

УДК 621.371:550.837.6

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗАЦИИ ЧАСТИЦ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЭМВ С АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДОЙ

Д.В. ГОЛОЛОБОВ, П.М. КАТЛЕРОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 14 сентября 2003

Представлены результаты исследований взаимодействия ЭМВ и анизотропной неоднородности с твердым диэлектрическим наполнителем и различным соотношением концентрации частиц. Впервые теоретически обосновано применение метода радикомпарирования и пеленгации для поиска и выделения углеводородных залежей.

Ключевые слова: анизотропия, ионизация частиц, комбинационный элемент тензора, углеводородная залежь.

Современные электромагнитные методы (ЭММ), основанные на изучении процесса взаимодействия электромагнитных полей (ЭМП) с конкретным материальным объектом, находящимся в среде с потерями, позволяют решать ряд задач по поиску, выделению и идентификации различных образований естественного или искусственного происхождения, находящихся на фоне полифазной и гетерогенной подстилающей поверхности.

В настоящее время важным практическим приложением ЭММ, которое связано с отдельным направлением поисковой геофизики — электромагнитной разведкой (электроразведкой), являются поиск, обследование и оконтуривание залежей полезных ископаемых. Информация о теоретических исследованиях методов электроразведки для выделения геологических неоднородностей носит, как правило, фрагментарный характер. Результаты этих исследований из коммерческих соображений не публикуются, а порой не имеют должных качественных и количественных подтверждений. Такое положение сдерживает развитие методов электроразведки и их внедрение в производство.

Залежи нефти и газа (углеводородов) в естественных условиях залегания проявляют анизотропные свойства во вмещающих породах над этими образованиями, которые сходны с анизотропией сред плазмopodobного типа [1]. Особенностью таких сред является наличие диэлектрического наполнителя, имеющего комплексную проницаемость $\hat{\epsilon} = \epsilon_r - j\sigma_r / (\omega\epsilon_0)$.

Решение задачи выделения границ нефтегазового месторождения связано с использованием резонансного взаимодействия электромагнитной волны (ЭМВ) со средой над залежью, проявляющей анизотропные свойства в слабом геомагнитном поле. Для оптимизации частот воздействующей на среду гармонической ЭМВ требуется провести анализ дисперсионного уравнения с комплексными многопараметрическими коэффициентами. Результаты исследований [2] показали, что аномальные участки частотных зависимостей корней указанного уравнения однозначно связаны с точками инверсии знака комбинированных элементов тензора (КЭТ) диэлектрической проницаемости вида

$$\hat{\epsilon}_I(j\omega) = \hat{\epsilon}_1(j\omega) + \hat{\epsilon}_2(j\omega) = \epsilon_{iR} - j\epsilon_{iI},$$

$$\dot{\varepsilon}_{\dot{E}}(j\omega) = \dot{\varepsilon}_1(j\omega) - \dot{\varepsilon}_2(j\omega) = \varepsilon_{\dot{E}R} - j\varepsilon_{\dot{E}I}, \quad (1)$$

где $\dot{\varepsilon}_1(j\omega) = \dot{\varepsilon}_{11} = \dot{\varepsilon}_{22}$, $\dot{\varepsilon}_2(j\omega) = \dot{\varepsilon}_{12} = -\dot{\varepsilon}_{21}$ — компоненты тензора.

При учете двухчастичного потока ($i=2$) действительные и мнимые составляющие КЭТ определяются выражениями

$$\varepsilon_{iR} = \varepsilon_r + \sum_i \frac{\Omega_i^2(\omega_i^2 - \omega^2) \left[(1 - v_i^2) - \frac{\omega_i}{\omega}(1 + v_i^2) \right]}{(\omega_i^2 + v_i^2 - \omega^2) + 4\omega^2 v_i^2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_{iI} = \frac{\sigma_r}{\omega\varepsilon_0} + \sum_i \frac{\Omega_i^2 v_i (\omega_i^2 + v_i^2 + \omega^2) + 2\omega_i \omega}{\omega(\omega_i^2 + v_i^2 - \omega^2) + 4\omega^2 v_i^2}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\dot{E}R} = \varepsilon_r + \sum_i \frac{\Omega_i^2(\omega_i^2 - \omega^2) \left[(1 - v_i^2) + \frac{\omega_i}{\omega}(1 + v_i^2) \right]}{(\omega_i^2 + v_i^2 - \omega^2) + 4\omega^2 v_i^2}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\dot{E}I} = \frac{\sigma_r}{\omega\varepsilon_0} + \sum_i \frac{\Omega_i^2 v_i (\omega_i^2 + v_i^2 + \omega^2) - 2\omega_i \omega}{\omega(\omega_i^2 + v_i^2 - \omega^2) + 4\omega^2 v_i^2}, \quad (5)$$

здесь Ω_i и ω_i — плазменная и циклотронная частоты; v_i — частота столкновения частиц i -го сорта.

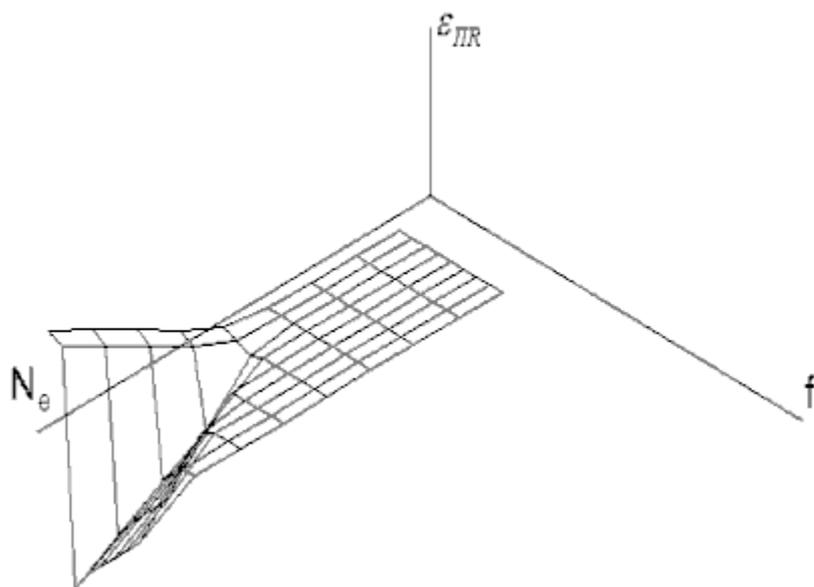
Численные исследования (2)–(5) для концентрации электронов $N=10^{16} \text{ м}^{-3}$ и единичного коэффициента ионизации $K_u = N_u / N_e = 1$, а также $v_e = 10^7 \text{ н}^{-1}$, $\varepsilon_r = 10$, $v_e = 10^9 \text{ н}^{-1}$, $\sigma_r = 0,01 \text{ см/м}$ свидетельствуют о совпадении электронного циклотронного резонанса (ЭЦР) взаимодействия ЭМВ и анизотропной среды с частотами методов "Рэдойл" и отраженных волн (*N.Barret, 1959, D. Slatterly, 1963*) для выделения границ нефтегазовых месторождений, а также частоты для реализации поляризационного метода (*C. Barnette, 1989*) с расчетными значениями частоты электронного плазменного резонанса (ЭПР).

Ввиду многопараметричности КЭТ (1) исследования их частотной зависимости проведены при вариации одного из набора изменяющихся электродинамических параметров среды. Это позволяет наблюдать динамику изменения (2)–(5).

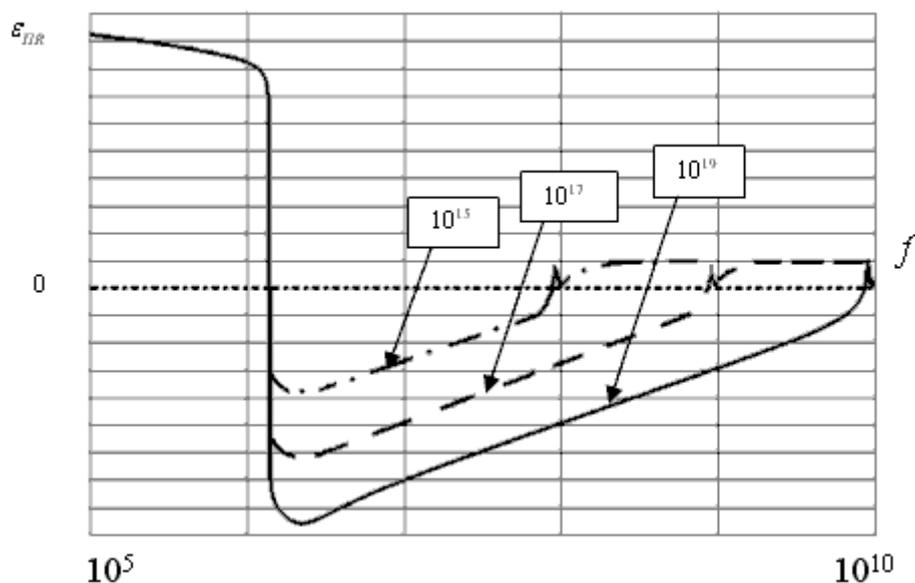
На рис.1,*а* приведена частотная зависимость действительной части комбинационного элемента $\dot{\varepsilon}_{iI}$ при изменении концентрации электронов от 10^{15} до 10^{20} м^{-3} и первоначально обозначенных электродинамических параметрах среды, а на рис. 2 — сечения объемной характеристики при фиксированных концентрациях.

Как видно из рис. 1,*б*, при росте N_e увеличивается частота, соответствующая переходу ε_{iR} через нуль в высокочастотной части исследуемого диапазона, которая коррелируется с ЭПР ($f_{ep} = f_4 = 9,1\sqrt{N_e}$). Частота ЭЦР — f_3 остается постоянной. Изменения соотношений концентраций частиц при $v_e = 10^5 \text{ с}^{-1}$ приводят к появлению резонансных проявлений в низкочастотной части исследуемого диапазона, которые соответствуют ионному циклотронному (ИЦР) — f_1 и нижнегибридному резонансам (НГР) — f_2 (рис. 2).

С ростом коэффициента ионизации частота ИЦР фиксирована, а частота НГР увеличивается. Если при $K_u=1$ $f_1=6,28 \text{ кГц}$ и $f_2=12,7 \text{ кГц}$, то увеличение ионной концентрации наполнителя среды на порядок $K_u=10$ смещает частоту НГР и она равна $66,8 \text{ кГц}$, а при $K_u=100$ $f_2=660 \text{ кГц}$, f_3 не изменяется, а f_4 незначительно увеличивается.



a



б

Рис. 1. Частотная зависимость ε_{IR} от N_e
(*a*) и ее сечения при фиксированных значениях концентрации (*б*)

Проявление ИЦР служит теоретическим обоснованием использования известного метода радиокомпарирования и пеленгации (радиокип) для обнаружения углеводородных залежей (УВЗ) [3], поскольку численные значения f_1 и f_2 совпадают с частотным диапазоном, применяемым при реализации метода. Другим обоснованием введения отличий концентраций являются электрохимические исследования образцов пород, отобранных непосредственно над УВЗ, свидетельствующие о преобладании ионной составляющей проводимости за счет большей концентрации ионных частиц в среде [4].

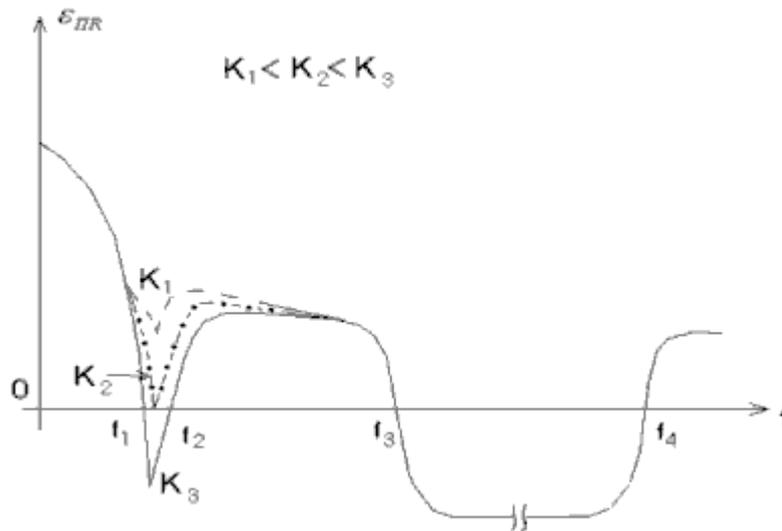


Рис. 2. Частотная зависимость ε_{iR} при различных значениях K_u

На основе приведенных сведений модель естественной анизотропной неоднородности должна учитывать соотношение концентраций ионов и электронов. Динамика изменений резонансных частот f_1 , f_2 , f_3 , f_4 взаимодействия ЭМВ со средой над УВЗ при вариации коэффициента ионизации представлена на рис. 2.

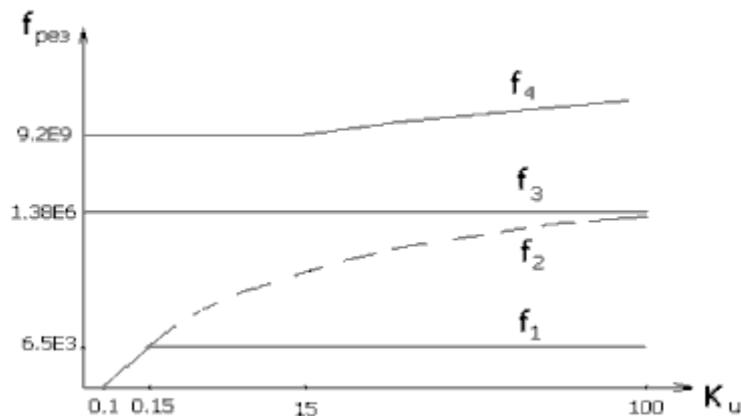


Рис.3. Изменение резонансных частот при различных соотношениях концентраций частиц

Как видно из графика (рис. 3), при различных коэффициентах можно выделить три зоны: $0,1 < K_u < 1$, когда явно проявляется два резонанса на частотах f_3 и f_4 ; $1 < K_u < 100$, зона существования четырех резонансов; $K_u > 100$, когда проявляются три резонанса: f_1 , f_3 и линейно возрастающий f_4 .

В зависимости от используемой зоны можно судить о степени соотношения концентраций электронов и ионных примесей в среде.

Таким образом, в результате исследований впервые обоснован выбор частотного диапазона метода радиокип, получены сведения, позволяющие осуществить диагностику концентраций частиц плазмоподобных сред на основе регистрации частот резонансного взаимодействия анизотропного образования и ЭМВ, а также оптимизировать характеристики аппаратуры новых ЭММ для поиска и выделения анизотропных неоднородностей на фоне относительно однородных подстилающих сред.

THE INFLUENCE OF PARTICAL'S IONIZATION ON THE INTERACTION OF ELECTRIC WAVE AND ANISOTROPIC ENVIRONMENT

P.M. KATLEROV, D.V. GOLOLOBOV

Abstract

Offered results of investigations of the interaction of the electric wave and the anisotropic heterogeneity with solid dielectric stuff and various ratio of particle concentration. For the first time proved in theory the application of method of radiocalibration and direction-finding for the search and allocation of hydrocarbon deposits.

Литература

1. Гололобов Д.В., Москвичев В.Н., Стадник Ю.Н. // Геология нефти и газа. 1995. № 3. С. 26–30.
2. Гололобов Д.В., Москвичев В.Н. // Радиотехника и электроника. 1994. Вып. 22. С. 69–74.
3. Гордеев С.Г., Седельников Э.С., Тархов А.Г. Электроразведка методом радиокип. М., 1981.
4. Бабкин Ю.А. // Литосфера. 1998. № 9. С. 121–124.