

УДК 621.371:550.837.6

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ СО СРЕДОЙ
НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ

В.Н. ЛЕВОЩЕНКО

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

Представлены результаты взаимодействия анизотропного слоя, расположенного над залежью, с ЭМВ в режиме радиоимпульсных сигналов. Выведен тензор диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов. Полученные результаты исследования могут быть исследованы в поисковой геофизике.

Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач заключается в модернизации существующих электромагнитных методов георазведки и разработке новых методов поиска, идентификации электрически неоднородных сред. Одной из разновидностей таких сред являются месторождения нефти и газа (углеводородов), являющиеся стратегическим видом полезных ископаемых и определяющие широкий спектр глобальных экологических вопросов современного общества [1].

Исследование режимов взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) с углеводородными залежами (УВЗ) может быть использовано в поисковой геофизике для повышения точности и уровня достоверности методов обнаружения залежей нефти и газа.

Результаты анализа взаимодействия ЭМВ с УВЗ, экспериментальное исследование и интерпретация полученных исследований представлены во многих работах, например [2–5].

Вместе с тем для реализации новых методов представляет интерес анализ процесса взаимодействия ЭМВ с анизотропными средами (АС), образующихся над залежами и скоплениями углеводородов, в режиме радиоимпульсных сигналов [6].

Методика исследований. Проведем анализ компонентов диэлектрической проницаемости среды над углеводородами в режиме импульсного сигнала вида:

$$S(f) = \frac{U \cdot \tau_u}{2} \cdot \frac{\sin \frac{(\omega - \omega_0) \cdot \tau_u}{2}}{\frac{(\omega - \omega_0) \cdot \tau_u}{2}} + \frac{\sin \frac{(\omega + \omega_0) \cdot \tau_u}{2}}{\frac{(\omega + \omega_0) \cdot \tau_u}{2}},$$

где $\frac{U \cdot \tau_u}{2} = 1$ – 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 на трассе распространения радиоволн можно представить в виде режима наклонного падения плоской волны с вертикальной поляризацией в среде с параметрами $\epsilon_0, \mu_0, \delta_0$ на безграничную поверхность с анизотропным импедансом.

Выведем тензор диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов в следующем виде:

$$\dot{\epsilon} = \begin{vmatrix} \dot{\epsilon}_1 & -j\dot{\epsilon}_2 & 0 \\ j\dot{\epsilon}_2 & \dot{\epsilon}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{\epsilon}_3 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Определение компонентов тензора диэлектрической проницаемости (1) основано на квазигидродинамическом приближении, в рамках которого уравнение движения электрона имеет вид:

$$m \frac{d\dot{\vartheta}}{dt} + v m \dot{\vartheta} = q \dot{E} + q \mu_0 \left[\dot{\vartheta}, \dot{H}_0 \right]. \quad (2)$$

В формуле (2) m, q, \dot{v} – масса, заряд и скорость движения частиц; ν – частота столкновений электрона с тяжелыми частицами; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; \vec{E} – напряженность электрического поля ЭМВ; \vec{H}_0 – напряженность магнитного поля Земли.

Координатное разложение напряженности электрического поля с учетом (2) позволяет записать компоненты тензора диэлектрической проницаемости в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{\epsilon}_1 &= \epsilon_r \cdot F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{w}\right) + \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{F \cdot w_{ni}^2}{w} \cdot \frac{(w+n\Omega_1) \cdot [w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2 - v_i^2]}{[v_i^2 + w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2]^2 + 4(w+n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \right. \\ & \left. - jF \left[\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot v_i \cdot \frac{(w+n\Omega_1)^2 + v_i^2 + w_{ni}^2}{[v_i^2 + w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2]^2 + 4(w+n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} + \frac{\delta_r F}{w\epsilon_0} \right] \right\}, \\ \dot{\epsilon}_2 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot w_{ni} \cdot \frac{v_i^2 + w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2}{[v_i^2 + w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2]^2 + 4(w+n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} - \right. \\ & \left. - 2j \frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot w_{ni} \cdot v_i \cdot \frac{w+n\Omega_1}{[v_i^2 + w_{ni}^2 - (w+n\Omega_1)^2]^2 + 4(w+n\Omega_1)^2 \cdot v_i^2} \right\}, \\ \dot{\epsilon}_3 &= \sum_{i=1}^2 \left\{ F \left(1 + \frac{n\Omega_1}{w}\right) \cdot \left[\epsilon_r - \frac{w_{ni}^2}{w} \cdot \frac{1}{(w+n\Omega_1)^2 + v_i^2} \right] - j \left[\frac{w_{ni}^2}{w} \cdot F \cdot v_i \cdot \frac{1}{(w+n\Omega_1)^2 + v_i^2} + \frac{\delta_2 F}{w\epsilon_0} \right] \right\}. \end{aligned} \right. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

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

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

- гиротропная частота

$$\omega_{Gi} = \frac{q_i \mu_0 H_0}{m};$$

- плазменная частота

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

Компоненты тензора (3) $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, подлежащие исследованию в различных режимах взаимодействия среды с ЭМВ, несут информацию о свойствах анизотропной среды.

Заключение

Проведен анализ взаимодействия анизотропного слоя, расположенного над залежью, с ЭМВ в режиме радиоимпульсных сигналов. Выведен тензор диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме радиоимпульсных сигналов.

Результаты исследования могут быть исследованы в поисковой геофизике.

При этом следует отметить:

- тензор диэлектрической проницаемости среды над залежами нефти и газа в режиме радиоимпульсных сигналов может быть использован для определения электродинамических характеристик ис-

следуемого геопрофиля при вариации частот зондируемых сигналов, диэлектрических проницаемостей и удельных проводимостей сред в широком диапазоне;

- вариация характеристик зондирующих сигналов позволяет повысить информативность методов оконтуривания и выделения УВЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Moskvichew, V.N. Interaction of electromagnetic waves (EMW) with anisotropic inclusion in communication line / V.N. Moskvichew // 9-th Microw. Conf. NICON – 91, Rydzyna, May 20–22. – 1991. – Vol. 1. – P. 240–244.
3. Гололобов, Д.В. Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей / Д.В. Гололобов. – Минск : Бестпринт, 2009. – 185 с.
4. Гололобов, Д.В. Поверхностный импеданс среды над углеводородными залежами в режиме частотно-модулированных сигналов / Д.В. Гололобов, С.В. Калинин, В.Ф. Янушкевич // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – Минск, 2010. – № 4. – С. 98–101.
5. Asch T. and Morrison. Mapping and monitoring electrical resistivity with surface and surface electrode arrays // Geophysics. – 1989. – P. 235–244.
6. Гололобов, Д.В. Поиск месторождений углеводородных залежей радиоволновым методом / Д.В. Гололобов, В.Ф. Янушкевич // Приборы. Справ. журн. – М. : Научтехмаш, 1999. – № 10. – С. 25–27.
7. Янушкевич, В.Ф. Взаимодействие электромагнитных волн с анизотропными средами над углеводородными залежами в режиме радиоимпульсных сигналов / В.Ф. Янушкевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С, Фундаментальные науки. Физика. – 2016. – № 12. – С. 45–50.