УДК 621.371.39(035.3)

ХАРАКТЕРИСТИКИ АНИЗОТРОПНОГО СЛОЯ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ В РЕЖИМЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА

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

Аннотация: В данной статье приводится анализ взаимодействия двухчастотных электромагнитных волн с использованием мощного низкочастотного сигнала с анизотропными средами над месторождениями нефти и газа для поиска и оконтуривания границ углеводородных залежей. Получены и исследованы вещественные и фазовые составляющие тензора диэлектрической проницаемости для комбинированных элементов, абсолютные и фазовые характеристики составляющих поверхностного импеданса среды над углеводородами. Амплитудные и фазовые характеристики компонентов тензора диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса анизотропной среды над углеводородами могут быть применены для проведения геологоразведочных работ.

Ключевые слова: анизотропная среда, двухчастотный сигнал, поверхностный импеданс, тензор диэлектрической проницаемости

Активное внедрение аппаратуры для поиска углеводородов определяется научными и практическими интересами по обеспечению поисковой геофизики эффективными методами георазведки с высоким уровнем точности и достоверности обнаружения месторождений углеводородных залежей (УВЗ) [1-3]. Исследования, проведенные в данной работе, основаны на изучении характери-стик верхнего слоя над углеводородами. За счет влияния углеводородов на данный слой возможно определение глубины залегания УВЗ. Ее зависимость может быть изучена по проявлению контраста напряженности электрического поля электромагнитной волны (ЭМВ)

по исследуемому геологическому профилю местности [4, 5]. Проведен анализ взаимодействия двухчастотных сигналов с профилем над углеводородами с тензором вида [5].

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_1 = \varepsilon_r \dfrac{\tilde{\omega}_1}{\omega_2} + \sum\limits_{i=1}^{2} \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \tilde{\omega}_1}{\omega_2} \dfrac{\omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2 - \nu_i^2}{(\nu_i^2 + \omega_{\Gamma\ i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 \nu_i^2} - \\ -j \left[\dfrac{-\varepsilon_r k_E (1-k_\omega) \sin \alpha t}{1 + k_E \cos \alpha t} + \right. \\ \left. + \dfrac{\dfrac{\sigma_r}{\omega_2 \varepsilon_0} + }{+ \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \nu_i}{\omega_2} \dfrac{\tilde{\omega}_1^2 + \nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2}{(\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 \nu_i^2}} \right] \end{array} \right\}, \\ \dot{\varepsilon}_2 = \sum\limits_{i=1}^{2} \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \omega_{\Gamma i}}{\omega_2} \dfrac{\omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2 + \nu_i^2}{(\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 \nu_i^2} - \\ - \dfrac{2j\tilde{\omega}_1 \nu_i \omega_{\Pi i}^2 \omega_{\Gamma i}}{\left[(\nu_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 \nu_i^2 \right] \omega_2} \end{array} \right\}, \\ \dot{\varepsilon}_3 = \varepsilon_r \dfrac{\tilde{\omega}_1}{\omega_2} + \sum\limits_{i=1}^{2} \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \tilde{\omega}_1}{\omega_2} \dfrac{1}{\nu_i^2 + \tilde{\omega}_1^2} - \\ -j \left[\dfrac{-\varepsilon_r k_E (1-k_\omega) \sin \alpha t}{1 + k_E \cos \alpha t} + \dfrac{\dfrac{\sigma_r}{\omega_2 \varepsilon_0} + }{+ \dfrac{\omega_{\Pi i}^2 \nu_i}{\omega_2} \dfrac{1}{\tilde{\omega}_1^2 + \nu_i^2}} \right] \end{array} \right\} \end{cases} \quad (1)$$

Рисунок 1 – Взаимодействие двухчастотных сигналов с профилем над углеводородами с тензором

На данном этапе задача исследований заключается в определении характеристик анизотропной среды над углеводородами

на основании полученного отраженного сигнала от верхнего слоя при воздействии двухчастотной либо модулированной ЭМВ.

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; $\omega_{Гi}$ – гиротропная частота, $\widetilde{\omega}_1$ – частотная компонента, зависящая от частот двух сигналов ω_1 и ω_2, k_E и k_ω – коэффициенты отношения амплитуд и частот ЭМВ, α – разность двух частот.

Зависимости комбинационных составляющих компонентов диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса среды над углеводородами показаны на рисунках 2-12.

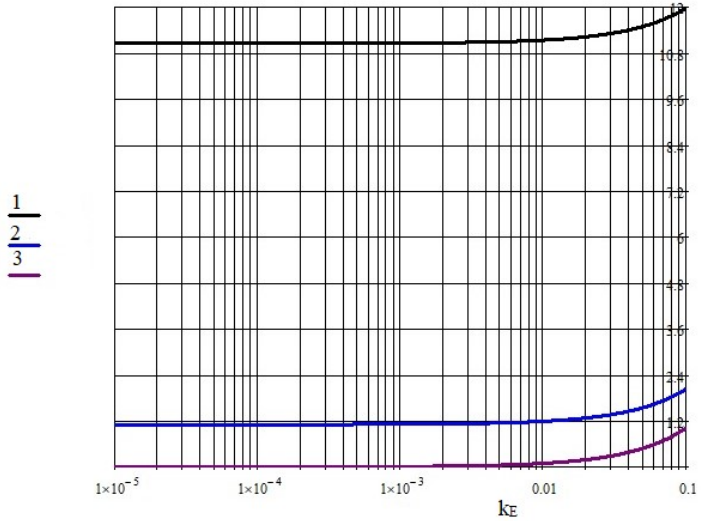


Рисунок 2 – Зависимости $Re(\grave{\varepsilon}_R(k_E))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$: (1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

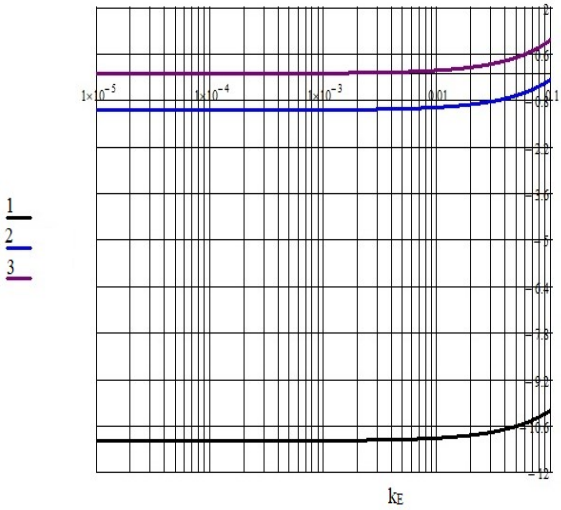


Рисунок 3 – Зависимости $\mathrm{Re}(\dot{\varepsilon}_L(k_E))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

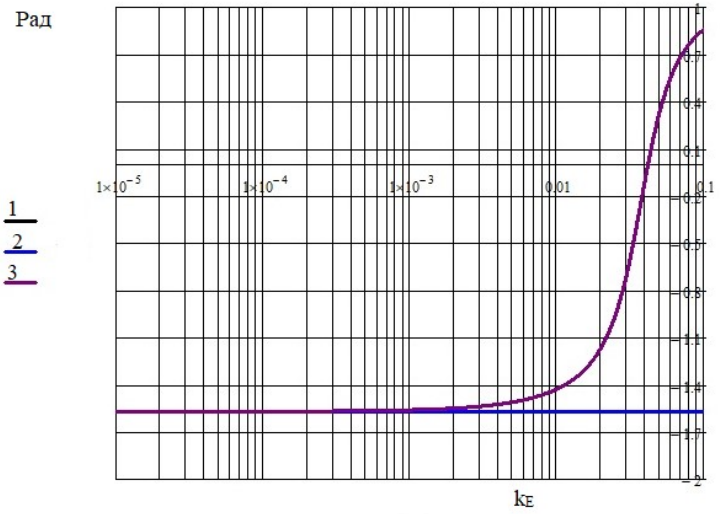


Рисунок 4 – Зависимости $\arg(\dot{\varepsilon}_R(k_E))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

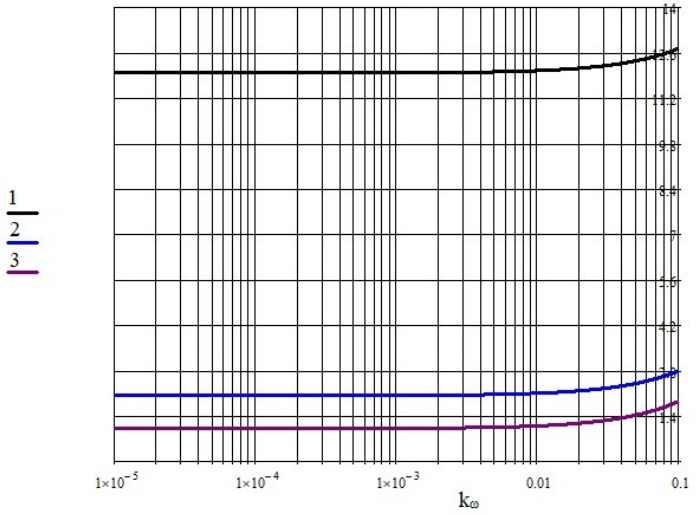


Рисунок 5 – Зависимости $Re(\grave{\varepsilon}_R(k_\omega))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

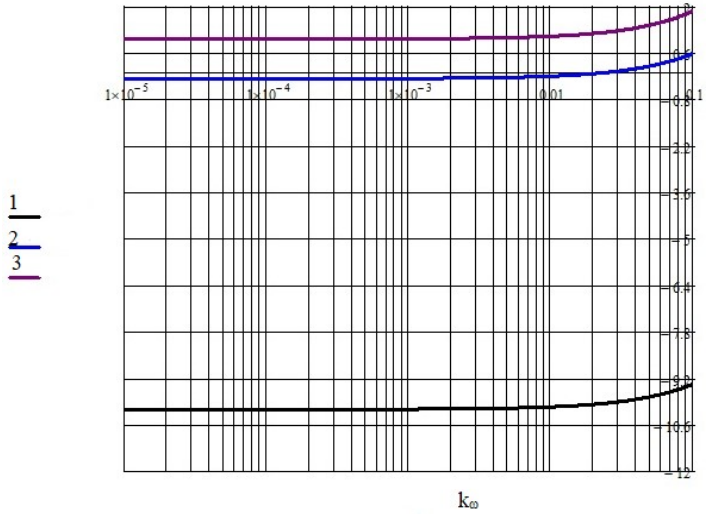


Рисунок 6 – Зависимости $Re(\grave{\varepsilon}_L(k_\omega))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

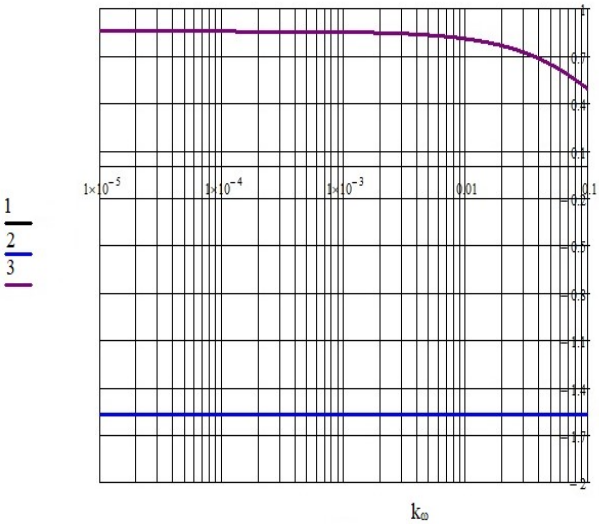


Рисунок 7 – Зависимости $\arg(\dot{\varepsilon}_R(k_\omega))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

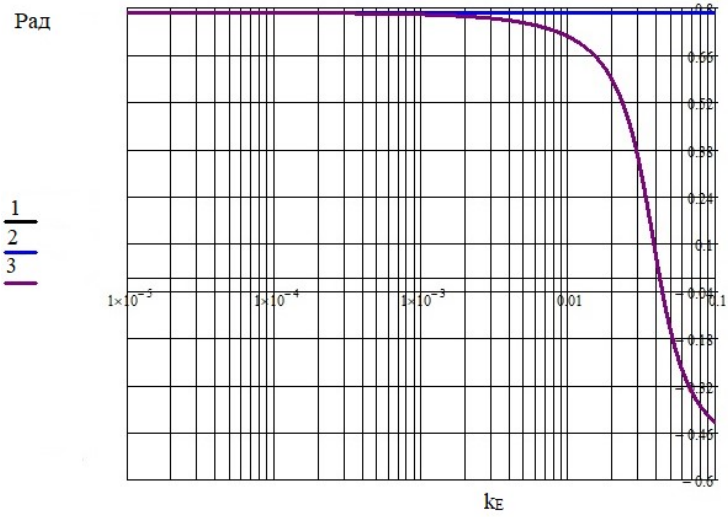


Рисунок 8 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(k_E))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_\omega = 10^{-6}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

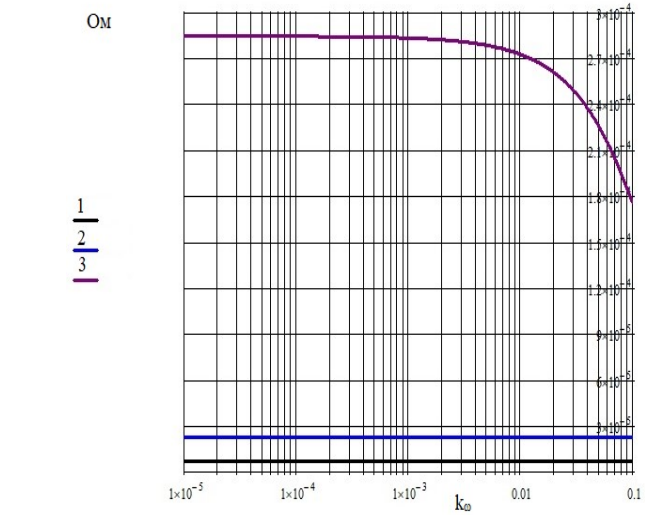


Рисунок 9 – Зависимости $|\dot{Z}_{11}(k_\omega)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_E = 10^{-1}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

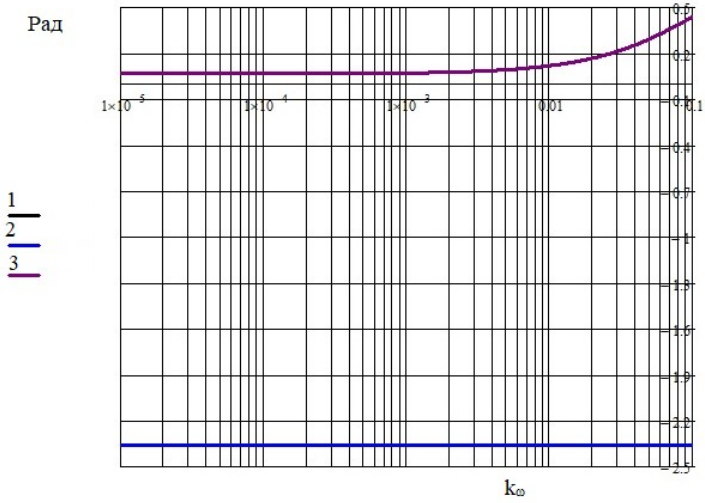


Рисунок 10 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{11}(k_\omega))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_E = 10^{-1}$:
(1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

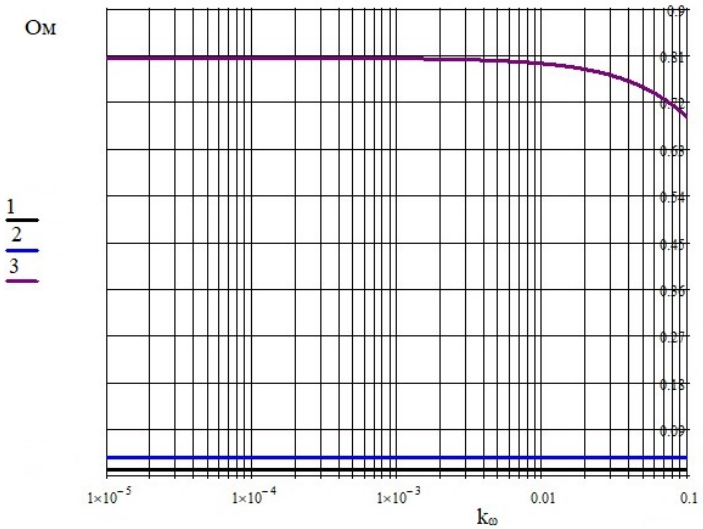


Рисунок 11 – Зависимости $|\dot{Z}_{21}(k_\omega)|$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_E = 10^{-1}$: (1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

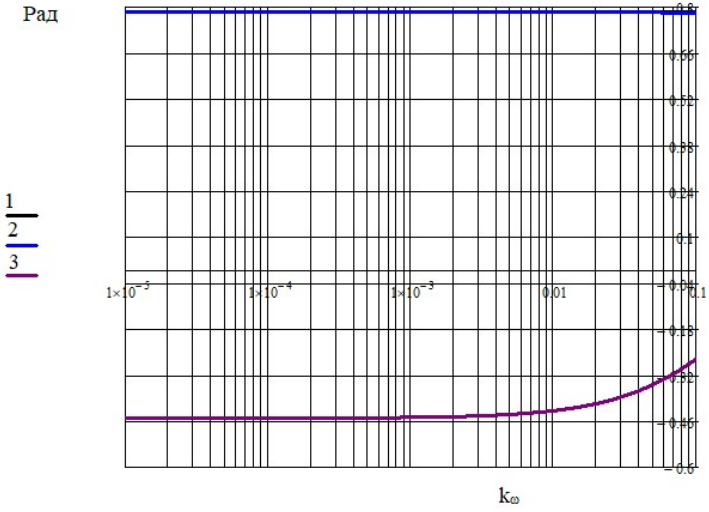


Рисунок 12 – Зависимости $\arg(\dot{Z}_{21}(k_\omega))$ для $\varepsilon_r = 10$, $k_E = 10^{-1}$: (1 – $f_2 = 10^5$ Гц; 2 – $f_2 = 10^6$ Гц; 3 – $f_2 = 10^9$ Гц)

Как видно, значения коэффициентов отношения амплитуд менее 0.01 не влияют на поведение компонентов тензора. На отрезке (0.01 – 0.1) происходит увеличение как суммарной, так и разностной составляющих диэлектрической проницаемости. Применение низких значений частотной составляющей f_2 приводит к увеличению значений $Re(\grave{\varepsilon}_R(k_E))$ и к уменьшению $Re(\grave{\varepsilon}_L(k_E))$. Использование аппаратуры для поиска УВЗ, имеющей возможности по перестройке амплитудного диапазона и регистрации отраженных сигналов, расширяет информативность электроразведки. Использование низких значений высокочастотной составляющей не влияет на величины $arg(\grave{\varepsilon}_R(k_E))$. На частоте $f_2 = 10^9$ Гц наблюдается резкое увеличение фазы с отрицательных значений на положительные при k_E = (0.01 – 0.1). Значения вещественных составляющих диэлектрической проницаемости анизотропной среды над углеводородами зависят от коэффициентов отношения частот в диапазоне (0.01 – 0,1). На частоте $f_2 = 10^9$ Гц наблюдается резкое уменьшение фазы при k_ω = (0.01 – 0.1).

Заключение. Проведенный анализ комбинационных составляющих компонентов диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса среды над углеводородами показал, что:

– значения коэффициентов отношения амплитуд и частот в диапазоне (0.01 – 0.1) приводят к изменению амплитудных и фазовых характеристик суммарных, разностных компонентов диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса;

– применение частот ЭМВ выше 1ГГц приводит к изменениям амплитудных и фазовых характеристик компонентов диэлектрической проницаемости и поэтому является более информативным.

Список литературы

[1] Adamovskiy E. Simulation of electromagnetic waves interaction with hydrocarbon de-posits / E. Adamovskiy, V. Yanushkevich // 8 Junior researchers conference European and national dimension in research. In 3 Parts. – Part 3. TECHNOLOGY. – PSU, Novopolotsk, 2016. V. 179-183.

[2] Anderson C. An integrated approach to marine electromagnetic surveying using a towed streamer and source / C. Anderson, J. Mattsson // First Break. – 2010. First Break. Vol. 28. Iss.5. 71-75 p.

[3] 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. 15-24 p.

[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). 89-98 с.

© В.Ф. Янушкевич, 2024