

*И.В. Судько,  
студент,  
В.Ф. Янушкевич,  
к.т.н., доц.,  
ПГУ имени Е. Полоцкой,  
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 совершенствуется, 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:  $\epsilon_r$ ,  $\sigma_r$  – диэлектрическая проницаемость и проводимость;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $\omega = 2\pi F_2$  – несущая частота,  $n$  – количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала,  $\tau$ ,  $T$  – 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.

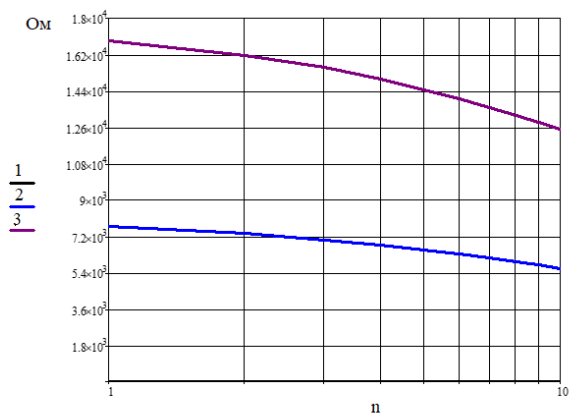


Рисунок 1 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(n)|$  для  $\varepsilon_r = 10$ ,  $T = 2\tau$

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

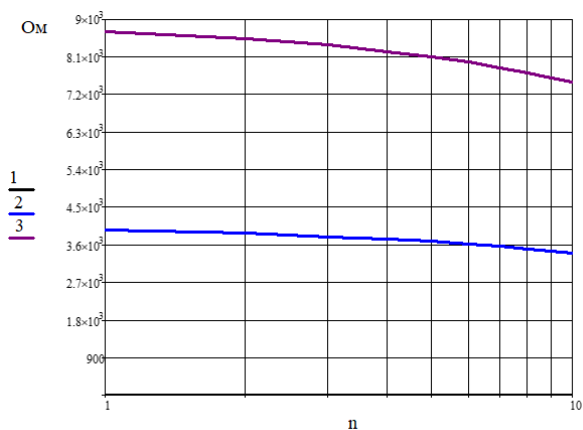


Рисунок 2 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(n)|$  для  $\varepsilon_r = 10$ ,  $T = 5\tau$

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

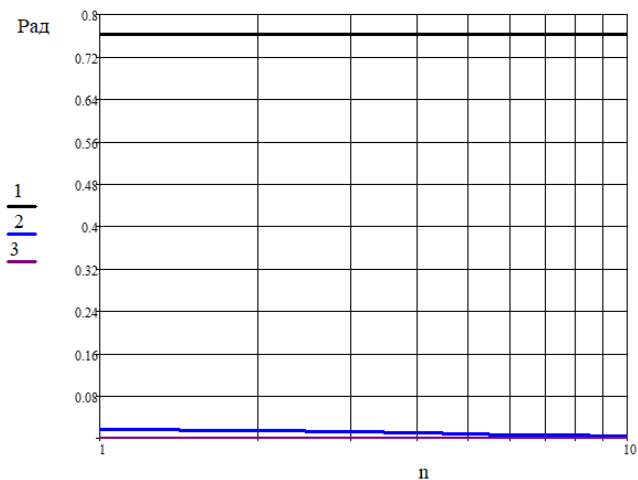


Рисунок 3 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{21}(n))$  для  $\varepsilon_r = 10$ ,  $T = 2\tau$

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

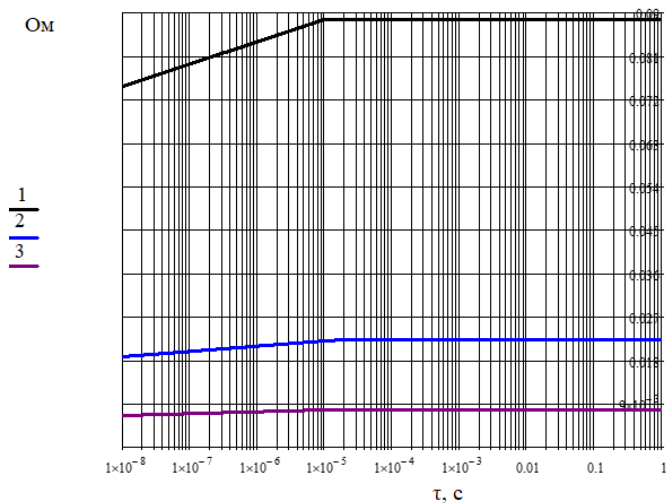


Рисунок 4 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$

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

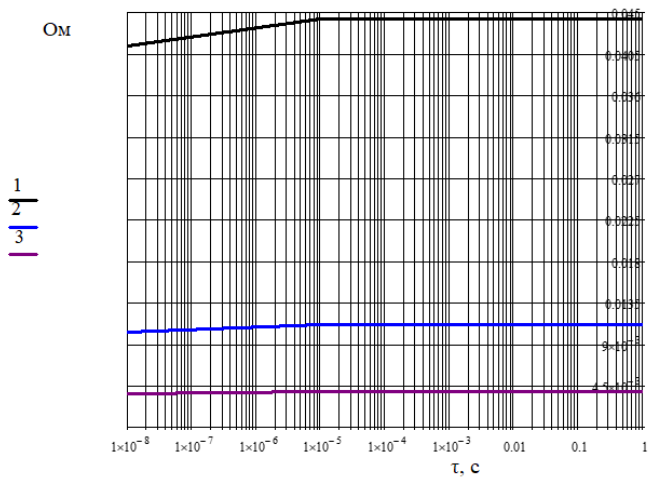


Рисунок 5 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\tau)|$  для  $n = 5, T = 5\tau$

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

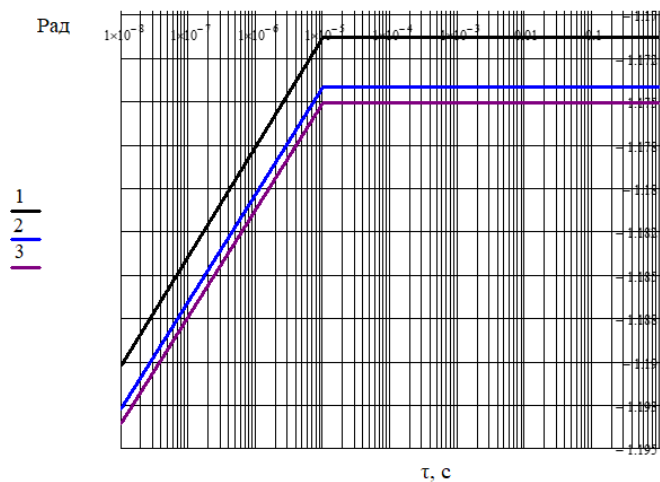


Рисунок 6 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(\tau))$  для  $n = 5, T = 2\tau$

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

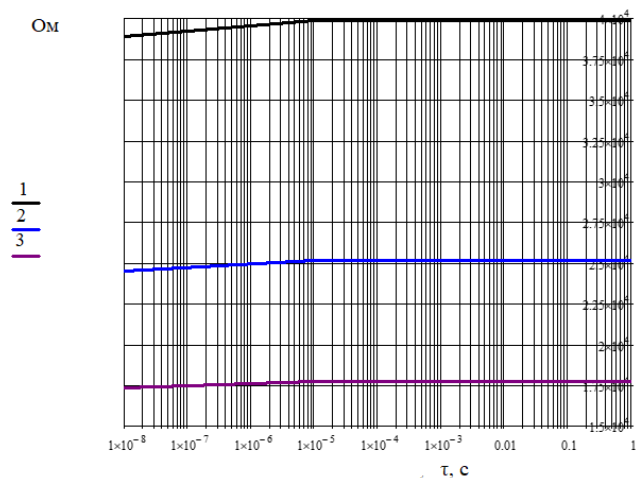


Рисунок 7 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(\tau)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$

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

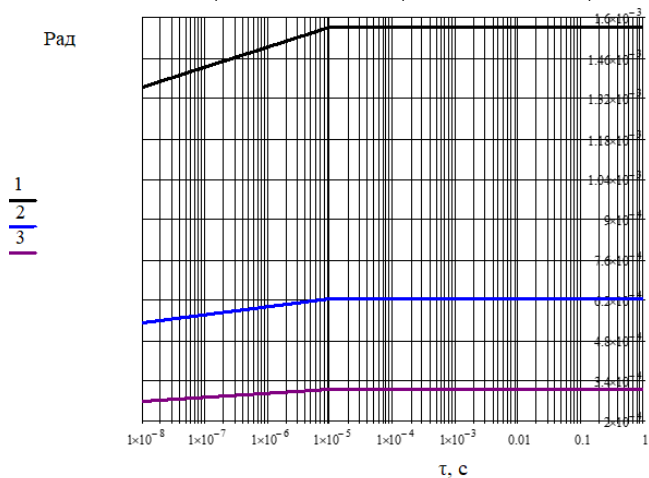


Рисунок 8 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{21}(\tau))$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$

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

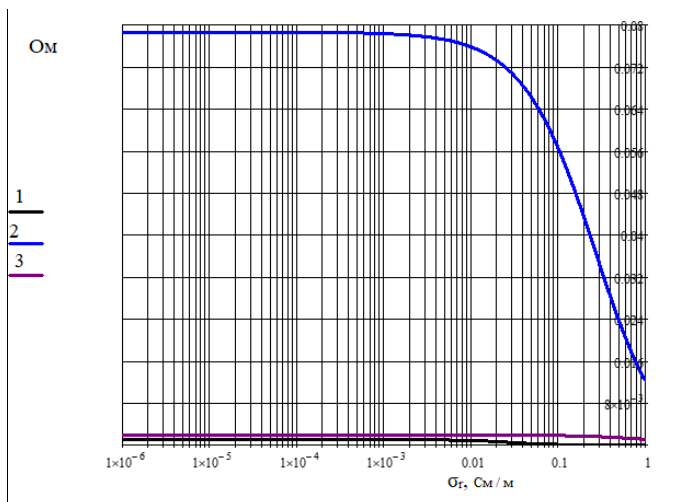


Рисунок 9 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\sigma_r)|$  для  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц

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

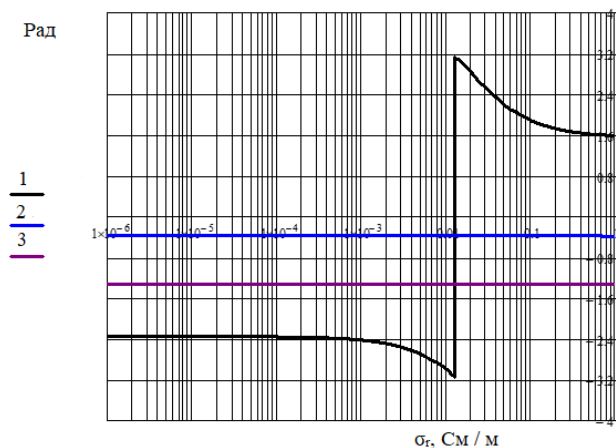


Рисунок 10 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(\sigma_r))$  для

$$F_2 = 20 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

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

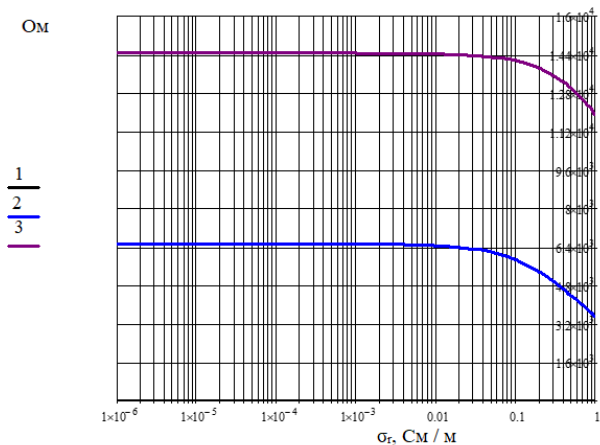


Рисунок 11 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(\sigma_r)|$  для  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц,  
1 – для  $\varepsilon_r = 2$ , 2 – для  $\varepsilon_r = 5$ , 3 – для  $\varepsilon_r = 10$

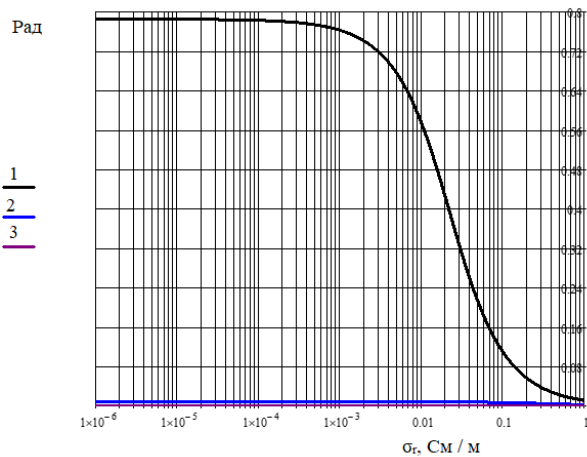


Рисунок 12 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{21}(\sigma_r))$  для  
 $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц,  
1 – для  $\varepsilon_r = 2$ , 2 – для  $\varepsilon_r = 5$ , 3 – для  $\varepsilon_r = 10$

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  $\varepsilon_r = 2$ .

**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) / С.Н. Henke, М. Krieger, К. Strack, А. Zerilli // Interpretatio. 2020. Vol. 8. №4. Р. 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. – Р. 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. Новополюцк, ПГУ, 2017. 232 с.
- [5] Янушкевич В.Ф. Электромагнитные методы поиска и оконтуривания углеводородных залежей / В.Ф. Янушкевич, С.П. Алиева, С.В. Калинин // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки, 2022. №4. С. 81-91.

© И.В. Судько, В.Ф. Янушкевич, 2024