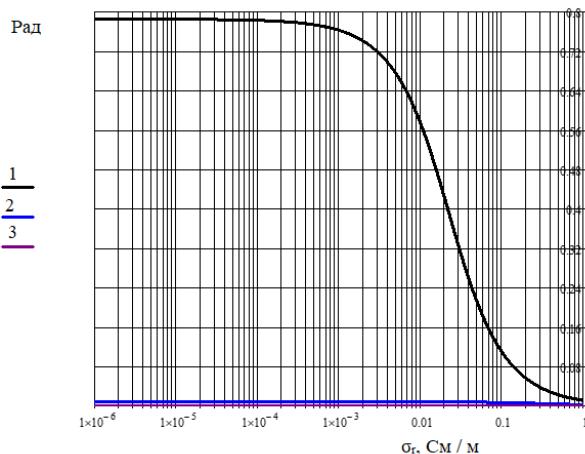


Рисунок 12 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(\sigma_r))$ для
 $F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц,
 1 – для $\varepsilon_r = 2$, 2 – для $\varepsilon_r = 5$, 3 – для $\varepsilon_r = 10$

Влияние проводимости проявляется для $F_2 = 20 \cdot 10^7$ Гц на

зависимости $|\dot{Z}_{11}(\sigma_r)|$ и на зависимости $|\dot{Z}_{21}(\sigma_r)|$ на отрезке $(0,01 - 1)$ См / м. Наблюдается скачкообразный рост значений $\arg(\dot{Z}_{11}(\sigma_r))$ при проводимости порядка $0,01$ См / м и уменьшение значений $\arg(\dot{Z}_{21}(\sigma_r))$ на отрезке $(0,001 - 1)$ См / м. Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(\sigma_r))$ наиболее подвержены изменениям при диэлектрической проницаемости $\epsilon_r = 2$.

Заключение. Проведен анализ амплитудных и фазовых характеристик поверхностного импеданса анизотропной среды над залежами нефти и газа. Исследования поверхностного импеданса среды выполнены при вариации количества гармоник и длительности радиоимпульса, проводимости среды. Результаты анализа могут быть применены для разработки геофизической аппаратуры.

Список использованных источников и 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. P. 15 – 24.
- [2] Moskvichew V.N. Interraction of electromagnetic waves (EMW) with anisotropic inclusion in communication line / V.N. Moskvichew // 9-th Microw. Conf. NICON – 91, Rydzyna, May 20-22, 1991. – Vol. 1. – P. 240-244.
- [3] Райлян, И.Г. Новая российская спутниковая технология поиска местоположений нефти, газа и других полезных ископаемых / И.Г. Райлян // Нефть, газ и бизнес. 2002. №6. С. 20.
- [4] Янушкевич В.Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей / В.Ф. Янушкевич. Новополоцк, ПГУ, 2017. 232 с.
- [5] Янушкевич В.Ф. Электромагнитные методы поиска и оконтуривания углеводородных залежей / В.Ф. Янушкевич, С.П. Алиева, С.В. Калинцев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки, 2022. №4. С. 81-91.

© И.В. Судько, В.Ф. Янушкевич, 2024