

УДК 621.371: 550.837.6

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ****канд. техн. наук, доц. В. Ф. ЯНУШКЕВИЧ, С. П. АЛИЕВА, С. В. КАЛИНЦЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Проведено исследование особенностей изменения характеристик анизотропной среды над углеводородами при воздействии радиоимпульсных сигналов. Про моделированы характеристики анизотропной среды над углеводородными залежами для радиоимпульсных сигналов от несущей частоты и длительности радиоимпульса. Исследованы зависимости вещественных, фазовых составляющих комбинационных элементов, абсолютных, мнимых и фазовых характеристик поверхностного импеданса анизотропной среды над углеводородами. Установлено, что над залежью существует изменение геомагнитного поля и поток электронов, приводящий к появлению геомагнитной аномалии в среде, что влияет на физико-химическую обстановку над углеводородами, отраженную в изменении компонент поверхностного импеданса. Даны рекомендации по совершенствованию методов электроразведки и аппаратуры для их реализации на основе применения радиоимпульсных сигналов с целью повышения точности определения границ залежей нефти и газа. Показаны способы повышения информативности рассмотренных электромагнитных методов электроразведки. Результаты исследований могут быть применены для поисковой геофизики в системах обнаружения нефти и газа.

Ключевые слова: углеводородная залежь, электромагнитные методы, радиоимпульсный сигнал.

Введение. Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач определяется необходимостью усовершенствования имеющихся и разработке новых методов поиска углеводородных залежей (УВЗ) на основе использования высокоэффективных технологий обнаружения полезных ископаемых [1–3]. Накопленный в поисковой геофизике опыт проведения геологоразведочных работ и отработанные методики полевых исследований содействуют дальнейшему развитию данного направления [4–6] путем модернизации имеющихся электромагнитных методов (ЭММ) георазведки с повышением точности определения границ углеводородов (нефти и газа), чувствительности и информативности методов поиска и выделения месторождений и с возможностью их использования в сложной геологической обстановке.

Дифференциация исследуемых сред при освоении площадей с наличием углеводородных ресурсов может осуществляться на основе исследования образцов пород над УВЗ, свидетельствующих о хлоридно-натриевой составляющей в рассолах и повышенном количестве щелочных и щелочноземельных металлов, а также изотопных элементов. Установлено, что электродинамический отклик анизотропной среды над углеводородами определяют электрохимические и электрофизические процессы в среде над залежью, происходящие под влиянием высоких температур и пластового давления. В результате их воздействия на границе с воздушным пространством образуется промежуточная область с избытком свободных электронов, оказывающих воздействие на происходящие в среде процессы. Это приводит к образованию в зоне над УВЗ сложных ионных соединений полупроводникового характера с повышенной термоэлектронной эмиссией [7; 8].

Решение задач поиска и идентификации УВЗ осуществляется за счет применения различных воздействующих электромагнитных волн (ЭМВ) и оценки проявлений различных аномальных эффектов, расширяющих функциональные зависимости компонент диэлектрической проницаемости среды над залежами [9]. Электроразведка ориентируется на активное внедрение различных способов и аппаратуры для поиска углеводородов [10]. Проявления откликов подстилающей поверхности над месторождениями нефти и газа с применением квазигидродинамического подхода приводят к улучшению точности выделения границ и уровня идентификации месторождений углеводородов. Данные исследования свидетельствуют о том, что залежь углеводородов отличается по физическим свойствам от пород-коллекторов, где она располагается, по понижению скорости сейсмических продольных волн, увеличению их поглощения (ослабления), повышению суммарного электрического сопротивления данного участка, уменьшению плотности залежи по сравнению с законтурной областью и других факторов [11].

Реализация различных модифицированных способов и средств при разведке углеводородов определяет выбор соответствующих электродинамических моделей сред, образующихся над скоплениями нефти и газа, и дает возможность исследовать не только контраст сопротивления пород, но и характеристики ЭМВ: амплитуды различных составляющих, их фазовые компоненты, поляризацию и т.д., по которым осуществляется обнаружение УВЗ [12; 13]. Решение данных задач с применением хорошо отработанных методов позволяет повысить производительность геологоразведочных работ, точность определения границ углеводородов [14]. Возможность освоения углеводородных ресурсов на значительных площадях реализуется на базе использования спутниковых технологий поиска местоположений нефти, газа и других полезных ископаемых [15].

Поисковая геофизика на современном этапе развития может использовать результаты исследований с учетом сейсмических ограничений на базе совместного применения гравиметрических и морских магнитотеллурических данных измерений [16]. С учетом влияния на самый верхний слой всех ниже расположенных слоев могут быть определены с повышенной точностью характеристики поверхностного импеданса анизотропной среды над УВЗ [17]. Различные режимы зондирования повышают информативность поиска [18; 19] и расширяют их возможности при использовании в сложной геологической и помеховой обстановке.

Особенности изменения характеристик среды над углеводородами при воздействии радиоимпульсных сигналов. Поиск инновационных подходов на основе исследования процесса воздействия радиоимпульсных ЭМВ на анизотропную среду над УВЗ для определения границ углеводородов представляет теоретический и практический интерес за счет применения различных режимов ЭМВ и оценки проявлений различных аномальных эффектов, расширяющих функциональные зависимости компонент диэлектрической проницаемости среды над залежами.

Рассмотрим воздействие ЭМВ на УВЗ радиоимпульсным сигналом вида

$$A(f) = \frac{U \cdot \tau}{2} \cdot \frac{\sin \frac{(2 \cdot \pi \cdot f - 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau}{2}}{(2 \cdot \pi \cdot f - 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau} + \frac{\sin \frac{(2 \cdot \pi \cdot f + 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau}{2}}{(2 \cdot \pi \cdot f + 2 \cdot \pi \cdot F_2) \cdot \tau}, \quad (1)$$

где $\frac{U \cdot \tau}{2} = 1$ – амплитуда радиоимпульса (для удобства исследований введена нормировка);

f – частота сигнала;

F_2 – частота несущего сигнала;

τ – длительность импульса.

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости над УВЗ $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2, \dot{\epsilon}_3$ для такого режима взаимодействия имеют следующий вид [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\epsilon}_1 = \epsilon_r \cdot F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{\omega} \right) + \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot \omega_{ni}^2}{\omega} \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1) \cdot [\omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2 - v_i^2]}{[v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \\ - jF \left[\frac{\omega_{ni}^2 \cdot v_i}{\omega} \cdot \frac{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2}{[v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} + \frac{\delta_r F}{\omega \epsilon_0} \right] \end{array} \right\}, \\ \dot{\epsilon}_2 = \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega_{ni}^2 \cdot F \cdot \omega_{\Gamma i}}{\omega} \cdot \frac{v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2}{[v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \\ - 2j \frac{\omega_{ni}^2 \cdot F \cdot \omega_{\Gamma i} \cdot v_i}{\omega} \cdot \frac{\omega + n\Omega_1}{[v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - (\omega + n\Omega_1)^2]^2 + 4(\omega + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} \end{array} \right\}, \\ \dot{\epsilon}_3 = \sum_{i=1}^2 \left\{ F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{\omega} \right) \cdot \left[\epsilon_r - \frac{\omega_{ni}^2}{\omega} \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} \right] - j \left[\frac{\omega_{ni}^2 \cdot F \cdot v_i}{\omega} \cdot \frac{1}{(\omega + n\Omega_1)^2 + v_i^2} + \frac{\delta_r F}{\omega \epsilon_0} \right] \right\}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где ω_{ni} – плазменная частота;

$\omega_{\Gamma i}$ – гиротропная частота;

v_i – частота столкновения частиц;

ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

σ_r – проводимость среды;

ϵ_0 – диэлектрическая постоянная;

Ω_1 – круговая частота следования импульсов;

$$F = \frac{\tau}{T} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi \cdot n \cdot F_1 \cdot \tau)}{\pi \cdot n \cdot F_1 \cdot \tau}.$$

где T – период;

F_1 – частота следования импульсов;

n – количество гармоник спектра радиоимпульсного сигнала.

Методика исследований основана на определении компонент комбинационных составляющих тензоров диэлектрической проницаемости среды над углеводородами по формулам

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_R &= \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2 = \text{Re} \epsilon_R + j \text{Im} \epsilon_R, \\ \dot{\epsilon}_L &= \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2 = \text{Re} \epsilon_L + j \text{Im} \epsilon_L.\end{aligned}\quad (3)$$

Также проведен расчет компонент матрицы поверхностного импеданса анизотропной среды над УВЗ

$$\dot{Z} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix}.\quad (4)$$

Компоненты матрицы (4) определяются по формулам

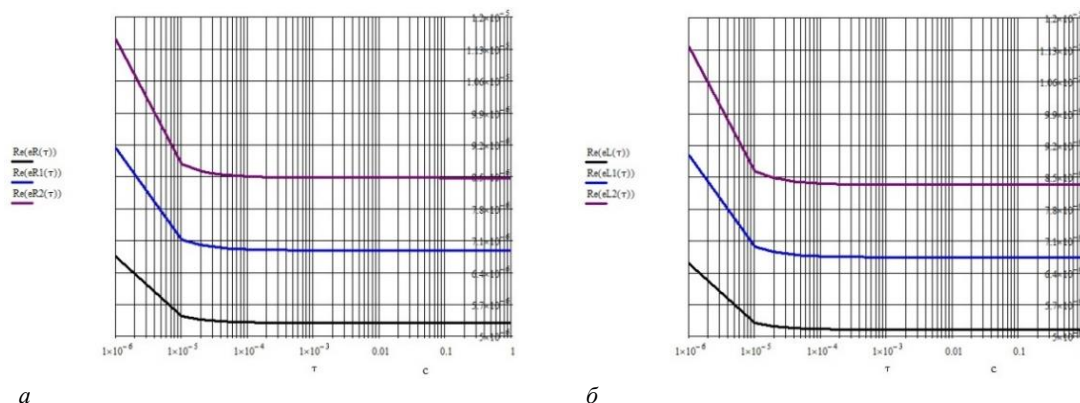
$$\begin{aligned}\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} &= -\frac{1}{2j\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} (\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \\ \dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} &= \frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}} (\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}).\end{aligned}$$

Проведено моделирование для параметров среды над залежами углеводородов [2]: значения диэлектрической проницаемости вмещающих пород $\epsilon_r = 1 - 30$ и электрической проводимости $\sigma_r = (1 \cdot 10^{-5} - 1)$ См/м; частота столкновения частиц $\nu = (0,6 \cdot \pi \cdot 10^9 - 3 \cdot \pi \cdot 10^9)$ рад/с, концентрации частиц $N_e = N_n = (10^{16} - 10^{18} \text{ м}^{-3})$.

Проведено исследование влияния режимов зондирующих сигналов на характеристики анизотропной среды над залежами. Полученные результаты основаны на изучении характеристик верхнего слоя над углеводородами и направлены на повышение степени идентификации УВЗ до требуемого уровня, обеспечивающего порог принятия решения о наличии именно искомой среды. За счет влияния углеводородов на данный слой возможно определение глубины залегания УВЗ. Ее зависимость может быть изучена по проявлению контраста напряженности электрического поля ЭМВ по исследуемому геологическому профилю местности. На данном этапе задача исследований заключается в определении характеристик анизотропной среды над углеводородами на основании полученного отраженного сигнала от верхнего слоя при воздействии радиоимпульсного сигнала вида (1). Это обуславливает изменение поверхностного импеданса вмещающих пород над УВЗ подобно плазменным и плазмоподобным образованиям, а также свидетельствует об анизотропном характере среды над залежами.

Установлено, что над залежью существует изменение геомагнитного поля и поток электронов, приводящий к появлению геомагнитной аномалии из-за проявления диамагнитных свойств перемещающихся частиц в среде, что влияет на физико-химическую обстановку над УВЗ, отраженную в изменении компонент поверхностного импеданса.

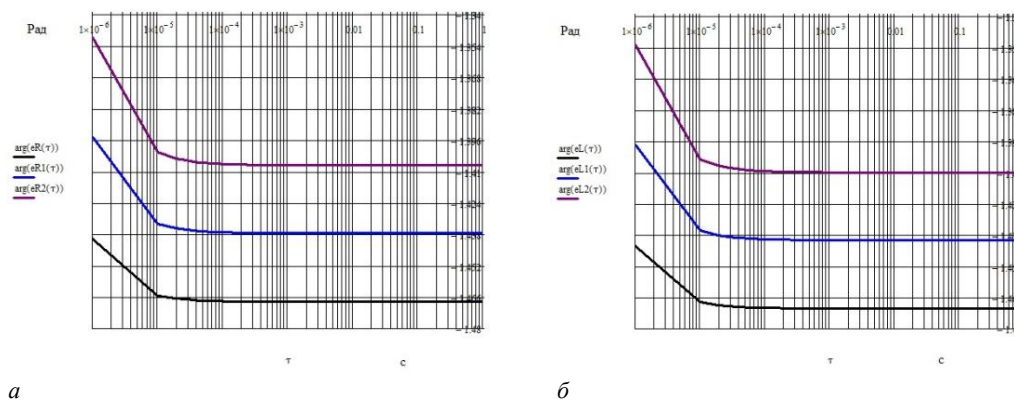
Результаты исследований. Проведен анализ выражений (3) для компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ. Зависимости вещественной составляющей комбинационного элемента от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц приведены на рисунке 1. Правая поляризация ЭМВ соответствует суммарной составляющей комбинационного элемента, левая поляризация ЭМВ соответствует разностной составляющей комбинационного элемента. Характеристики анизотропной среды над залежами зависят от физико-геологических свойств пород-коллекторов, минералогического и гранулометрического состава пород, структурно-текстурного строения скелетов вмещающих пород. На электрические свойства вмещающих пород и сред над УВЗ влияют физико-химические процессы в самой залежи и условия залегания (значения давлений и температур), что определяет значения составляющих поверхностного импеданса анизотропной среды над углеводородами. Установлено, что на вещественные составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ (как для ЭМВ с правой поляризацией, так и для ЭМВ с левой поляризацией) оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит более контрастное уменьшение компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ. Вещественные составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ для ЭМВ с правой поляризацией и для ЭМВ с левой поляризацией отличаются незначительно. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$) с приводят к незначительному уменьшению вещественных составляющих комбинационных элементов. Оставшийся отрезок значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-4} - 1$) с не влияет на характеристики анизотропной среды над залежами. Большим значениям диэлектрической проницаемости анизотропной среды соответствуют большие значения вещественных составляющих комбинационных элементов.



а – для ЭМВ с правой поляризацией; **б** – для ЭМВ с левой поляризацией;
 $\text{Re}(eR(\tau))$, $\text{Re}(eL(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 10$; $\text{Re}(eR1(\tau))$, $\text{Re}(eL1(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 15$;
 $\text{Re}(eR2(\tau))$, $\text{Re}(eL2(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 20$

Рисунок 1. – Зависимости вещественной составляющей комбинационного элемента от длительности радиоимпульса

Зависимости фазовой составляющей комбинационного элемента от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц приведены на рисунке 2. Как видно из рисунка, на фазовые составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ (как для ЭМВ с правой поляризацией, так и для ЭМВ с левой поляризацией) также оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит более контрастное уменьшение компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ. Фазовые составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ для ЭМВ с правой поляризацией и для ЭМВ с левой поляризацией отличаются незначительно. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$) с приводят к незначительному уменьшению фазовых составляющих комбинационных элементов. На отрезке значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-4} - 1$) с характеристики анизотропной среды над залежами постоянны. Большим значениям диэлектрической проницаемости анизотропной среды соответствуют большие значения фазовых составляющих комбинационных элементов.

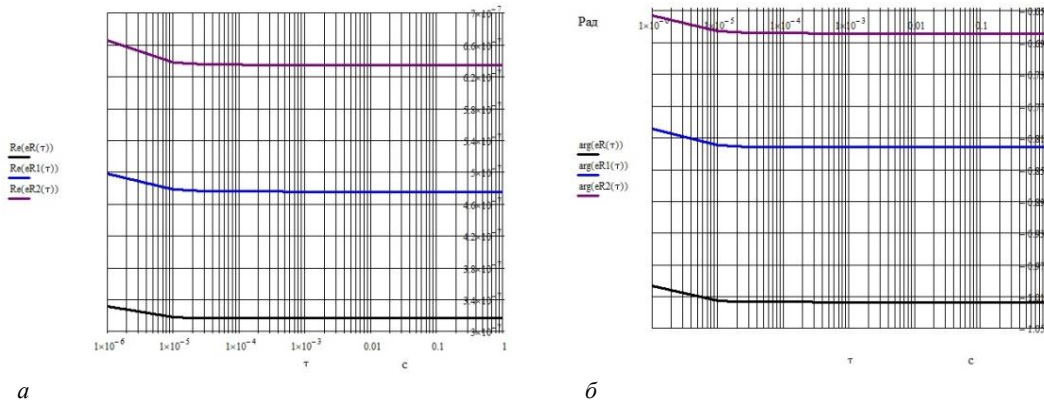


а – для ЭМВ с правой поляризацией; **б** – для ЭМВ с левой поляризацией;
 $\text{arg}(eR(\tau))$, $\text{arg}(eL(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 10$; $\text{arg}(eR1(\tau))$, $\text{arg}(eL1(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 15$;
 $\text{arg}(eR2(\tau))$, $\text{arg}(eL2(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\varepsilon_r = 20$

Рисунок 2. – Зависимости фазовой составляющей комбинационного элемента от длительности радиоимпульса

Зависимости вещественной и фазовой составляющих комбинационного элемента от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^7$ Гц приведены на рисунке 3. Вещественные составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ для ЭМВ с правой поляризацией и для ЭМВ с левой поляризацией на данной частоте равны. Установлено, что на вещественные составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ (как для ЭМВ с правой поляризацией, так и для ЭМВ с левой поляризацией) оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит уменьшение компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ, причем не так контрастно, как для частоты

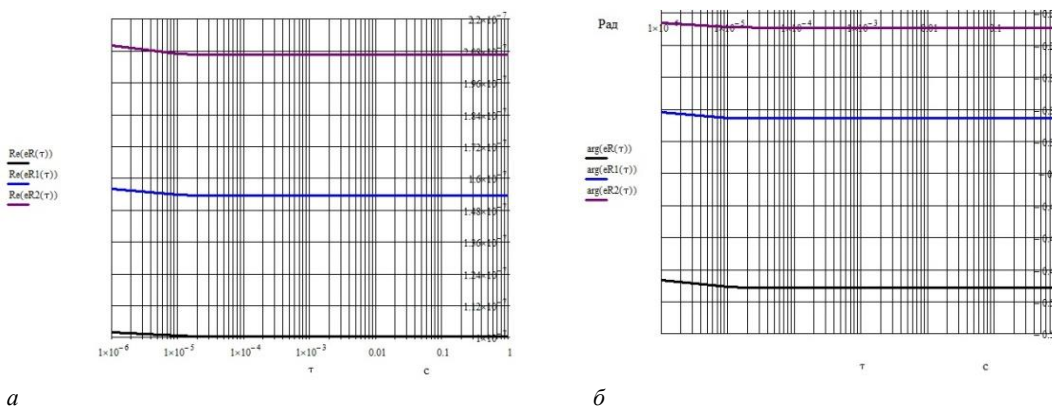
несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1$) с не влияют на характеристики анизотропной среды над залежами. Большим значениям диэлектрической проницаемости анизотропной среды соответствуют большие значения вещественных составляющих комбинационных элементов. Фазовые составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ для ЭМВ с правой поляризацией и для ЭМВ с левой поляризацией для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^7$ Гц равны. На фазовые составляющие компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ (как для ЭМВ с правой поляризацией, так и для ЭМВ с левой поляризацией) также оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит уменьшение компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ. На отрезке значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1$) с характеристики анизотропной среды над залежами постоянны. Большим значениям диэлектрической проницаемости анизотропной среды соответствуют большие значения фазовых составляющих комбинационных элементов.



а – вещественная составляющая комбинационного элемента для ЭМВ с правой поляризацией;
б – фазовая составляющая комбинационного элемента для ЭМВ с правой поляризацией;
 Re(eR(τ)), arg(eR(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 10$; Re(eR1(τ)), arg(eR1(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 15$;
 Re(eR2(τ)), arg(eR2(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 20$

Рисунок 3. – Зависимости вещественной и фазовой составляющих комбинационного элемента от длительности радиоимпульса

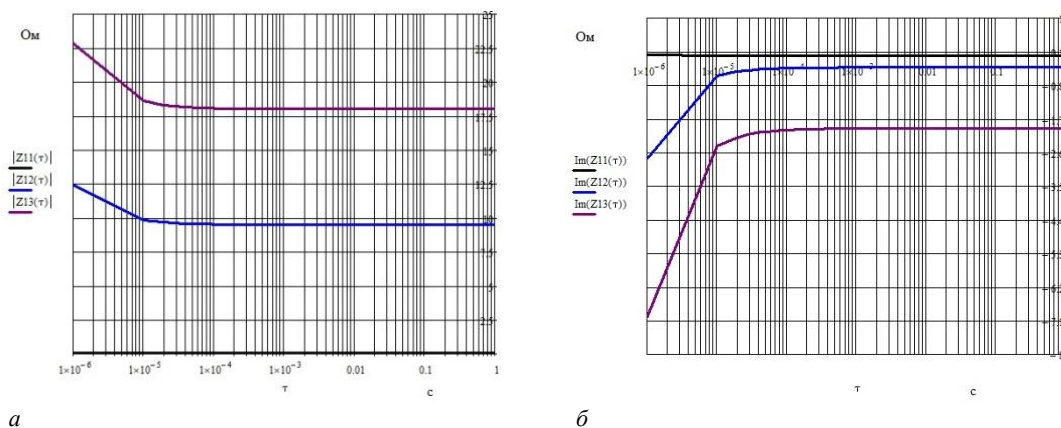
Зависимости вещественной и фазовой составляющих комбинационного элемента от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 3 \cdot 10^7$ Гц приведены на рисунке 4. Здесь проявляются такие же закономерности, что и для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^7$ Гц. При этом следует отметить, что на данной частоте вариация вещественных и фазовых составляющих комбинационных элементов от длительности радиоимпульса незначительна.



а – вещественная составляющая комбинационного элемента для ЭМВ с правой поляризацией;
б – фазовая составляющая комбинационного элемента для ЭМВ с правой поляризацией;
 Re(eR(τ)), arg(eR(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 10$; Re(eR1(τ)), arg(eR1(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 15$;
 Re(eR2(τ)), arg(eR2(τ)) для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 20$

Рисунок 4. – Зависимости вещественной и фазовой составляющих комбинационного элемента от длительности радиоимпульса

Проведено моделирование зависимостей компонент поверхностного импеданса от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц, которые представлены на рисунке 5. Модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{11} при низких значениях диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород ($\epsilon_r = 10$) равен нулю. При больших значениях диэлектрической проницаемости среды над УВЗ на модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{11} анизотропной среды над УВЗ оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит уменьшение данной компоненты. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$) с приводят к незначительному уменьшению абсолютной составляющей поверхностного импеданса Z_{11} . Оставшийся отрезок значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-4} - 1$) с не влияет на характеристики поверхностного импеданса анизотропной среды над залежами. Мнимая составляющая поверхностного импеданса Z_{11} при низких значениях диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород ($\epsilon_r = 10$) обращается в нуль. При других значениях диэлектрической проницаемости анизотропной среды над залежами мнимая составляющая отрицательна. При больших значениях диэлектрической проницаемости среды над УВЗ на мнимую составляющую поверхностного импеданса Z_{11} анизотропной среды над УВЗ оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит рост данной компоненты. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$) с приводят к незначительному увеличению мнимой составляющей поверхностного импеданса Z_{11} . Оставшийся отрезок значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-4} - 1$) с не влияет на характеристики мнимой составляющей поверхностного импеданса среды над залежами.

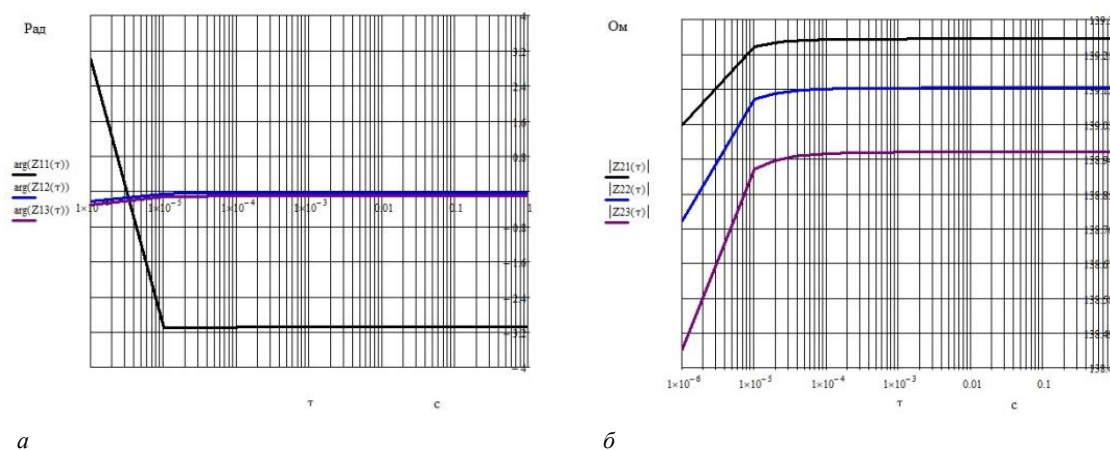


а – модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{11} ;
б – мнимая составляющая поверхностного импеданса Z_{11} ;
 $|Z_{11}(\tau)|$, $\text{Im}(Z_{11}(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 10$; $|Z_{12}(\tau)|$, $\text{Im}(Z_{12}(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 15$;
 $|Z_{13}(\tau)|$, $\text{Im}(Z_{13}(\tau))$ для $n = 5$, $\sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 20$

Рисунок 5. – Зависимости компонент поверхностного импеданса от длительности радиоимпульса

Проведено исследование зависимостей компонент поверхностного импеданса от длительности радиоимпульса для частоты несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц (рисунок 6). Как видно из рисунка 6, фазовая характеристика данной составляющей поверхностного импеданса скачкообразно уменьшается в диапазоне длительностей радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с при низких значениях диэлектрической проницаемости вмещающих пород над месторождением нефти и газа. Оставшийся отрезок значений длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1$) с не влияет на характеристики поверхностного импеданса анизотропной среды над залежами. При больших значениях диэлектрической проницаемости вмещающих пород над месторождением углеводородов наблюдается незначительное увеличение фазовой составляющей поверхностного импеданса в диапазоне длительностей радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с. При дальнейшем росте длительности радиоимпульса фаза постоянна. Модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{21} при низких значениях диэлектрической проницаемости наполнителя вмещающих пород принимает большие значения. На модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{21} анизотропной среды над УВЗ оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$) с, когда происходит рост данной компоненты. Значения длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$) с приводят к незначительному увеличению абсолютной составляющей поверхностного импеданса Z_{21} и при значениях длительности радиоимпульса ($1 \cdot 10^{-4} - 1$) с данная характеристика поверхностного импеданса анизотропной среды над залежами неизменна. Следует отметить, что значения составляющих компонент диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса анизотропной среды над углеводородами зависят от концентрации

частиц, которая в свою очередь определяется физико-химическими процессами в самой залежи, и условий залегания (значения давления и температуры), влияющих на электрические свойства вмещающих пород и сред над УВЗ.



а – фазовая составляющая поверхностного импеданса Z_{11} ;
б – модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{21} ;
 $\arg(Z_{11}(\tau), |Z_{21}(\tau)|$ для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 10$; $\arg(Z_{12}(\tau), |Z_{22}(\tau)|$ для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 15$;
 $\arg(Z_{13}(\tau), |Z_{23}(\tau)|$ для $n = 5, \sigma_r = 10^{-3}$ См/м, $\epsilon_r = 20$

Рисунок 6. – Зависимости компонент поверхностного импеданса от длительности радиоимпульса

Установлено, что в зависимости от изменения расстояния между приемником и передатчиком может быть повышена информативность ЭММ поиска углеводородов за счет получения дополнительных данных по исследуемому геологическому профилю местности.

Закключение. Проведенный анализ режимов радиоимпульсных сигналов при распространении ЭМВ в среде над углеводородами показал следующее:

- на составляющие компонент диэлектрической проницаемости (как для ЭМВ с правой поляризацией, так и для ЭМВ с левой поляризацией) и поверхностного импеданса анизотропной среды над УВЗ оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$ с, когда происходит более контрастное изменение указанных характеристик;
- для частот несущего сигнала $F_2 = 10^6$ Гц характерно более контрастное изменение компонент диэлектрической проницаемости анизотропной среды над УВЗ;
- фазовая характеристика составляющей поверхностного импеданса Z_{11} скачкообразно уменьшается в диапазоне длительностей радиоимпульса $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$ с при низких значениях диэлектрической проницаемости вмещающих пород над месторождением нефти и газа;
- на модуль составляющей поверхностного импеданса Z_{21} анизотропной среды над УВЗ оказывают наибольшее влияние значения длительности радиоимпульса $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$ с, когда происходит рост данной компоненты;
- на основе применения исследованных режимов радиоимпульсных сигналов могут быть даны рекомендации по совершенствованию методов электроразведки и аппаратуры для их реализации с целью повышения точности определения границ залежей углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson, C. An integrated approach to marine electromagnetic surveying using a towed streamer and source / C. Anderson, J. Mattsson // First Break. – 2010. – Vol. 28, iss. 5. – P. 71–75.
2. Moskvichew, V. N. Interaction of electromagnetic waves (EMW) with anisotropic inclusion in communication line / V. N. Moskvichew // 9th Microw. Conf. NICON – 91, Rydzyna, May 20–22, 1991. – Vol. 1. – P. 240–244.
3. Helwig, S. L. Vertical-vertical controlled-source electromagnetic instrumentation and acquisition / S. L. Helwig, W. Wood, B. Gloux // Geophysical Prospecting. – 2019. – Vol. 67. – № 6. – P. 1582–1594.
4. Subsalt imaging in Northern Germany using multi-physics (magnetotellurics, gravity, and seismic) / C. H. Henke [et al.] // Interpretatio. – 2020. – Vol. 8. – № 4. – P. 15–24.
5. Geldmacher, I. A Fit-for-purpose electromagnetic System for Reservoir Monitoring and Geothermal Exploration / I. Geldmacher, K. Strack // GRC Transactions. – 2017. – Vol. 41. – P. 1649–1658.
6. Time lapse CSEM reservoir monitoring of the Norne field with vertical dipoles / T. Holten [et al.] // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2016. – Vol. 35. – P. 971–975.

7. Гололобов, Д. В. Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей / Д. В. Гололобов. – Минск : Бестпринт, 2009. – 185 с.
8. Янушкевич, В. Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей / В. Ф. Янушкевич. – Новополоцк, ПГУ, 2017. – 232 с.
9. Effect of a powerful low-frequency signal on an anisotropic medium over hydrocarbon [Electronic resours] / V. F. Yanushkevich [et al] // J. of Physics : Conference Series. – 2021. – Vol. 1889. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022059/pdf>. – Date of access: 05.09.2021. – DOI:10.1088/1742-6596/1889/2/022059.
10. Способ для определения характера подземных резервуаров и способ поиска углеводородсодержащих подземных ресурсов : пат. RU 2277251 / С. Эллингсруд, Т. Эйдесмо, Х. М. Педерсен, Т. Скёуг-Петерсен. – Опубл. 27.05.2006.
11. Гололобов, Д. В. Ослабление поверхностной волны анизотропной средой / Д. В. Гололобов, В. Н. Москвичёв // Радиотехника и электроника. – Минск : Выш. шк., 1990. – Вып. 19. – С. 191–195.
12. Способ электромагнитной разведки коллекторов углеводородов : пат. DE 2395563 / L. M. Maegregor, M. C. Sinha, R. Weaner. – Опубл. 01.12.2004.
13. Frasher, A. Self-potential anomalies as possible indicators in search for oil and gas reservoirs / A. Frasher // 57th EAGE Conf. and Tech. Exhib., Glasgow, 29 May – 2 June 1995. – Glasgow, UK. – P. 8.
14. Российская инфразвуковая технология АНЧАР : уникальная практика разведки и освоения нефтяных и газовых ресурсов / О. Л. Кузнецов [и др.] // Геологической службе России 300 лет : тез. докл. междунар. геофиз. конф., СПб., 2–6 окт. 2000 г. / ВИРГ – Рудгеофизика ; А. А. Петров [и др.]. – СПб., 2000. – С. 193.
15. 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.
16. Совместная инверсия морских магнитотеллурических и гравиметрических данных с учетом сейсмических ограничений – предварительные результаты построения изображений суббазальтов у Фарерского шельфа / М. Джеген [и др.] // Планета Земля Sci Lett. – 2009. – С. 47–55.
17. Adamovskiy, E. Simulation of electromagnetic waves interaction with hydrocarbon deposits / E. Adamovskiy, V. Yanushkevich // 8 Junior researchers conference European and national dimension in research : in 3 p. / PSU. – Novopolotsk : PSU, 2016. – P. 3 : Technology. – P. 179–183.
18. Степуленок, С. В. Взаимодействие амплитудно-частотно-модулированных сигналов со средой над углеводородными залежами / С. В. Степуленок, В. Ф. Янушкевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2009. – № 9. – С. 103–108.
19. Гололобов, Д. В. Импедансные граничные условия анизотропной среды для амплитудно-модулированного сигнала. // Д. В. Гололобов, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин / Доклады БГУИР. – Минск, 2010. – № 6 (52). – С. 13–17.

Поступила 14.09.2021

INFLUENCE OF THE RADIO PULSE SIGNAL MODE ON THE CHARACTERISTICS OF ANIZOTROPIC MEDIUM OVER HYDROCARBONS

V. YANUSHKEVICH, S. ALIEVA, S. KALINTSEV

The article studies the peculiarities of changes in the characteristics of an anisotropic medium over hydrocarbons under the influence of radio pulse signals. The characteristics of an anisotropic medium over hydrocarbon deposits are modeled for radio pulse signals from the carrier frequency and radio pulse duration. The dependences of the real, phase components of combination elements, absolute, imaginary and phase characteristics of the surface impedance of an anisotropic medium over hydrocarbons have been investigated. It was found that there is a change in the geomagnetic field and an electron flux over the reservoir, leading to the appearance of a geomagnetic anomaly in the medium, which affects the physicochemical situation over hydrocarbons, reflected in the change in the components of the surface impedance. Recommendations are given for improving the methods of electrical prospecting and equipment for their implementation based on the use of radio pulse signals in order to improve the accuracy of determining the boundaries of oil and gas deposits. The ways of increasing the information content of the considered electromagnetic methods of electrical prospecting are shown. The research results can be applied to prospecting geophysics in oil and gas detection systems.

Keywords: hydrocarbon reservoir, electromagnetic methods, radio pulse signal.