

УДК 621.371:550.837.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ СО СРЕДОЙ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ

В.Н. ЛЕВОЩЕНКО

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

Представлены результаты моделирования взаимодействия углеводородных залежей с ЭМВ в режиме радиоимпульсных сигналов. Проведен анализ комбинационных составляющих тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов. Результаты исследования могут быть исследованы в поисковой геофизике.

В настоящее время для реализации новых методов георазведки представляет интерес исследование процесса взаимодействия радиоимпульсных электромагнитных волн (ЭМВ) со средой над залежами и скоплениями углеводородов, позволяющее оптимизировать частотные, поляризационные, амплитудные, модуляционные и другие параметры зондирующих сигналов, позволяющих повысить уровень идентификации углеводородов [1–4]. Цель настоящей работы состоит в обосновании выбора характеристик ЭМВ при использовании радиоимпульсных сигналов для разработки приборов поиска и идентификации углеводородных залежей (УВЗ).

Методика исследований. Проведем анализ компонентов диэлектрической проницаемости среды над углеводородами в режиме импульсного сигнала с параметрами: $\frac{U \cdot \tau_u}{2} = 1$ – амплитуда радиоимпульса; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – частота радиоимпульса; ω_0 – частота несущего сигнала; τ_u – длительность импульса.

Взаимодействие ЭМВ со средой над углеводородами представим в виде наклонного падения плоской волны с вертикальной поляризацией в среде с параметрами $\epsilon_0, \mu_0, \delta_0$ на безграничную поверхность с анизотропным импедансом (рис. 1).

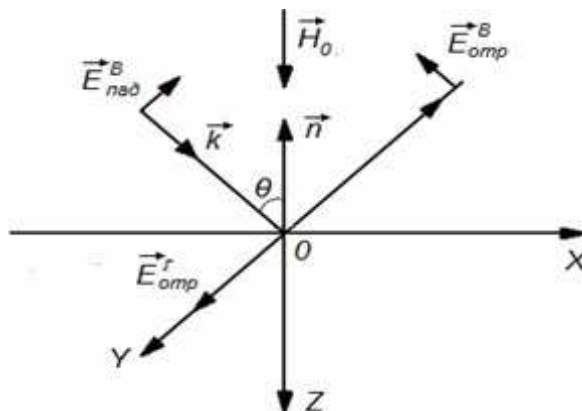


Рисунок 1. – Геометрия задачи для ЭМВ с вертикальной поляризацией поля

Проведем анализ тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов в виде:

$$\hat{\epsilon} = \begin{vmatrix} \epsilon_1 & -j\epsilon_2 & 0 \\ j\epsilon_2 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Компоненты тензора (1) $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, подлежащие исследованию в различных режимах взаимодействия среды с ЭМВ, несут информацию о свойствах анизотропной среды.

П

редставляет интерес анализ частотных характеристик комбинационных составляющих

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{E}}_R(\omega) &= \dot{\mathbf{E}}_1 + \dot{\mathbf{E}}_2 = \text{Re } \mathbf{E}_R + j \text{Im } \mathbf{E}_R, \\ \dot{\mathbf{E}}_L(\omega) &= \dot{\mathbf{E}}_1 - \dot{\mathbf{E}}_2 = \text{Re } \mathbf{E}_L + j \text{Im } \mathbf{E}_L.\end{aligned}\quad (2)$$

Компоненты тензора диэлектрической проницаемости имеют вид[3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{\epsilon}_1 &= \epsilon_r \cdot F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{w}\right) + \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{F \cdot w_{ni}^2 \cdot (w + n\Omega_1) \cdot [w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2 - v_i^2]}{w \cdot [v_i^2 + w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2]^2 + 4(w + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \right. \\ &\quad \left. - jF \left[\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot v_i \cdot \frac{(w + n\Omega_1)^2 + v_i^2 + w_{fi}^2}{[v_i^2 + w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2]^2 + 4(w + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} + \frac{\delta_r F}{w\epsilon_0} \right] \right\}, \\ \dot{\epsilon}_2 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot w_{fi} \cdot \frac{v_i^2 + w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2}{[v_i^2 + w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2]^2 + 4(w + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} -}{-2j \frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot w_{fi} \cdot v_i \cdot \frac{w + n\Omega_1}{[v_i^2 + w_{fi}^2 - (w + n\Omega_1)^2]^2 + 4(w + n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2}} \right\}, \\ \dot{\epsilon}_3 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{w}\right) \cdot \left[\epsilon_r - \frac{w_{ni}^2}{w} \cdot \frac{1}{(w + n\Omega_1)^2 + v_i^2} \right] - j \left[\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot v_i \cdot \frac{1}{(w + n\Omega_1)^2 + v_i^2} + \frac{\delta_2 F}{w\epsilon_0} \right] \right\}. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Здесь плазменная частота

$$\omega_{ni} = q_e \left(\frac{N_e}{m\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

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

T , F_1 , n – период, частота импульса и номер гармоники, $\Omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot F_1$,
гиротропная частота

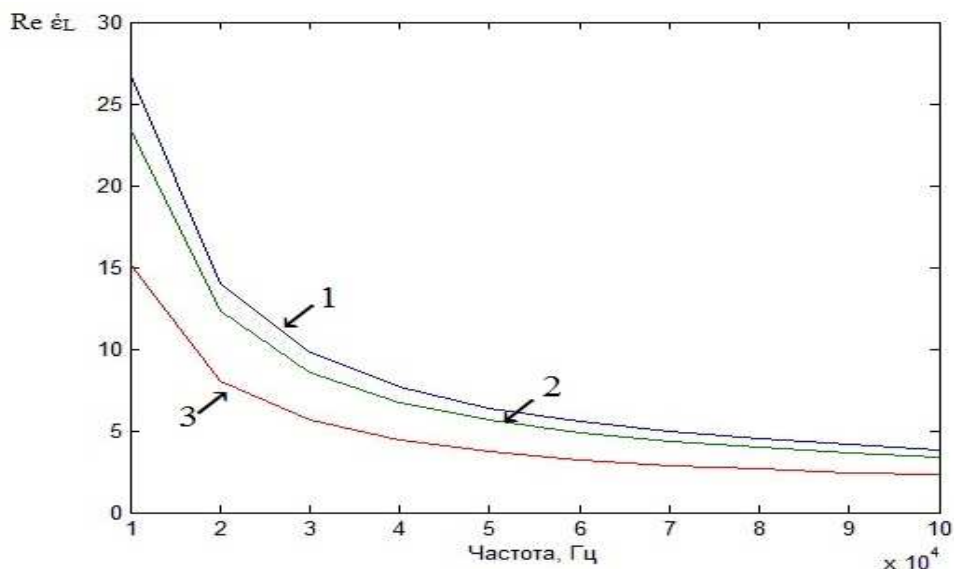
$$\omega_{fi} = \frac{q_i \mu_0 H_0}{m}.$$

Проведен анализ выражений (2) в диапазоне частот радиоимпульсных сигналов $F_i = (10^5 - 10^7)$ Гц, что обусловлено обеспечением глубин зондирования до 500 м для определения характеристик сред над залежами на больших глубинах по сравнению с «дневной» поверхностью [2].

Графики зависимостей приведены для частот радиоимпульса $1,5 \cdot 10^5$ Гц (рис.2), $5 \cdot 10^5$ Гц (рис. 3).

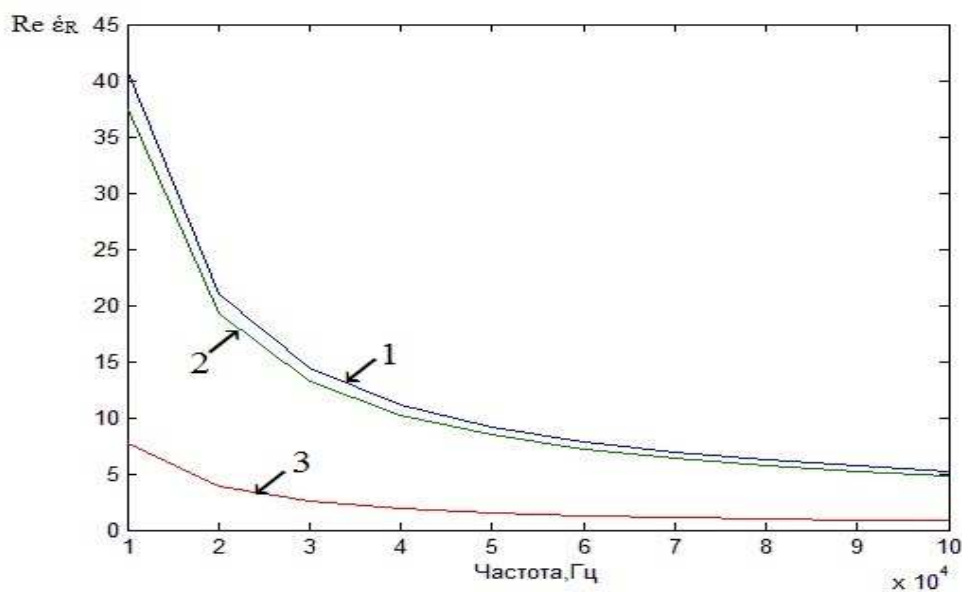
На практике встречается сложная картина распределения диэлектрической проницаемости среды над залежами, определяемая физико-геологическими свойствами пород-коллекторов:

- гранулометрическим и минералогическим составом пород;
- структурно-текстурными особенностями скелета;
- характером пористости и проницаемости;
- видом цементирующего вещества и механическими свойствами скелета;
- количеством пластовой воды в порах и ее минерализацией и т.д. [1].



1 – для $\epsilon_r = 25$; 2 – для $\epsilon_r = 20$; 3 – для $\epsilon_r = 2$

Рисунок 2. – Зависимости при $F_n = 1,5 \cdot 10^5$ Гц



1 – для $\epsilon_r = 25$; 2 – для $\epsilon_r = 20$; 3 – для $\epsilon_r = 2$

Рисунок 3. – Зависимости при $F_n = 5 \cdot 10^5$ Гц

Для повышения уровня достоверности определения границ УВЗ требуется обеспечение надежного метода поиска. Применение вспомогательных частот зондирования позволяет решить эту проблему.

Использование для зондирования частот импульса $1,5 \cdot 10^5$ и $5 \cdot 10^5$ Гц повышает информативность устройства поиска.

На частоте $1,5 \cdot 10^5$ Гц наблюдается различный характер изменения суммарной компоненты в зависимости от свойств диэлектрического наполнителя, а на частоте $5 \cdot 10^5$ Гц вещественная часть диэлектрической проницаемости ЭМВ с левой поляризацией отличается численными значениями, изменяясь по одинаковому закону.

Заключение

Результаты исследования могут быть исследованы в поисковой геофизике. При этом следует отметить следующее:

- распространение ЭМВ с правой и левой круговыми поляризациями повышает информативность методов оконтуривания и выделения УВЗ за счет различных закономерностей изменения электродинамических характеристик среды над залежью;

- методы поиска и идентификации углеводородов могут быть усовершенствованы за счет получения информации об объектах по нескольким каналам, что позволяет с достаточно высоким уровнем достоверности выделять их границы на фоне подстилающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levashov, S.P. Electric-resonance sounding method and its application for, geological-geophysical and engineering-geological investigations / S.P. Levashov // 66nd EAGE Conference and Technical Exhibition, Paris, France, 7–10 June 2003 (CD-ROM Abstracts volume).
2. Янушкевич, В.Ф. Моделирование двухчастотного взаимодействия электромагнитных волн с углеводородной залежью / В.Ф. Янушкевич // Приборы. Справ. журн. – 1999. – № 10. – С. 27–29.
3. Взаимодействие электромагнитных волн с анизотропными средами над углеводородными залежами в режиме радиоимпульсных сигналов / В.Ф. Янушкевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-т. Серия, С. Фундаментальные науки. – 2016. – № 12. – С. 45– 50.
4. 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 Parts. – PSU, Novopolotsk, 2016. – Part 3: Technology. – P. 179–183.
5. Иванова, К.И. Способ геоэлектроразведки углеводородной залежи с использованием радиоимпульсных сигналов / К.И. Иванова, В.Ф. Янушкевич // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 4 окт. 2016 г. Т. 1. – СПб., 2016. – С. 107–111.