

УДК 550.837.75:553.98

ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОТ СЛОИСТЫХ СРЕД

О.В. ОРЛОВА, Ю.А. ЩАДЕНКОВ,
 канд. техн. наук, доц. **В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ**
 (Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты теоретического анализа взаимодействия электромагнитных волн с углеводородной залежью. В работе приведены критерии выбора характеристик зондирующих сигналов для поиска анизотропных образований, методика моделирования среды над залежью углеводородов, технические решения, позволяющие снизить массу и габариты радиотехнических систем поиска углеводородных залежей. Представлены результаты для количественного повышения эффективности поиска и выделения залежей углеводородов на основе использования электромагнитных волн. Даны рекомендации по разработке методов поиска углеводородных залежей. Разработаны методы поиска залежей углеводородов, основанные на использовании оптимальных соотношений частот электромагнитных волн. В статье представлены результаты определения глубины залегания углеводородных залежей. Результаты исследований могут быть использованы в области геофизики, радиолокации, электроники.

Введение. Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач заключается в повышении эффективности методов поиска месторождений нефти и газа (углеводородов). Нефть и природный газ являются стратегическим видом полезных ископаемых, определяющим развитие глобальной экономики современного общества. Методы и средства добычи углеводородов постоянно совершенствуются и претерпевают качественные изменения с момента начала их практического применения. В настоящее время в геофизической электроразведке наметилось новое направление – применение методов радиолокации. Важнейшей особенностью данных методов, по сравнению с другими, является возможность измерить толщину подповерхностных слоев и расстояния до них, а также получить некоторые структурные и электрические характеристики сред. Особый интерес представляет определение глубины залегания полезных ископаемых. На данный момент эта задача наиболее полно решена для таких сред, как торф, грунтовые воды, мерзлые грунты [1]. Цель работы заключается в обосновании выбора характеристик электромагнитных волн (ЭМВ) для повышения производительности геологоразведочных работ, повышения точности определения глубины залегания углеводородных залежей (УВЗ).

Особенностью месторождения нефти и газа являются большие глубины залегания – более 2 км [2; 3]. Соответственно, затухание ЭМВ на таких расстояниях очень большое и это требует перехода для зондирования сред в более длинноволновые диапазоны.

Теоретический анализ. Рассмотрим слой толщиной h с плоскими границами раздела, имеющий относительную диэлектрическую проницаемость $\dot{\epsilon}_2$ и расположенный между полубесконечными средами с относительными диэлектрическими проницаемостями $\dot{\epsilon}_1 = 1$ и $\dot{\epsilon}_3$ (рис. 1).

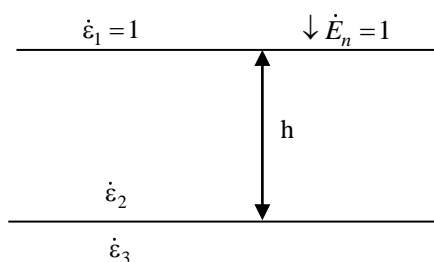


Рис. 1. Отражение плоской электромагнитной волны от слоистой среды

Примем амплитуду нормально падающей ЭМВ за условную единицу $\dot{E}_n = 1$.

Размерность напряженности поля будет определяться используемой радиотехнической системой для поиска.

Тогда комплексная амплитуда волны, отраженной от границы сред 1 – 2, равна

$$\dot{E}_0 = \dot{E}_n \cdot \dot{R}_{1-2} = \dot{R}_{1-2}, \quad (1)$$

где \dot{R}_{1-2} – коэффициент отражения от верхней границы.

Волна, проникшая в слой, имеет амплитуду:

$$\dot{E}_B = \dot{E}_n \cdot \dot{T}_{1-2} = \dot{T}_{1-2}, \quad (2)$$

где \dot{T}_{1-2} – коэффициент прохождения.

Комплексная амплитуда отраженной волны от нижней границы слоя h будет равна

$$\dot{E}_H = \dot{T}_{1-2} \cdot \dot{R}_{2-3} \cdot \dot{T}_{2-1} \cdot e^{-2\gamma_z h}, \quad (3)$$

где \dot{R}_{2-3} – коэффициент отражения от границы раздела сред 2 и 3; \dot{T}_{2-1} – коэффициент прохождения волны через слой h в обратном направлении; γ_z – коэффициент распространения волн в слое:

$$\gamma_z = j \frac{\omega}{C} \sqrt{\dot{\epsilon}_2 \cdot \dot{\mu}_1}, \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ – частота ЭМВ; $C = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; $\dot{\mu}_2 = 1$ – относительная магнитная проницаемость слоя 2.

Между указанными выше коэффициентами существуют следующие связи:

$$\dot{R}_{2-3} = \frac{\dot{z}_3 - \dot{z}_2}{\dot{z}_3 + \dot{z}_2}; \quad (5)$$

$$\dot{T}_{1-2} = 1 + \dot{R}_{1-2}, \quad (6)$$

где волновые сопротивления сред \dot{z}_2 и \dot{z}_3 определяются по формулам:

$$\dot{z}_2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \dot{\epsilon}_2}}, \quad (7)$$

$$\dot{z}_3 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \dot{\epsilon}_3}}. \quad (8)$$

Коэффициент отражения от верхней границы слоя h равен

$$\dot{R}_{1-2} = \frac{\dot{z}_{gx} - \dot{z}_1}{\dot{z}_{gx} + \dot{z}_1}, \quad (9)$$

где

$$\dot{z}_{gx} = \frac{(\dot{z}_3 + \dot{z}_2) + (\dot{z}_3 - \dot{z}_2)e^{-2\gamma_z h}}{(\dot{z}_3 + \dot{z}_2) - (\dot{z}_3 - \dot{z}_2)e^{-2\gamma_z h}} \cdot \dot{z}_2. \quad (10)$$

Волновое сопротивление первой среды:

$$\dot{z}_1 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \text{ Ом}, \quad (11)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м Г/м; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Заметим, что в формуле (3) многократные отражения сигнала в слое h не учтены, что связано со значительным затуханием радиоволн в слое [1].

Задержка нижнего сигнала \dot{E}_H относительно верхнего \dot{E}_B при однократном распространении радиоволн в слое

$$\Delta t = \frac{2h}{v_\phi}, \quad (12)$$

где $v_\phi = C / \text{Re} \sqrt{\dot{\epsilon}_2 \cdot \dot{\mu}_2}$ – скорость распространения радиоволн в слое.

Результаты и их обсуждение. Были рассчитаны частотные зависимости величины коэффициента затухания ЭМВ в слое h $\Gamma = \gamma_2 \cdot h$ (рис. 2). Для глубины залегания УВЗ $h = 3000$ м затухание ЭМВ увеличивается от 0,2 дБ/м на частоте 10^3 Гц до значения $\Gamma = 19,86$ дБ/м при $f = 10^5$ Гц. При толщине слоя $h = 5000$ м $\Gamma = 33,1$ дБ/м на частоте $f = 10^5$ Гц, соответственно для $h = 10000$ м – затухание составляет 66,2 дБ/м на данной частоте.

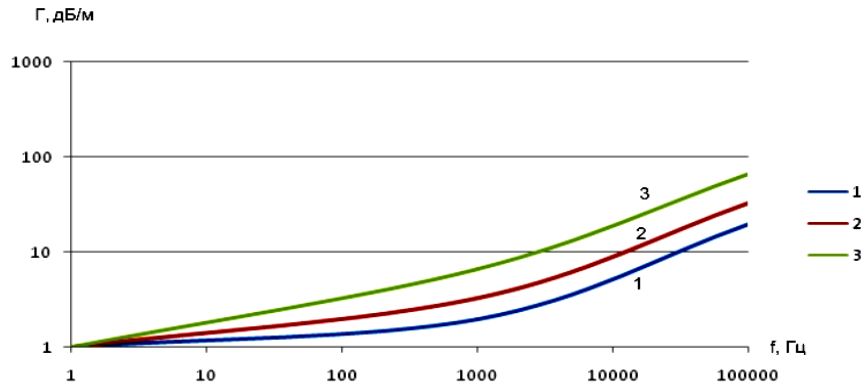


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента затухания ЭМВ:
1 – для $h = 3000$ м; 2 – для $h = 5000$ м; 3 – для $h = 10000$ м

Проведен анализ входного сопротивления трехслойной среды z_{ex} (10). Как видно из рисунка 3, z_{ex} уменьшается с ростом частоты.

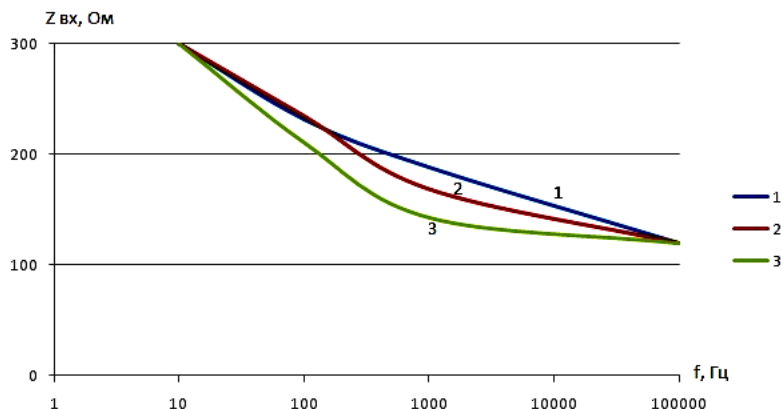


Рис. 3. Входное сопротивление трехслойной среды:
1 – для $h = 3000$ м; 2 – для $h = 5000$ м; 3 – для $h = 10000$ м

При $f = 10^5$ Гц $z_{ex} = 119,16$ Ом для всех значений глубины залегания пласта углеводородов. Для частоты $f = 10$ Гц входное сопротивление составляет 236 – 237 Ом для всех глубин залегания. В диапазоне частот $f = (10^1 - 10^5)$ Гц происходит уменьшение сопротивления слоя, причем контраст импеданса более существенно проявляется при изменении величины h . Так, при $h = 5000$ м $z_{ex} \approx 168,67$ Ом на частоте 10^2 Гц, а для $h = 10000$ м $z_{ex} \approx 142,34$ Ом на той же частоте.

Коэффициент отражения принимает отрицательные значения, уменьшаясь с ростом частоты зондирующего сигнала. При $f = 10$ Гц и $h = 3000$ м, $R_{1-2} = -0,227$. Для частоты $f = 10^3$ Гц коэффициент отражения равен $-0,334$, а на частоте 10^5 Гц $R_{1-2} = -0,519$. Подобный характер зависимостей сохраняется при увеличении глубины залегания пласта, причём коэффициент отражения при этом принимает меньшее значение. Характерно, что для $f = 10^5$ Гц происходит стабилизация R_{1-2} на значении $-0,19$ при всех глубинах h .

Был проведен анализ коэффициента отражения \dot{R}_{1-2} (9). Частотные зависимости коэффициента отражения от верхней границы слоя представлены на рисунке 4. Наибольший интерес представляет нахождение величины сигнала отраженной волны от нижней границы слоя h (3). Зависимости показаны на рисунке 5. Зондирование пласта глубиной h на частоте $f = 10^5$ Гц связано с сильным затуханием ЭМВ в слое. Так, для $h = 3000$ м величина отраженного сигнала $E_n = 1,37 \cdot 10^{-18}$, при $h = 5000$ м $-E_n = 4,31 \cdot 10^{-30}$, на глубине $h = 10000$ м $-E_n = 7,66 \cdot 10^{-59}$.

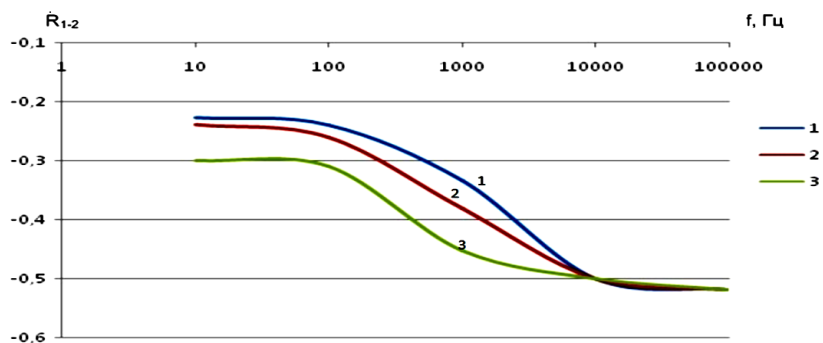


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициента отражения об верхнюю границу слоя: 1 – для $h = 3000$ м; 2 – для $h = 5000$ м; 3 – для $h = 10000$ м

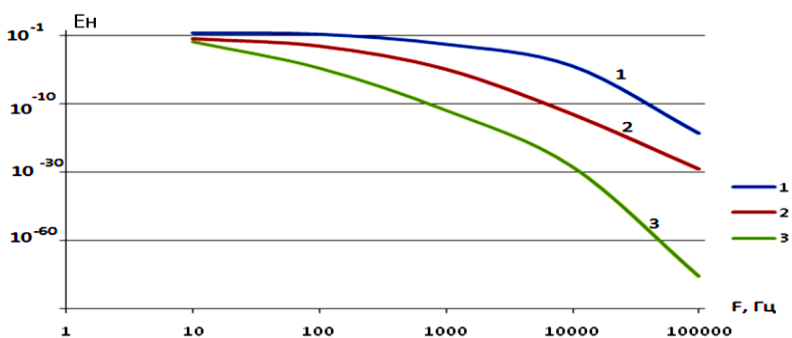


Рис. 5. Частотные зависимости амплитуды отраженной волны от нижней границы слоя: 1 – для $h = 3000$ м; 2 – для $h = 5000$ м; 3 – для $h = 10000$ м

Заключение. Проведенный теоретический анализ отражения ЭМВ от трехслойной среды для случая УВЗ способствует оптимизации параметров сигналов и используемых радиотехнических систем для поиска и **оконтуривания** границ углеводородов. Приведена модель слоистой среды, рассчитаны коэффициенты затухания ЭМВ в слое, входное сопротивление и коэффициенты отражения от верхних границ среды. Рассчитанные зависимости амплитуды отраженной волны от нижней границы слоя могут быть использованы для определения глубины залегания УВЗ. Так, с точки зрения критериев стоимость – сложность – точность можно рекомендовать для поиска и идентификации залежей нефти и газа использование частоты в диапазоне от 10^2 до 10^3 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии / М.И. Финкельштейн [и др.]. – М.: Недра, 1986.
2. Москвичёв, В.Н. Исследование взаимодействия электромагнитных волн с углеводородной залежью / В.Н. Москвичёв // Радиотехника и электроника. – Минск: Высш. шк., 1988. – Вып. 18. – С. 91 – 96.
3. 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.

Поступила 05.05.2011

REFLECTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES OF LAYER ENVIRONMENTS

O. ORLOVA, Y. SHCHADENKOV, V. YANUSHKEVICH

The article presents the results of theoretical analysis of interaction electromagnetic waves with hydrocarbon pool. In the work we have shown the criteria of sounding signals characteristics choice, choice of signals used for searching anisotropic formation: the methods of modeling environment over the hydrocarbon pool technical solution, which allow to reduce the weight and size of the radio-engineering systems of searching hydrocarbon pools. The results for qualitative increase of efficiency of search and allocation hydrocarbon pools on the basis of use of electromagnetic waves are shown. There are recommendations for the development of the methods of searching of hydrocarbon deposits. We have worked the methods of searching hydrocarbon pool, based of using optimal correlation of frequencies of electromagnetic waves. The article presents the results of definition of depth hydrocarbon pools. The results of work can be used in the fields of geophysics, radiolocation, electronics.