

*И.В. Судько,
студент,
В.Ф. Янушкевич,
к.т.н., доц.,
ПГУ имени Е. Полоцкой,
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]:

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

В формулах (1) $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\varepsilon}_3$ – составляющие тензора; ε_r, δ_r – диэлектрическая проницаемость и проводимость; ε_0 – диэлектрическая постоянная; ω_{ni} – плазменная частота; ν_i – частота столкновения частиц; $\omega_{\Gamma i}$ – гиротропная частота, Ω_1 –

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

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

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

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

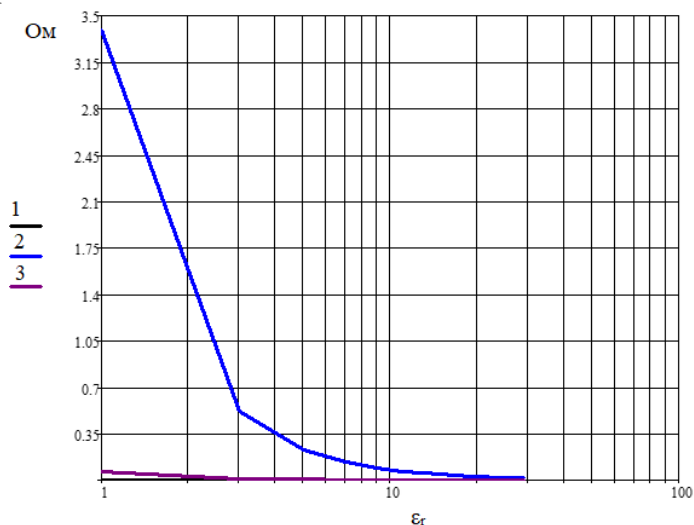


Рисунок 1 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r)|$ для $n = 5$, $T = 2\tau$ и $F_2 =$:

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

Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r)|$ 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 $\arg(\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r))$ оказывает влияние несущая частота F_2

$$= 20 \cdot 10^7 \text{ Гц.}$$

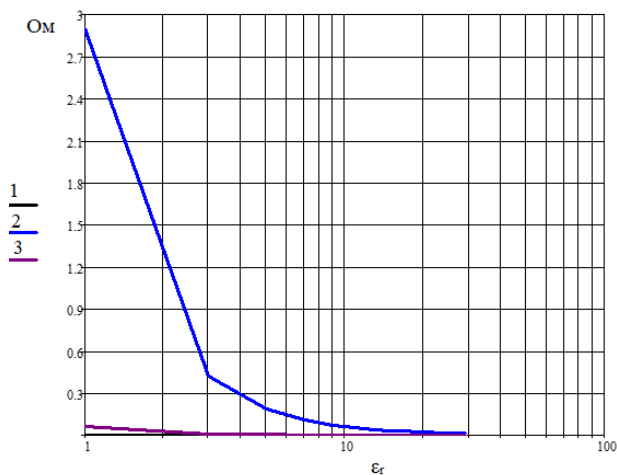


Рисунок 2 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\epsilon_r)|$ для $n = 5$, $T = 10\tau$ и $F_2 =$:

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

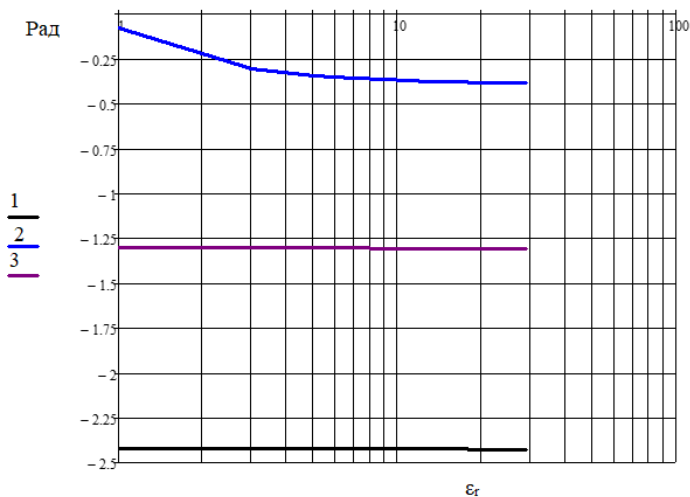


Рисунок 3 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(\epsilon_r))$ для $n = 5$, $T = 2\tau$ и $F_2 =$:

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

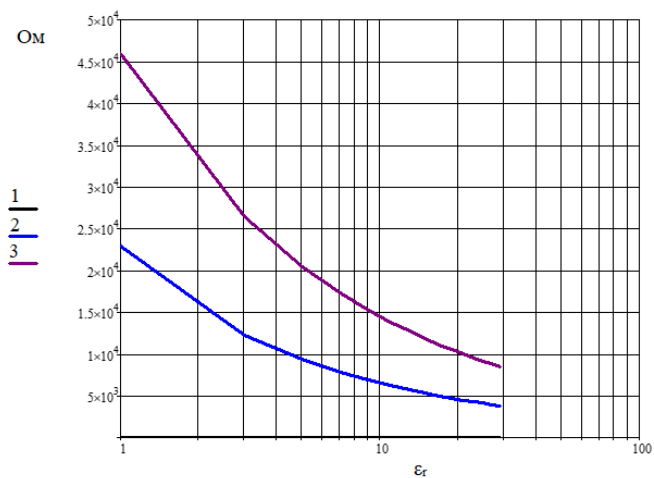


Рисунок 4 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(\epsilon_r)|$ для $n = 5$, $T = 2\tau$ и $F_2 =:$
 1 – 10^4 Гц, 2 – $20 \cdot 10^7$ Гц, 3 – 10^9 Гц

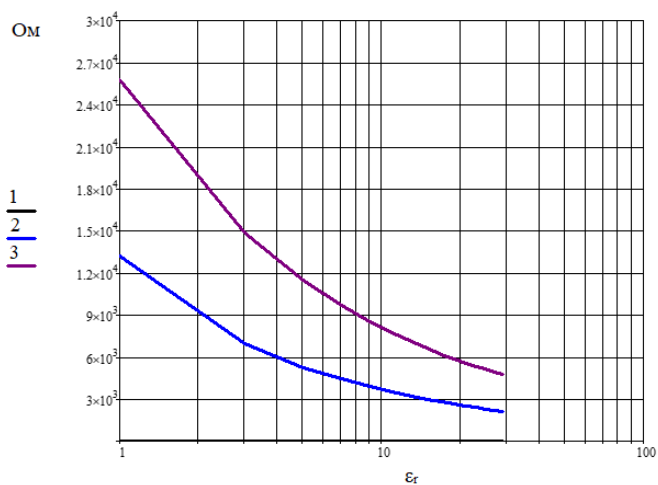


Рисунок 5 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(\epsilon_r)|$ для $n = 5$, $T = 5\tau$ и $F_2 =:1-10^4$
 Гц, 2 – $20 \cdot 10^7$ Гц, 3 – 10^9 Гц

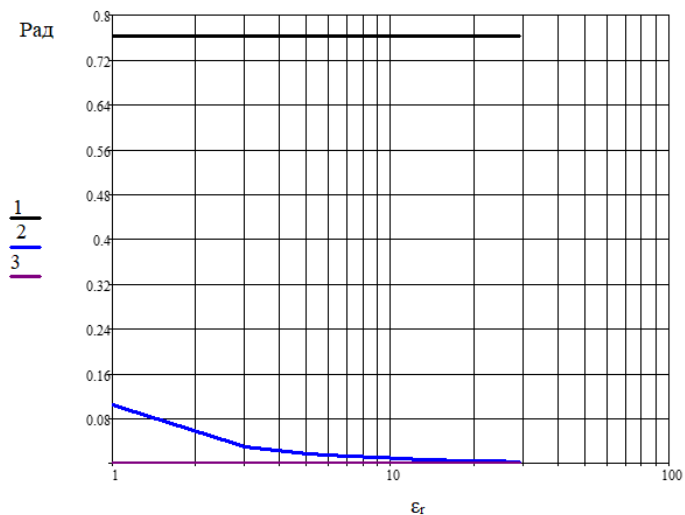


Рисунок 6 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(\varepsilon_r))$ для $n = 5$, $T = 2\tau$ и $F_2 =$:
 1 – 10^4 Гц, 2 – $20 \cdot 10^7$ Гц, 3 – 10^9 Гц

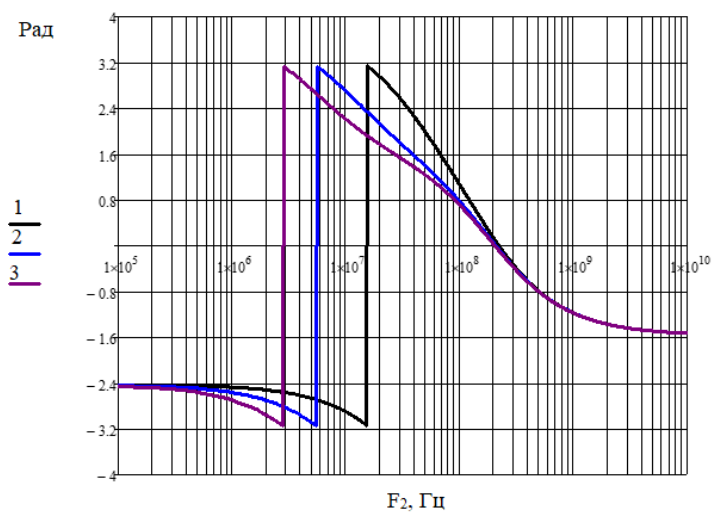


Рисунок 7 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(F_2))$ для $n = 5$, $T = 2\tau$
 1 – для $\varepsilon_r = 5$, 2 – для $\varepsilon_r = 15$, 3 – для $\varepsilon_r = 30$

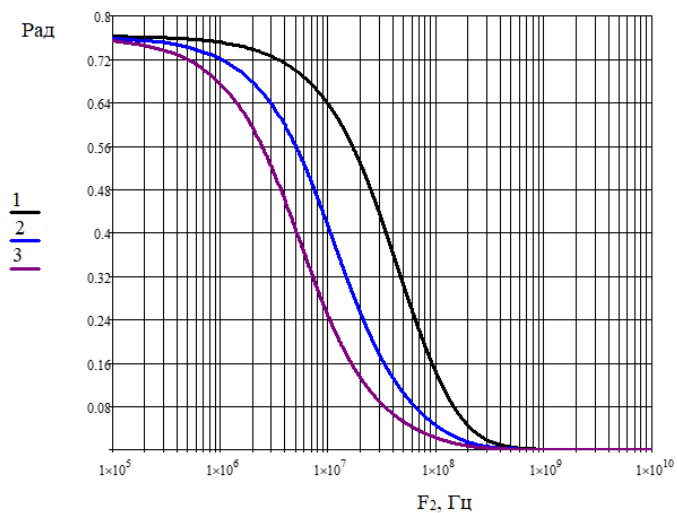


Рисунок 8 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(F_2))$ для $n = 5$, $T = 2\tau$
 1 – для $\varepsilon_r = 5$, 2 – для $\varepsilon_r = 15$, 3 – для $\varepsilon_r = 30$

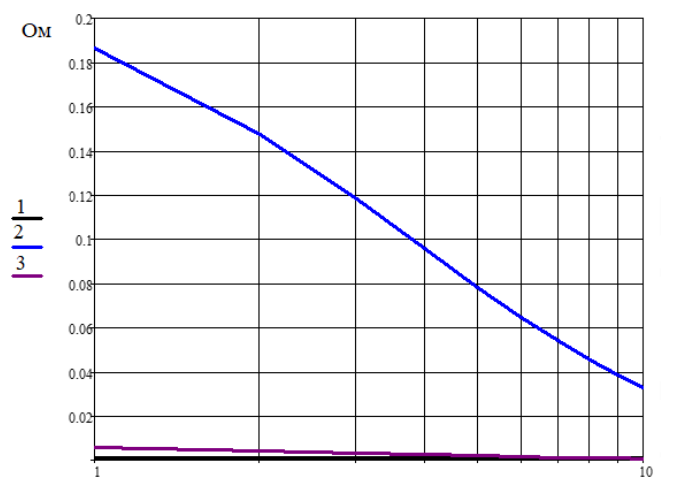


Рисунок 9 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(n)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 2\tau$ и $F_2 =$:
 1 – 10^4 ГГц, 2 – $20 \cdot 10^7$ ГГц, 3 – 10^9 ГГц

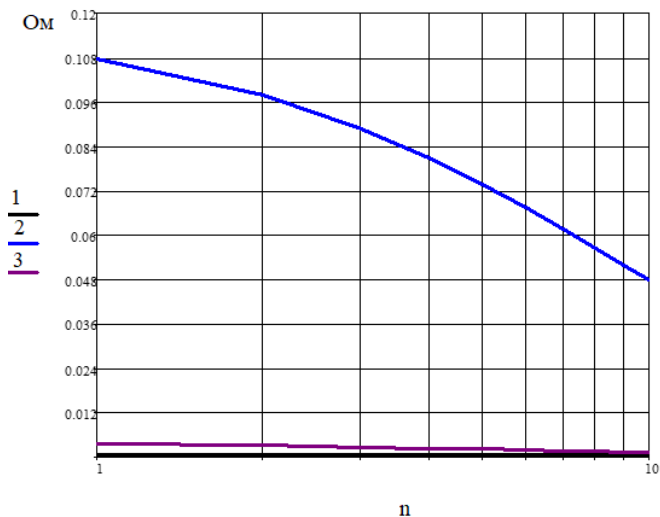


Рисунок 10 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(n)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 5\tau$ и $F_2 =$:

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

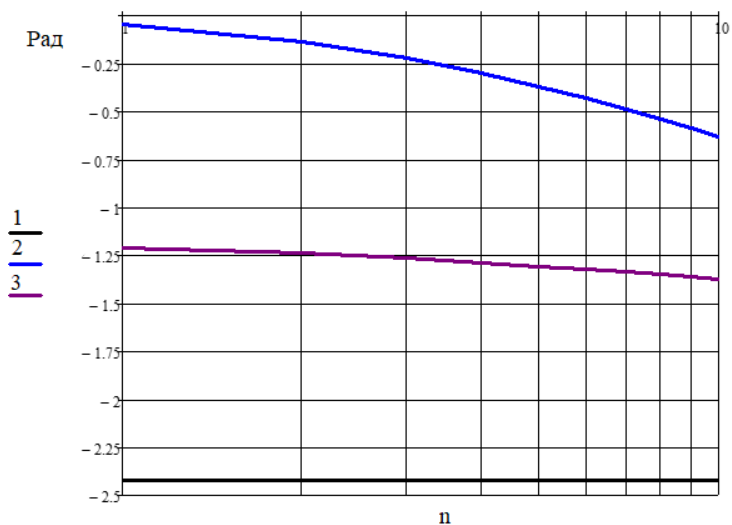


Рисунок 11 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(n))$ для $\varepsilon_r = 10$, $T = 2\tau$ и $F_2 =$:

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

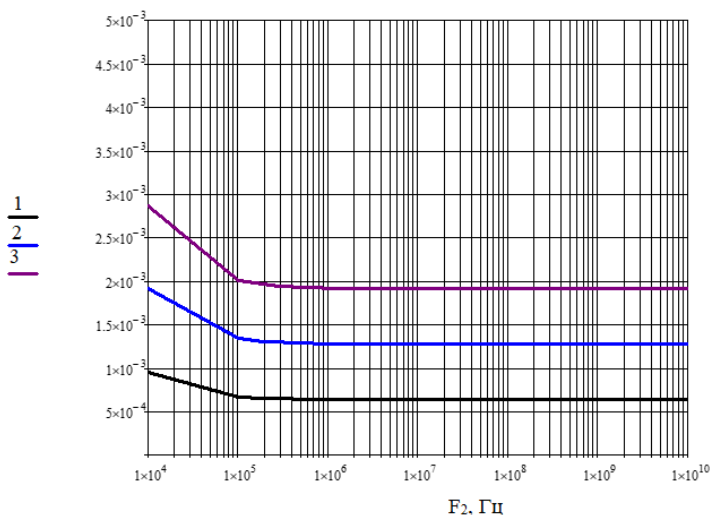


Рисунок 12 – Зависимости $\text{Re}(\dot{\varepsilon}_3(F_2))$ для $\tau = 10^{-4}$ с

1 – $\varepsilon_r = 10$, 2 – $\varepsilon_r = 20$, 3 – $\varepsilon_r = 30$

Зависимости $|\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r)|$ 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 $\arg(\dot{Z}_{11}(\varepsilon_r))$ 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 $\text{Re}(\dot{\epsilon}_3(F_2))$ 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 позволят 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. Interaction 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. – Рр. 240-244.

[3] Электродинамический отклик анизотропной среды над углеводородными залежами на воздействие частотно-модулированных сигналов / В.Ф. Янушкевич, С.В. Калинин, В.А. Богуш, И.В. Судько // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2023. – Т. 13, №2. – С. 30-38. – EDN RQYXMZ.

[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.

© И.В. Судько, В.Ф. Янушкевич, 2024