

УДК 621.371: 550.837.6

# КОНТРАСТ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ В РЕЖИМЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

М. В. ИЗОИТКО

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. Ф. ЯНУШКЕВИЧ)

Проведено исследование влияния концентрации частиц на электродинамические характеристики анизотропных сред в режиме низкочастотного взаимодействия электромагнитных волн. За основу была взята аналоговая модуляция. Установлены закономерности изменения контраста отражательных характеристик при вариации углов падения электромагнитных волн на исследуемый профиль местности и частоты модуляции несущего колебания для расширения режимов тестирования при организации геологоразведочных работ. Отмечено, что использование широкого спектра частот зондирующих сигналов расширяет возможности для повышения эффективности проведения геологоразведочных работ. Полученные результаты математического моделирования взаимодействия могут быть использованы для поисковой геофизики с целью обнаружения месторождений нефти и газа.

**Ключевые слова:** углеводородная залежь, коэффициент отражения, амплитудно-модулированный сигнал, контраст.

**Введение.** Актуальность применения различных режимов взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) с анизотропными средами (АС) над углеводородами вызвана расширением режимов тестирования данных сред и, следовательно, развитием методов поиска и обнаружения углеводородных залежей (УВЗ) [1]. При этом применяются методы исследований углеводородов и твердых полезных ископаемых, отражающие процессы в области физики Земли, включая решение поисковых задач для региональной, поисково-картировочной и разведочной геофизики [3]. Используются методы измерения сопротивления слоев сред с подключением скважинных электродов, которые являются более чувствительными по сравнению с поверхностными измерениями [4]. Численные характеристики для поля вызванной поляризации с применением параметров анализируемой модели Cole-Cole на базе дифференциально-нормированного метода электроразведки используются в методах по определению наличия залежей углеводородов [5].

Электросопротивление пласта, определяемое по данным электромагнитной съемки, может дать более точную оценку общей объемной доли гидрата, чем данные сейсморазведки и каротажа скважин [2]. Широко используются различные виды мониторинга углеводородов, например для электроразведки карбонатных коллекторов методом 4Д [7].

**Методика исследований.** Целью данной работы является проведение математического моделирования в режиме взаимодействия с АС радиосигнала тональной амплитудной модуляции вида

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $E$  – амплитуда несущего колебания;

$k_m$  – коэффициент амплитудной модуляции;

$\Omega = 2\pi F$ ,  $\omega = 2\pi f$  – соответственно модулирующая и несущая частоты.

Методика исследований заключается в определении контраста коэффициента отражения между точками измерения АС над залежью УВЗ и контрольной точкой измерения, расположенной вне зоны углеводородов по формуле [2]:

$$\Delta R = 20 \lg \left| \dot{R}_p - \dot{R}_{BB} \right|, \quad (2)$$

где  $\dot{R}_p$  – коэффициент отражения ЭМВ в контрольной точке измерений;

$\dot{R}_{BB}$  – коэффициент отражения ЭМВ в точках геопрофиля АС над залежью углеводородов.

**Результаты исследований.** Зависимости контраста отражательных характеристик для  $\cos \theta = 64$  и частоты модуляции  $F = 10^4$  Гц приведены на рисунке 1. Было установлено, что контраст отражательных характеристик не зависит от значений диэлектрической проницаемости наполнителя сред. Однако это не означает, что данный метод приемлем для дифференциации любых сред, поскольку данные зависимости получены на основании выражений (3) с использованием значений компонентов тензора диэлектрической проницаемости АС, полученных в работе (6). Следовательно, такой метод обоснован только для исследования контраста отражательных характеристик АС над углеводородами. Характерно увеличение

контраста с большей крутизной характеристики для более низких значений частоты несущего сигнала ( $f = (1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6)$  Гц). В диапазоне частот  $f = (1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^8)$  Гц контраст отражательных характеристик увеличивается с меньшей крутизной характеристики. Происходит уменьшение величин исследуемой характеристики при использовании значений частоты несущего сигнала  $f = (1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9)$  Гц. На отрезке частот  $f = (1 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{10})$  Гц вариации контраста отражательных характеристик АС над углеводородами незначительны.

Зависимости контраста отражательных характеристик для  $\cos\theta = 0,94$  и частоты модуляции  $F = 10^4$  Гц приведены на рисунке 2.

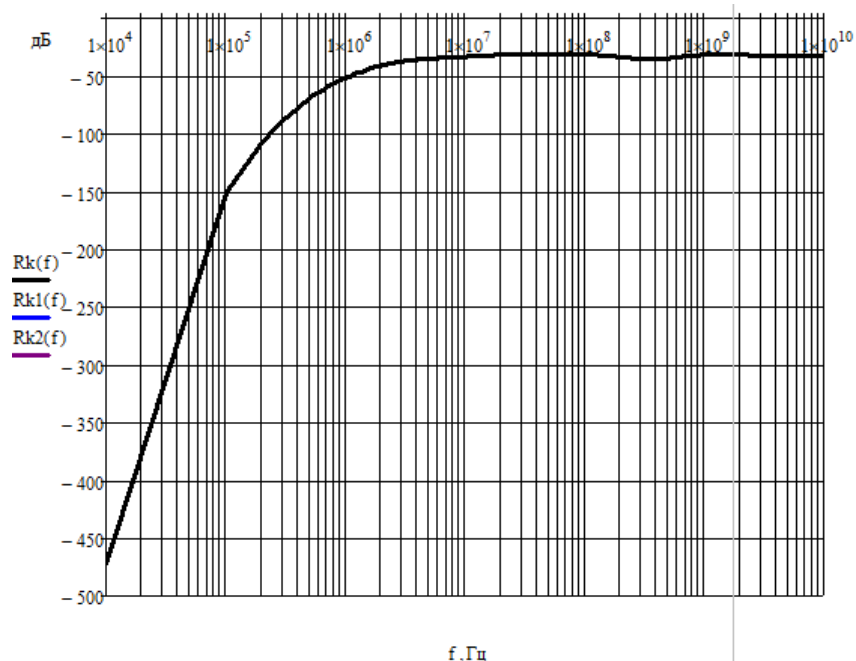


Рисунок 1. – Контраст отражательных характеристик для  $\cos\theta = 0,94$

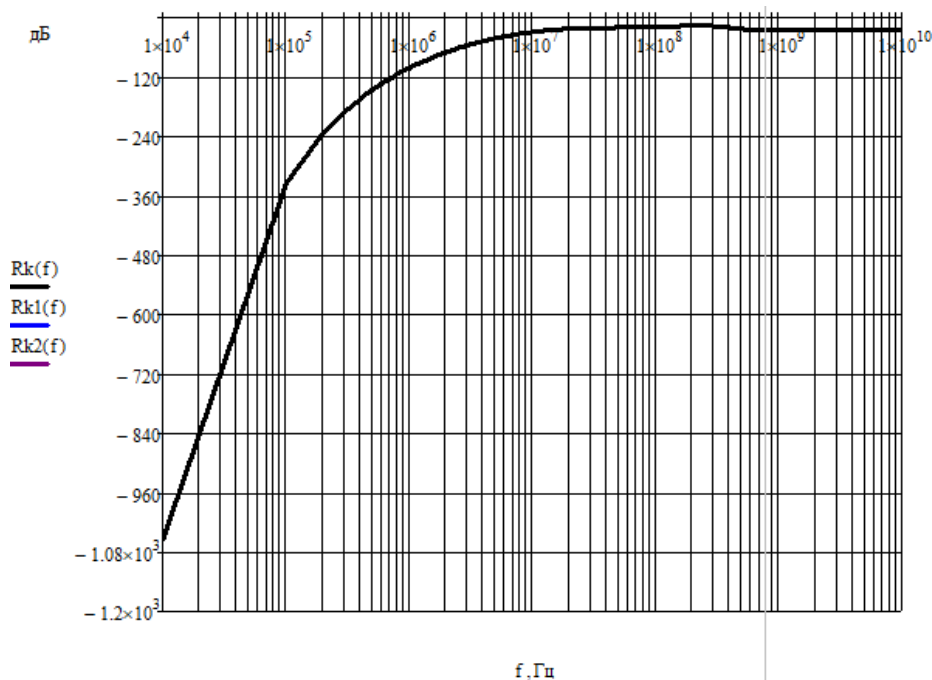


Рисунок 2. – Контраст отражательных характеристик для  $\cos\theta = 0,64$

Закономерности поведения данной характеристики подобны зависимостям контраста отражательных характеристик для  $\cos\theta = 64$  и частоты модуляции  $F = 10^4$  Гц за исключением численных значений и меньшего контраста при использовании значений частоты несущего сигнала  $f = (1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9)$  Гц.

Таким образом, учет вариации концентраций частиц с использованием широкого спектра частот зондирующих сигналов (в данном случае  $f_2 = (1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^{10})$  Гц) расширяет возможности для повышения эффективности проведения геологоразведочных работ. Дополнительную информацию можно получить, изменяя коэффициент ионизации (4). Поскольку концентрации электронов и ионов  $N_e$  и  $N_i$  (2) определяют значения плазменной частоты, то при воздействии ЭМВ на вмещающие породы возможен спектральный анализ на частотах многорезонансного взаимодействия.

Зависимости вещественной компоненты тензора (3) для левой поляризации ЭМВ получены путем моделирования характеристик для аналогичных данных, что и для правой поляризации ЭМВ.

Полученные результаты могут быть применены для решения задач по поиску углеводородов в способе электроразведки с применением контраста отражательных характеристик АС над залежами для фиксации границ полезных ископаемых.

**Заключение.** Проведенные исследования контраста отражательных характеристик АС над углеводородами в режиме амплитудно-модулированных сигналов показали, что:

- вариация углов падения ЭМВ на исследуемый профиль местности расширяет режимы тестирования при организации геологоразведочных работ;

- при продольном распространении ЭМВ вдоль поверхности частоту несущего сигнала  $f = 1 \cdot 10^5$  Гц (частота модуляции  $F = 10^4$  Гц) следует рассматривать как частоту среза исследуемой частотной характеристики используемой радиотехнической системы для поиска и оконтуривания месторождений нефти и газа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буддо, И.В. Прецизионная инверсия данных ЗСБ при поисках нефти и газа на юге Сибирской платформы / И.В. Буддо, А.В. Поспеев // Иркутск: Изд-во ИГУ. – 2019. – 149 с.
2. Янушкевич, В.Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей / В.Ф. Янушкевич. – Новополоцк, ПГУ, 2017. – 232с.
3. Токарева, М.Г. Одна из реализаций решения задачи ВП на примере реальной геофизической среды. // Труды пятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного машиностроения». – Новосибирск, 2000. – Т.3. – с.52 – 55.
4. Asch, T. Mapping and monitoring electrical resistivity with surface and surface electrode arrays / T. Asch, Morrison // Geophysics, 1989. – С. 235 – 244.
5. Легейдо, П.Ю. Дифференциально-нормированные методы геоэлектроразведки / Под ред. М.М. Мандельбаума. Методическое пособие. – Иркутск, 1996. – 145 с.
6. Weitemeyer, K. A. First results from a marine controlled-source electromagnetic survey to detect gas hydrates offshore Oregon / K. A. Weitemeyer, // – 2006. Geophysical Research Letters. – Vol. 33. – №. 3. – P. L03304.
7. Бурдаков, Д.А. Мониторинг фронта завода карбонатных коллекторов нижнего кембрия методом 4Д электроразведки / Бурдаков, Д.А. [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 9. – С. 30 – 34.