

УДК 550.837.75:553.98

**ГЕОРАЗВЕДКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН**

*канд. техн. наук, доц. С.В. МАЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Приведена модель для исследования взаимодействия двухчастотных сигналов со средой над углеводородной залежью. Рассчитаны компоненты поверхностного импеданса среды над залежью углеводородов. Рассмотрены два режима взаимодействия. Для расчетов используются экспериментально полученные данные параметров среды над залежью углеводородов. Исследуется изменение контраста поверхностного импеданса. Установлены наиболее значимые соотношения частот и амплитуд воздействующих сигналов для оптимального поиска и окунтирования углеводородных залежей. Проведены экспериментальные исследования отношения коэффициентов отражения на двух частотах. Даны рекомендации по оптимизации устройств георазведки.

Введение. Для поиска, окунтирования и идентификации месторождений нефти и газа (углеводородов) широко применяются различные методы электроразведки, основанные на связи электрических характеристик применяемой аппаратуры со свойствами исследуемой среды [1, 2].

Величина поверхностного импеданса (ПИ) среды над углеводородными залежами (УВЗ) широко используется при решении задач распространения радиоволн (РРВ), дифракции и анализа структуры электромагнитного поля (ЭМП) вблизи поверхности раздела двух сред [3].

По значению ПИ можно провести оценку характеристик антенных излучателей, расположенных над данной подстилающей поверхностью (ПП). В то же время, располагая антенну с известными характеристиками над различными видами исследуемых сред, можно производить идентификацию свойств данных ПП.

Теоретический анализ. Цель работы заключается в анализе компонентов ПИ для качественного повышения уровня достоверности поиска и выделения залежей углеводородов.

Представим процесс взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) с анизотропной средой (АС) на трассе РРВ (рис. 1) в виде режима наклонного падения плоской волны с вертикальной поляризацией на безграничную поверхность с ПИ.

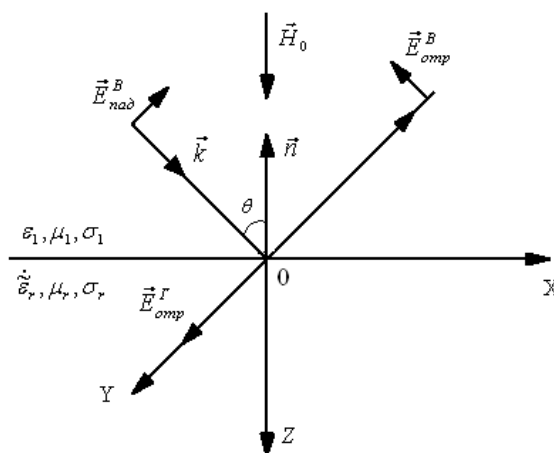


Рис. 1. Геометрия задачи для ЭМВ с вертикальной поляризацией поля

Волновой вектор \vec{k} и орт нормали \vec{n} ориентирован под углом θ . Антенна находится в среде с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , относительной магнитной проницаемостью μ_1 , удельной проводимостью σ_1 .

Аналогичные параметры среды над УВЗ – $\tilde{\epsilon}_r, \tilde{\mu}_r, \tilde{\sigma}_r$.

В случае вертикальной поляризации ЭМВ для выбранной системы координат справедливы следующие граничные условия [4]:

$$\begin{aligned} E_x &= -Z_0(\dot{Z}_{11}H_x - \dot{Z}_{12}H_y), \\ E_y &= -Z_0(\dot{Z}_{21}H_x - \dot{Z}_{22}H_y), \\ \dot{Z}_{11} &= \dot{Z}_{22} = -\frac{1}{j2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \\ \dot{Z}_{12} &= \dot{Z}_{21} = \frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \end{aligned} \quad (1)$$

где E_x, E_y, H_x, H_y – проекции падающей и отраженной волны на соответствующие оси; Z_0 – волновое сопротивление среды, окружающей АС; $\dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{21}, \dot{Z}_{22}$ – компоненты ПИ среды над УВЗ; $\dot{\epsilon}_R = \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2$, $\dot{\epsilon}_L = \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2$ – комбинационные составляющие тензора диэлектрической проницаемости ПП [1].

Был проведен анализ компонентов ПИ для процесса взаимодействия ЭМВ с УВЗ в режиме бигармонического сигнала вида:

$$\vec{e}(t) = \vec{e}_1(t) + \vec{e}_2(t) = E_1 \cos \omega_1 t + E_2 \cos \omega_2 t, \quad (2)$$

где $E_1, E_2, \omega_1, \omega_2$ – соответственно амплитуды и частоты двух ЭМВ.

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ при воздействии мощного низкочастотного сигнала с коэффициентами $k_E = \frac{E_2}{E} \ll 1$ и $k_w = \frac{\omega_2}{\omega} \ll 1$ имеют вид [2]:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{\epsilon}_1 &= \epsilon_r \frac{\tilde{\omega}_1}{\omega_2} + \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{\omega_{\Pi}^2 \tilde{\omega}_1}{\omega_2} \frac{\omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2 - v_i^2}{(v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 v_i^2} - \right. \\ &\quad \left. -j \left[\frac{-\epsilon_r k_E (1 - k_w) \sin \alpha t}{1 + k_E \cos \alpha t} + \frac{\sigma_r}{\omega_2 \epsilon_0} + \frac{\omega_{\Pi}^2 v_i}{\omega_2} \frac{\tilde{\omega}_1^2 + v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2}{(v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 v_i^2} \right] \right\}, \\ \dot{\epsilon}_2 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{\omega_{\Pi}^2 \omega_{\Gamma i}}{\omega_2} \frac{\omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2 + v_i^2}{(v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 v_i^2} - \frac{2j\tilde{\omega}_1 v_i \omega_{\Pi}^2 \omega_{\Gamma i}}{[(v_i^2 + \omega_{\Gamma i}^2 - \tilde{\omega}_1^2)^2 + 4\tilde{\omega}_1^2 v_i^2] \omega_2} \right\}, \\ \dot{\epsilon}_3 &= \epsilon_r \frac{\tilde{\omega}_1}{\omega_2} + \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{\omega_{\Pi}^2 \tilde{\omega}_1}{\omega_2} \frac{1}{v_i^2 + \tilde{\omega}_1^2} - j \left[\frac{-\epsilon_r k_E (1 - k_w) \sin \alpha t}{1 + k_E \cos \alpha t} + \frac{\sigma_r}{\omega_2 \epsilon_0} + \frac{\omega_{\Pi}^2 v_i}{\omega_2} \frac{1}{\tilde{\omega}_1^2 + v_i^2} \right] \right\}, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где $\tilde{\omega}_1 = \omega_2 [k_w + k_E^2 + k_E (1 - k_w) \cos \alpha t]$, $\alpha = \omega_2 - \omega_1$, ω_{Π} – плазменная частота; $\omega_{\Gamma i}$ – гиротропная частота; v_i – частота столкновений частиц.

Был проведен анализ компонентов среды над УВЗ в режиме двухчастотного взаимодействия для мощного низкочастотного и мощного высокочастотного сигналов.

Для сравнения эффективности режимов работы устройства георазведки исследовались величины контраста ПИ:

$$\begin{aligned} |\Delta Z_{11}| &= |Z_{11}^1| - |Z_{11}^2|, \\ |\Delta Z_{12}| &= |Z_{12}^1| - |Z_{12}^2|, \end{aligned} \quad (4)$$

где $|Z_{11}^1|$, $|Z_{11}^2|$, $|Z_{12}^1|$, $|Z_{12}^2|$ – значения Z_{11} и Z_{12} в двух различных режимах взаимодействия.

Контраст $|\Delta Z_{11}|$ в диапазоне частот $f_2 = (0..0,5)$ ГГц практически не проявляется, что иллюстрирует рисунок 2. Влияние коэффициентов k_w и k_E на характеристики среды над УВЗ несущественно.

Начиная с частоты $f_2 = 0,5$ ГГц, влияние режима взаимодействия проявляется более сильно. На частоте $f_2 = 1$ ГГц различия в величине $|\Delta Z_{11}|$ составляет $0,2 \cdot 10^{-3}$ Ом, причем наибольший вклад в изменение компоненты ПИ вносит режим изменения коэффициента k_E , т.е. соотношения амплитуд сигналов, взаимодействующих с УВЗ.

Используя аппаратуру для георазведки с возможностью перестройки режимов работы, можно качественно повысить уровень точности и достоверности идентификации УВЗ.

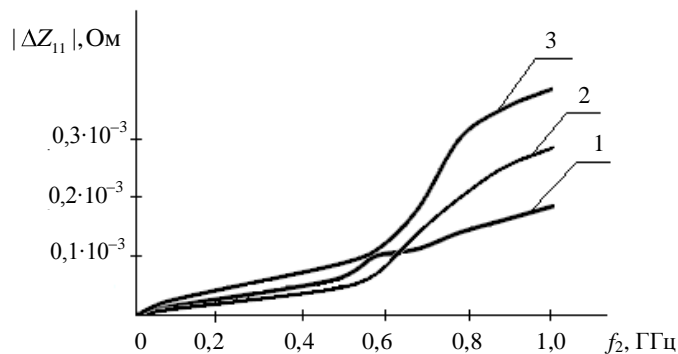


Рис. 2. Зависимости $|\Delta Z_{11}| = \psi(f_2)$:

- 1 – для режимов $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-1}$;
- 2 – для режимов $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-1}$;
- 3 – для режимов $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-1}$

Характер зависимостей $|\Delta Z_{12}| = \psi(f_2)$ аналогичен предыдущим графикам (рис. 3).

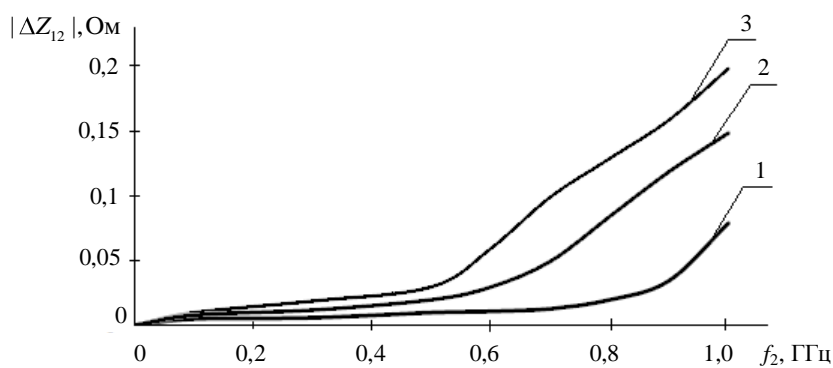


Рис. 3. Зависимости $|\Delta Z_{12}| = \psi(f_2)$:

- 1 – для режимов $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-1}$;
- 2 – для режимов $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-1}$;
- 3 – для режимов $k_o = 10^{-6}, k_E = 10^{-6}$ и $k_o = 10^{-1}, k_E = 10^{-1}$

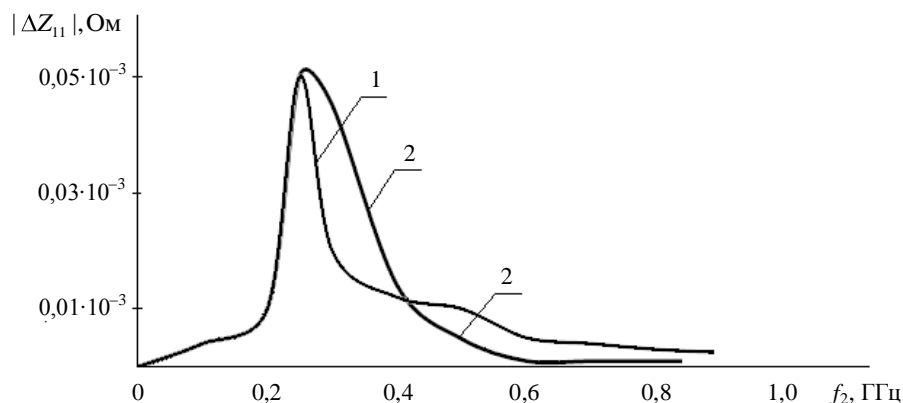
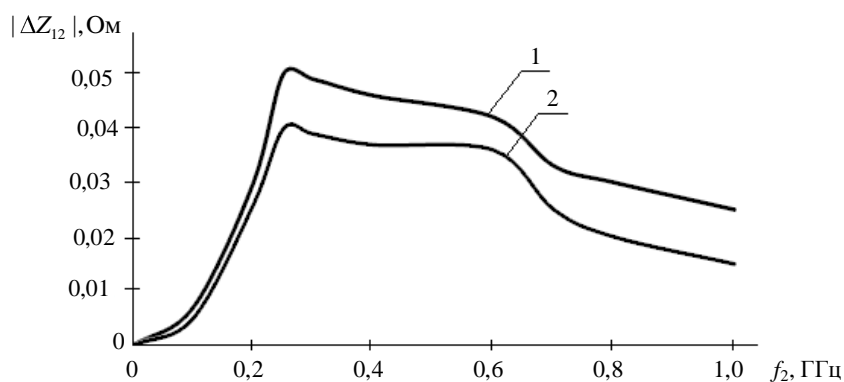
Следует отметить, что изменение контраста величины $|\Delta Z_{12}|$ происходит более интенсивно, чем $|\Delta Z_{11}|$.

Например, отличие в изменении величин Z_{12} для режимов 1 и 3 на частоте $f_2 = 1$ ГГц составляет 0,12 Ом.

В режиме мощного высокочастотного сигнала влияние коэффициентов k_o и k_E не так существенно, как в режиме низкочастотного сигнала, что видно из рисунка 4.

Следует отметить, что на частоте $f_2 = 0,25$ ГГц наблюдается максимум контраста величины $|\Delta Z_{11}|$, причем при всех значениях k_o и k_E .

Максимум контраста $|\Delta Z_{12}|$ наблюдается также на частоте $f_2 = 0,25$ ГГц, однако влияние коэффициентов k_o и k_E проявляется до частоты $f_2 = 1$ ГГц. В диапазоне частот $f_2 = (0,3...0,6)$ ГГц величина контраста практически постоянна.

Рис. 4. Зависимости $|\Delta Z_{11}| = \psi(f_2)$:1 – для режимов $k_{\omega} = 10^{-6}, k_E = 10^6$ и $k_{\omega} = 10^{-6}, k_E = 10$;2 – для режимов $k_{\omega} = 10^{-1}, k_E = 10^6$ и $k_{\omega} = 10^{-1}, k_E = -10$ Рис. 5. Зависимости $|\Delta Z_{12}| = \psi(f_2)$:1 – для режимов $k_{\omega} = 10^{-6}, k_E = 10^6$ и $k_{\omega} = 10^{-6}, k_E = 10$;2 – для режимов $k_{\omega} = 10^{-1}, k_E = 10^6$ и $k_{\omega} = 10^{-1}, k_E = 10$

Экспериментальная часть. Проводились измерения величин коэффициентов отражения от среды Γ_{f_1} и Γ_{f_2} над УВЗ на частотах f_1, f_2 . Определялось отношение

$$\sigma_f = \frac{\Gamma_{f_1}}{\Gamma_{f_2}}. \quad (5)$$

Выбор частот f_1 и f_2 осуществлялся на основе использования скачка напряженности поля на границе типа «море – суша» и «суша – море» [3].

Аномалии ЭМП на двух альтернативных частотах f_1 и f_2 могут оказаться противоположными, что и используются для идентификации УВЗ.

На рисунке 6 показано отношение коэффициентов отражения от среды над УВЗ на частотах f_1, f_2 .

Эксперимент проводился на частотах $f_1 = 10 \text{ ГГц}$ и $f_2 = 34 \text{ ГГц}$. Исследуемые точки (пикеты) располагались через 100 м.

Установлено, что на границе залежи (пикет № 29) происходит уменьшение величины δ_f до значения 0,78.

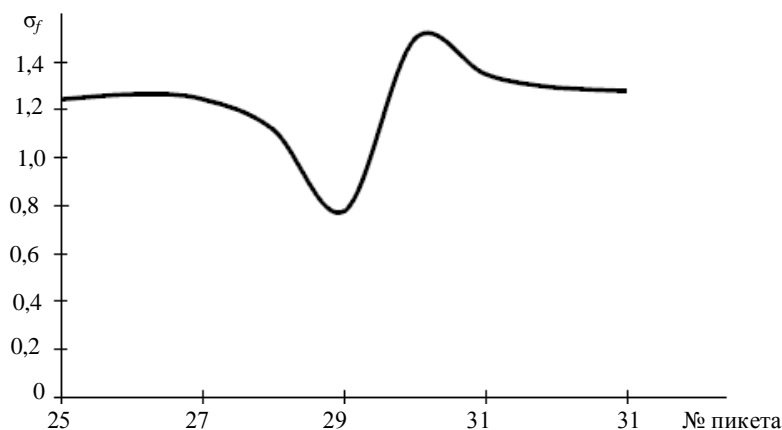


Рис. 6. Отношение σ_f коэффициентов Γ_{f1} и Γ_{f2} отражения от среды над УВЗ

Заключение. Проведен анализ компонентов ПИ среды над УВЗ. Рассмотрены два режима взаимодействия бигармонических сигналов с АС. Установлены частоты, на которых контраст ПИ выражен наиболее сильно. Проведены экспериментальные исследования отношения коэффициентов отражения на двух частотах.

Проведенный анализ показал возможность использования электромагнитных методов георазведки, основанных на измерении контраста ПИ, для поиска, оконтуривания и идентификации УВЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москвичев, В.Н. Исследование взаимодействия электромагнитных волн с углеводородной залежью / В.Н. Москвичев // Радиотехника и электроника. – Минск: Высш. шк., 1988. – Вып. 18. – С. 91 – 96.
2. Гололобов, Д.В. Радиотехнические системы поиска и идентификации углеводородных залежей в режиме двухчастотного взаимодействия / Д.В. Гололобов, В.Ф. Янушкевич // «Весці» НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. – 2002. – № 1. – С. 49 – 54.
3. Фейнберг, Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / Е.Л. Фейнберг. – М.: Сов. радио, 1961. – 546 с.
4. Хаскинд, М.Д. Распространение электромагнитных волн над гиротропной средой / М.Д. Хаскинд // Радиотехника и электроника. – 1961. – Т. 6, № 6. – С. 886 – 894.

Поступила 29.10.2009

GEOEXPLORATION OF HYDROCARBON DEPOSITS BY MEASURING THE CHARACTERISTIC OF ANTENNAS

S. MALTSEV, V. YANUSHKEVICH

A model for studying the interaction of two-frequency signals with the environment over hydrocarbon deposits are calculated. Components of surface impedance of the environment over hydrocarbon deposits are calculated. Two modes interaction are considered. For calculation the experimentally obtained environmental parameters data over hydrocarbon deposits are used. The change of contrast of the surface impedance is investigated. The most significant ratios of frequencies and amplitudes of the signals for the optimal search and contouring of hydrocarbon deposits are set. Experimental researches of ratio of the reflection coefficient at two frequencies are held. Recommendation for optimizing the devices for geoexploration are given.