

*И.В. Судько,  
студент,  
В.Ф. Янушкевич,*

*к.т.н., доц.,*

*ПГУ имени Е. Пулоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

## **ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОПРОФИЛЯ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ**

**Аннотация:** проведен анализ взаимодействия импульсных сигналов с геологическим профилем над углеводородами. Рассчитаны характеристики поверхностного импеданса среды над месторождениями нефти и газа. Исследование геологического профиля проводится на основе применения режима импульсных сигналов. Проведено моделирование модуля и фазы двух составляющих поверхностного импеданса среды. Результаты данных исследований могут быть применены в электроразведке.

**Ключевые слова:** геологический профиль, импульсный сигнал, углеводороды, поверхностный импеданс, длительность импульса.

Актуальность задач электроразведки возрастает, получение высокоэффективных способов поиска углеводородов и возможность более точного их оконтуривания являются важнейшими вопросами поисковой геофизики [1 – 3]. Исследование режимов двухчастотных и импульсных сигналов, распространяющихся над геологическим профилем над углеводородными залежами (УВЗ), способствует активному внедрению в поисковой геофизике для повышения эффективности способов обнаружения и оконтуривания залежей углеводородов [4, 5]. Обнаружение УВЗ основывается на изучении электрохимических и электрофизических эффектов в средах над залежами, получении откликов сигналов, интерпретацией результатов измерений.

Проведен анализ взаимодействия импульсных сигналов с

геологическим профилем над углеводородами. Составляющие тензора среды над месторождениями нефти и газа имеют вид [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\varepsilon}_1 = \varepsilon_r \cdot F \left( 1 + \frac{n\Omega_1}{\omega} \right) + \\ \left. \begin{array}{l} \frac{F \cdot \omega_{ni}^2}{\omega} \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1) \cdot [\omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2 - v_i^2]}{[v_i^2 + \omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \\ + \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{array}{l} -jF \left[ \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot v_i \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2 + \omega_{pi}^2}{[v_i^2 + \omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} + \right. \\ \left. + \frac{\delta_r F}{\omega \varepsilon_0} \right] \\ \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot F \cdot \omega_{pi} \cdot \frac{v_i^2 + \omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2}{[v_i^2 + \omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \\ - 2j \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot F \cdot \omega_{pi} \cdot v_i \cdot \frac{\omega + n\Omega_1}{[v_i^2 + \omega_{pi}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} \end{array} \right\} \\ \dot{\varepsilon}_2 = \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{array}{l} F \left( 1 + \frac{n\Omega_1}{\omega} \right) \times \\ \times \left[ \varepsilon_r - \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} \right] - j \left[ \begin{array}{l} \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot F \cdot v_i \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} + \\ + \frac{\delta_r F}{\omega \varepsilon_0} \end{array} \right] \end{array} \right\} \\ \dot{\varepsilon}_3 = \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{array}{l} F \left( 1 + \frac{n\Omega_1}{\omega} \right) \times \\ \times \left[ \varepsilon_r - \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} \right] - j \left[ \begin{array}{l} \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot F \cdot v_i \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} + \\ + \frac{\delta_r F}{\omega \varepsilon_0} \end{array} \right] \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (3)$$

В формулах (1)  $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\varepsilon}_3$  – составляющие тензора;  $\varepsilon_r, \delta_r$  – диэлектрическая проницаемость и проводимость;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $\omega_{ni}$  – плазменная частота;  $V_i$  – частота столкновения частиц;  $\omega_{pi}$  – гиротропная частота,  $\Omega_1$  –

круговая частота следования импульсов,  $\omega = 2\pi F_2$  – несущая частота,  $F$  – множитель,  $n$  – количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала.

Рассчитаны характеристики поверхностного импеданса среды над месторождениями нефти и газа по формулам [3, с. 90]

$$\dot{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Зависимости поверхностного импеданса среды показаны на рис. 1 – 11.

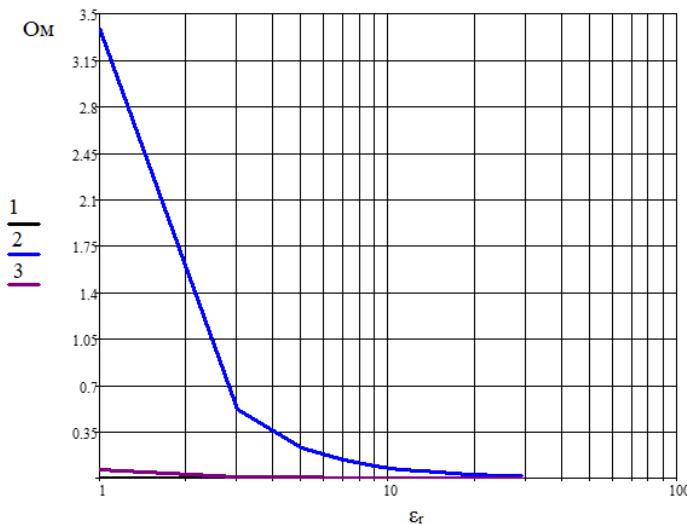


Рисунок 1 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\epsilon_r)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$ :  
 1 –  $10^4$  Гц, 2 –  $20 \cdot 10^7$  Гц, 3 –  $10^9$  Гц

Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\epsilon_r)|$  наиболее контрастно изменяются для несущей частоты  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц. Влияние диэлектрической проницаемости геологического профиля над углеводородами более существенно проявляется на отрезке 1 – 5. На зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(\epsilon_r))$  оказывает влияние несущая частота  $F_2$

$= 20 \cdot 10^7$  Гц.

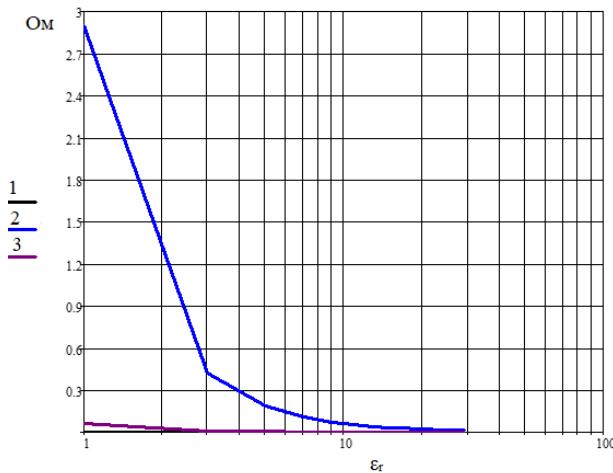


Рисунок 2 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 10\tau$  и  $F_2 =$ :

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

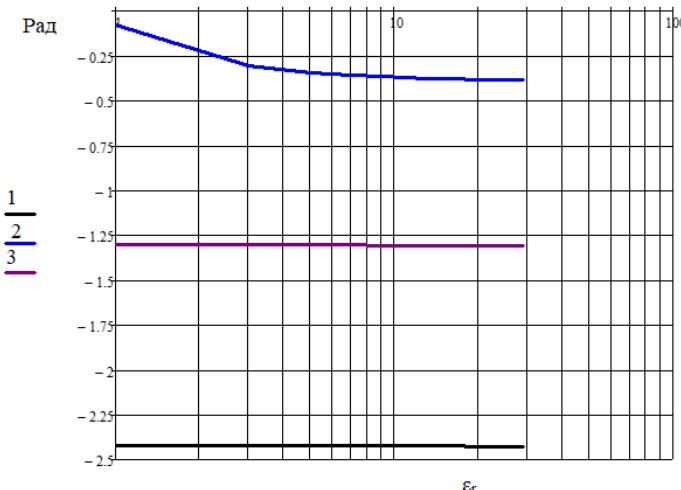


Рисунок 3 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r))$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$ :

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

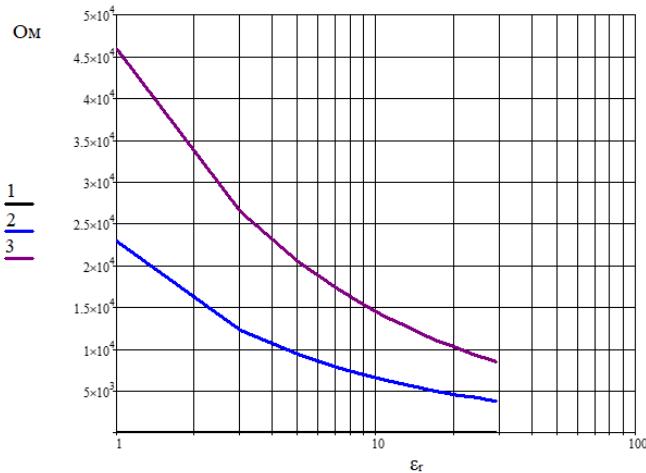


Рисунок 4 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(\epsilon_r)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$ :

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

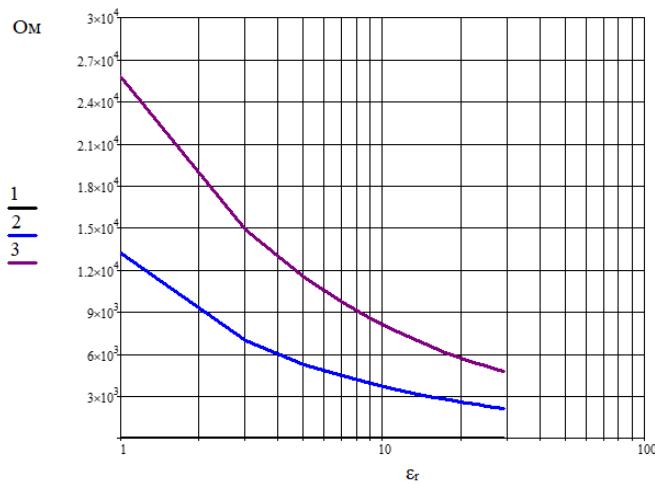


Рисунок 5 – Зависимости  $|\dot{Z}_{21}(\epsilon_r)|$  для  $n = 5$ ,  $T = 5\tau$  и  $F_2 =$ : 1 –  $10^4$

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

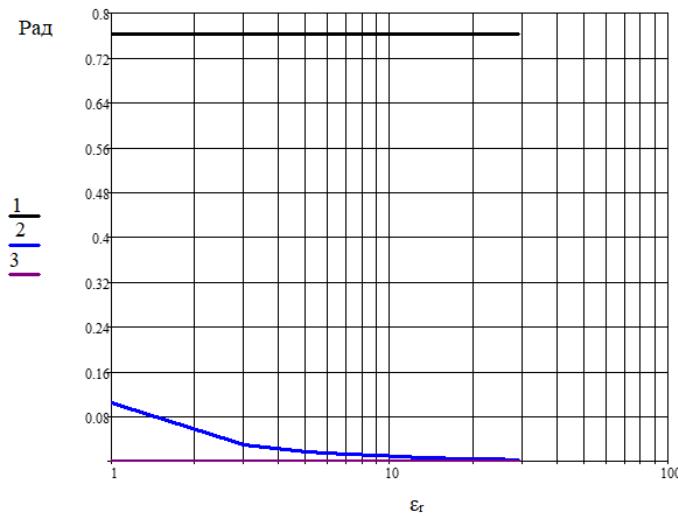


Рисунок 6 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{21}(\varepsilon_r))$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$ :  
 1 –  $10^4$  Гц, 2 –  $20 \cdot 10^7$  Гц, 3 –  $10^9$  Гц

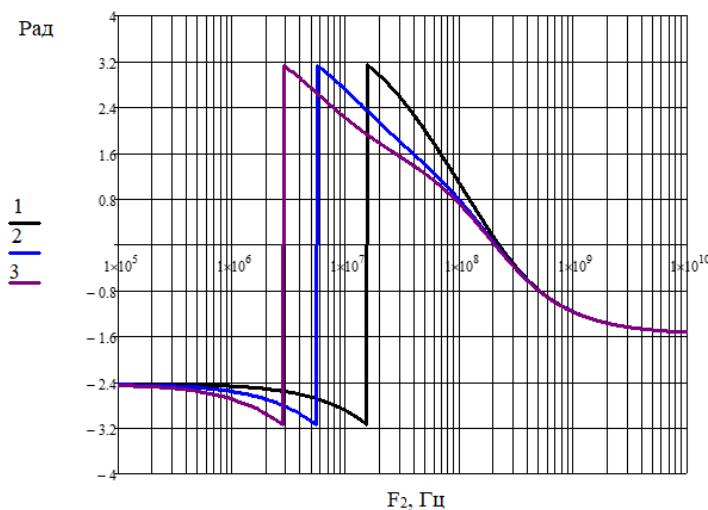


Рисунок 7 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(F_2))$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$   
 1 – для  $\varepsilon_r = 5$ , 2 – для  $\varepsilon_r = 15$ , 3 – для  $\varepsilon_r = 30$

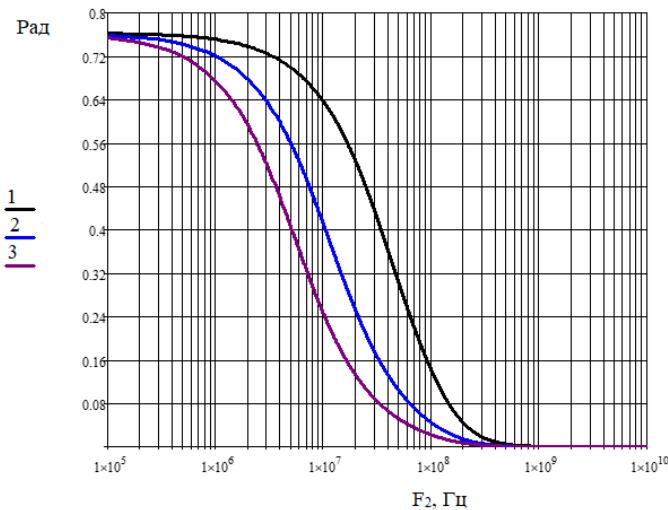


Рисунок 8 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{21}(F_2))$  для  $n = 5$ ,  $T = 2\tau$   
 1 – для  $\epsilon_r = 5$ , 2 – для  $\epsilon_r = 15$ , 3 – для  $\epsilon_r = 30$

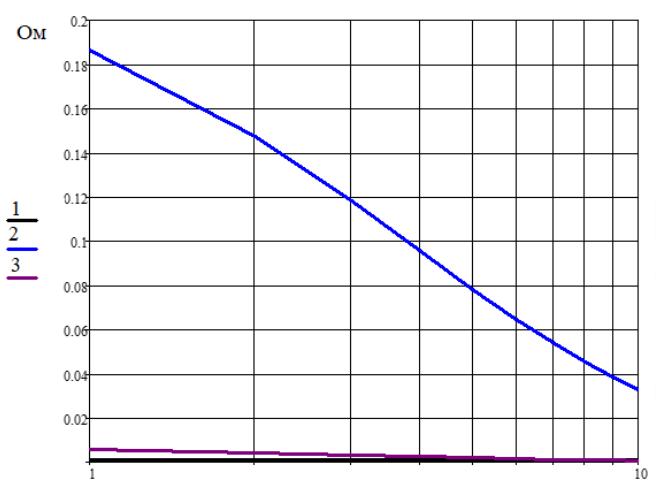


Рисунок 9 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(n)|$  для  $\epsilon_r = 10$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$   
 1 –  $10^4$  Гц, 2 –  $20 \cdot 10^7$  Гц, 3 –  $10^9$  Гц

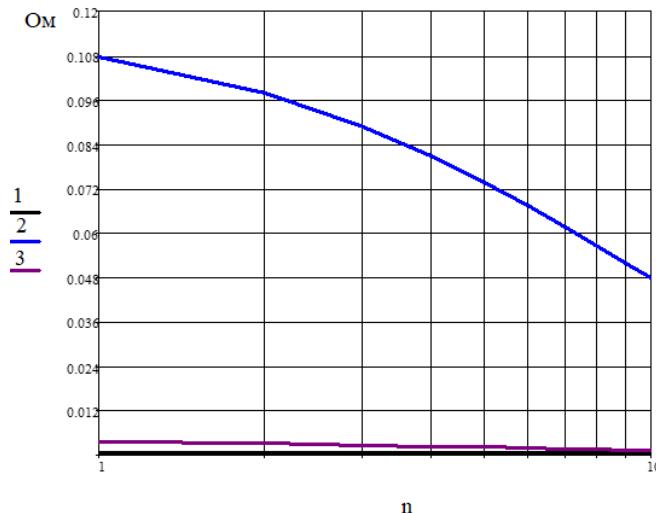


Рисунок 10 – Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(n)|$  для  $\varepsilon_r = 10$ ,  $T = 5\tau$  и  $F_2 =$   
 1 –  $10^4$  Гц, 2 –  $20 \cdot 10^7$  Гц, 3 –  $10^9$  Гц

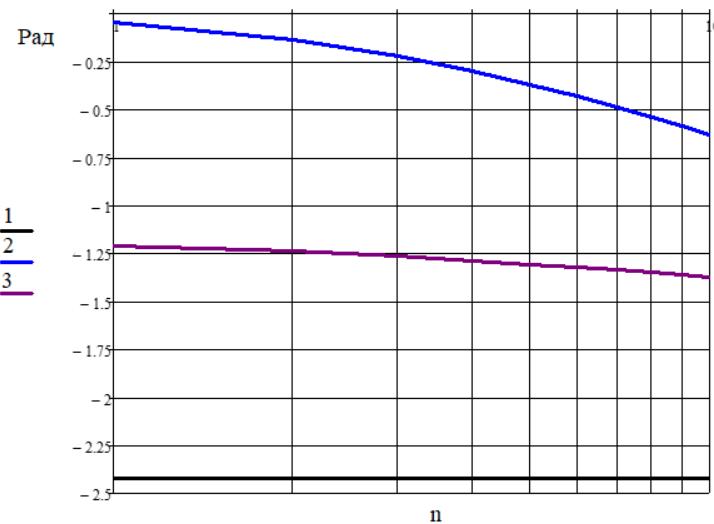


Рисунок 11 – Зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(n))$  для  $\varepsilon_r = 10$ ,  $T = 2\tau$  и  $F_2 =$   
 1 –  $10^4$  Гц, 2 –  $20 \cdot 10^7$  Гц, 3 –  $10^9$  Гц

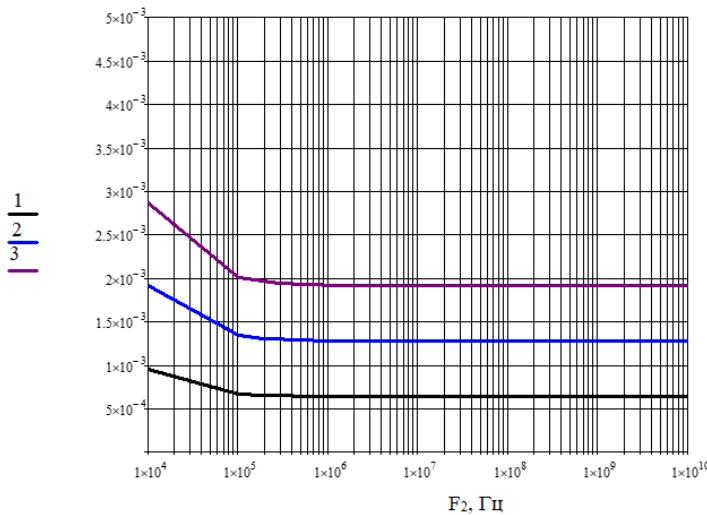


Рисунок 12 – Зависимости  $\text{Re}(\dot{\epsilon}_3(F_2))$  для  $\tau = 10^{-4}$  с

$$1 - \epsilon_r = 10, 2 - \epsilon_r = 20, 3 - \epsilon_r = 30$$

Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(\epsilon_r)|$  наиболее контрастно изменяются для несущей частоты  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц. Влияние диэлектрической проницаемости геологического профиля над углеводородами более существенно проявляется на отрезке 1 – 5. На зависимости  $\arg(\dot{Z}_{11}(\epsilon_r))$  оказывает влияние несущая частота  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц. На аналогичные характеристики  $\dot{Z}_{21}$  наиболее контрастно влияют несущие частоты  $F_2 = 20 \cdot 10^7, 10^9$  Гц, за исключением фазовых, для которых играет роль только частота  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц. Наблюдается скачкообразный рост значений  $\arg(\dot{Z}_{11}(F_2))$  на отрезке (3 – 15) МГц и уменьшение значений  $\arg(\dot{Z}_{21}(F_2))$  на отрезке (1 – 100) МГц. Зависимости  $|\dot{Z}_{11}(n)|$  и  $\arg(\dot{Z}_{11}(n))$  наиболее подвержены изменениям при несущей

частоте  $F_2 = 20 \cdot 10^7$  Гц. Зависимости  $\text{Re}(\dot{\varepsilon}_3(F_2))$  характеризуются влиянием частоты радиоимпульса на отрезке  $(10^4 - 10^5)$  Гц.

**Заключение.** Проведен анализ взаимодействия импульсных сигналов с геологическим профилем над углеводородами. Данные исследований поверхностного импеданса подстилающей среды над залежами позволяют дифференцировать среды по различию сопротивлений. Результаты анализа могут быть внедрены для разработки аппаратуры обнаружения и оконтуривания залежей углеводородов.

#### *Список использованных источников и литературы:*

- [1] Гололобов Д.В. Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей. – Минск: Бестпринт, 2009. – 185 с.
- [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. – Pp. 240-244.
- [3] Электродинамический отклик анизотропной среды над углеводородными залежами на воздействие частотно-модулированных сигналов / В.Ф. Янушкевич, С.В. Калинцев, В.А. Богуш, И.В. Судько // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2023. – Т. 13, №2. – С. 30-38. – EDN RQYXMXZ.
- [4] Hydrocarbon exploration technique based on the ratio coefficient measurement of two-frequency amplitudes. Yanushkevich, V.F., Dauhiala, D.A., Adamovich, A.L., Maladzechkina, T.V., Vershinin, A.S. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, 1231(1), 012068.
- [5] Янушкевич В.Ф. Методы поиска и оконтуривания углеводородных залежей с использованием модулированных и радиоимпульсных сигналов / В.Ф. Янушкевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки, 2022. №11(39). С. 89-98.