

Янушкевич В.Ф., Кременя К.И., Заяц Е.Ю.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ ПЛАЗМОПОДОБНОГО ТИПА

Введение. Решение задач взаимодействия электромагнитной волны (ЭМВ) и углеводородной залежи (УВЗ), находящейся на фоне гетерогенной и полифазной среды связано с учетом сложных физических процессов над залежами углеводородов, условиями их залегания. До недавнего времени электродинамическое описание залегающей неоднородности сводилось к его представлению в виде «тела с конечной проводимостью, погруженного в среду с потерями».

В настоящее время существует несколько физических моделей залежей углеводородов, учитывающих миграцию углеводородов в среде над залежами к поверхности Земли. В этом случае воздействие электромагнитных сигналов на такое образование может быть описано как одно-резонансным, так и много резонансным взаимодействием [1 - 3].

В современной электроразведке наблюдается тенденция поиска новых методов, связанных с усложнением методик и технологий, преследующих сокращение времени аттестации контролируемой поверхности и улучшение качественных показателей эффективности [4]. Больше число предлагаемых методов не имеют теоретического обоснования, порой противоречат канонам радиофизики. Все это требует пристального анализа физических процессов, происходящих над залежью углеводородов, конкретизации ее электродинамической модели для обоснования взаимодействия ЭМВ с залежью.

Целью данной работы является разработка электромагнитных методов поисков анизотропных сред плазм подобного типа (АСПТ) на основе исследуемых характеристик поверхностного импеданса сред в режиме частотно-модулированных (ЧМ) сигналов.

Взаимодействие ЭМВ с АСПТ. Исследования по данной теме представлены в работе [5]. Тем не менее особенности взаимодействия ЭМВ с УВЗ в данном режиме воздействия требуют дополнительного анализа.

Исследуемую залежь углеводородов можно представить в виде анизотропной неоднородности на трассе связи [6].

В общем случае пространственная ориентация внешней нормали к границе раздела сред и волнового вектора \vec{k} является произвольной (рисунок 4.1) и процесс взаимодействия ЭМВ с локальным включением на трассе РРВ можно представить в виде режима наклонного падения плоской волны с вертикальной поляризацией на безграничную поверхность с анизотропным импедансом (в приближении больших характерных размеров неоднородности по сравнению с длиной волны зондирующего сигнала) [2].

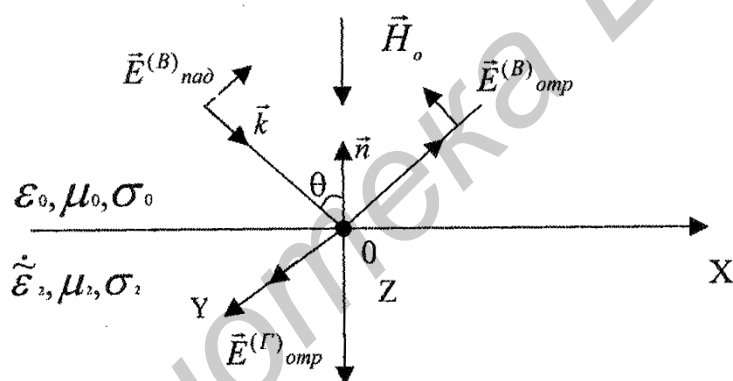


Рисунок 4.1. Геометрия задачи для ЭМВ с вертикальной поляризацией поля

Импедансные граничные условия определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
E_x &= -Z_0(\dot{Z}_{11}H_x - \dot{Z}_{12}H_y), \\
E_y &= -Z_0(\dot{Z}_{21}H_x - \dot{Z}_{22}H_y), \\
\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} &= -\frac{1}{j2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \\
\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} &= \frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}),
\end{aligned} \tag{4.2}$$

где $E_{x,y}, H_{x,y}$ - проекции падающей и отраженной волны на соответствующие координатные оси;

Z_0 - характеристическое сопротивление среды, окружающей анизотропную неоднородность.

Результаты исследования поверхностного импеданса. С помощью программного обеспечения Matlab проведен анализ частотных компонентов поверхностного импеданса среды над УВЗ при изменении параметров ЧМ, вариация которых расширяет функциональные зависимости компонентов сопротивления от режимов модуляции и позволяет повысить информативность разрабатываемых методов поиска УВЗ.

Исследованы частотные зависимости граничных импедансных условий на отрезке от 10^5 Гц до 10^{10} Гц, рассмотрено влияние индекса частотной модуляции и модулирующей частоты на характеристики поверхностного импеданса.

Расчёт компонентов поверхностного импеданса (4.2) проводился на основании экспериментально полученных данных над залежами углеводородов: диэлектрическая проницаемость вмещающих пород $\epsilon_r = 10$, удельная электрическая проводимость $\delta_r = 0,03 \frac{C_M}{M}$; эффективные частоты столкновений: электронно-ионная $\nu_e = 10^9 c^{-1}$ и ионная $\nu_i = 0,5 \cdot 10^7 c^{-1}$ [5].

На рисунках 4.2 и 4.3 представлены частотные зависимости составляющей Z_{11} . Для выделения углеводородных залежей по составляющей импеданса Z_{11} можно рекомендовать следующие частоты: $1,15 \cdot 10^8$ Гц и $1,45 \cdot 10^8$ Гц (при $V=0,5$).

Для индекса частотной модуляции $V=1$ входной импеданс отличается на частотах $9,8 \cdot 10^7$ Гц и $1,2 \cdot 10^8$ Гц. При увеличении индекса модуляции до $V=10$ происходит смещение точек экстремума Z_{11} влево. На частоте $9,8 \cdot 10^7$ Гц модуль равен 0,2, а на частоте $1,2 \cdot 10^8$ Гц модуль равен 0,25.

Увеличение индекса ЧМ приводит к тому, что точки экстремума на частотах $0,54 \cdot 10^6$ Гц и $0,98 \cdot 10^7$ Гц различаются несущественно по сравнению с

меньшими значениями индекса частотной модуляции. Для выделения углеводородных залежей по составляющей импеданса $|Z_{11}|$ можно рекомендовать следующие частоты $1,1 \cdot 10^6$ Гц и $1,38 \cdot 10^8$ Гц (при $V=15$). Для индекса частотной модуляции $V=25$ на частотах $0,50 \cdot 10^6$ Гц и $0,94 \cdot 10^7$ Гц и для индекса частотной модуляции $V=50$ наблюдается смещение точек экстремума $|Z_{11}|$ влево.

На частоте $0,96 \cdot 10^7$ Гц модуль равен 0,22, а на частоте $0,48 \cdot 10^6$ Гц модуль равен 0,175. Увеличение индекса ЧМ приводит к тому, что точки экстремума на частотах $0,94 \cdot 10^7$ Гц и $0,90 \cdot 10^7$ Гц различаются несущественно по сравнению с меньшими значениями индекса частотной модуляции.

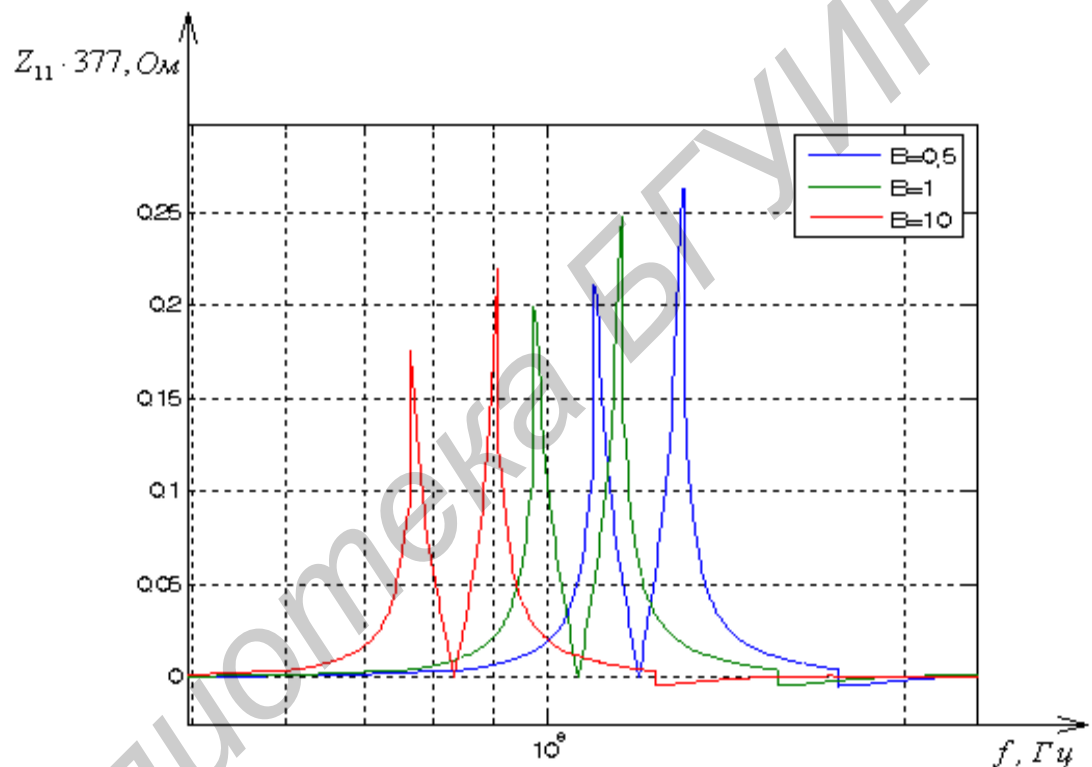


Рисунок 4.2. Зависимости $Z_{11} = \psi(f)$:

1 – для $V=0,5$; 2 – для $V=1$; 3 – для $V=10$

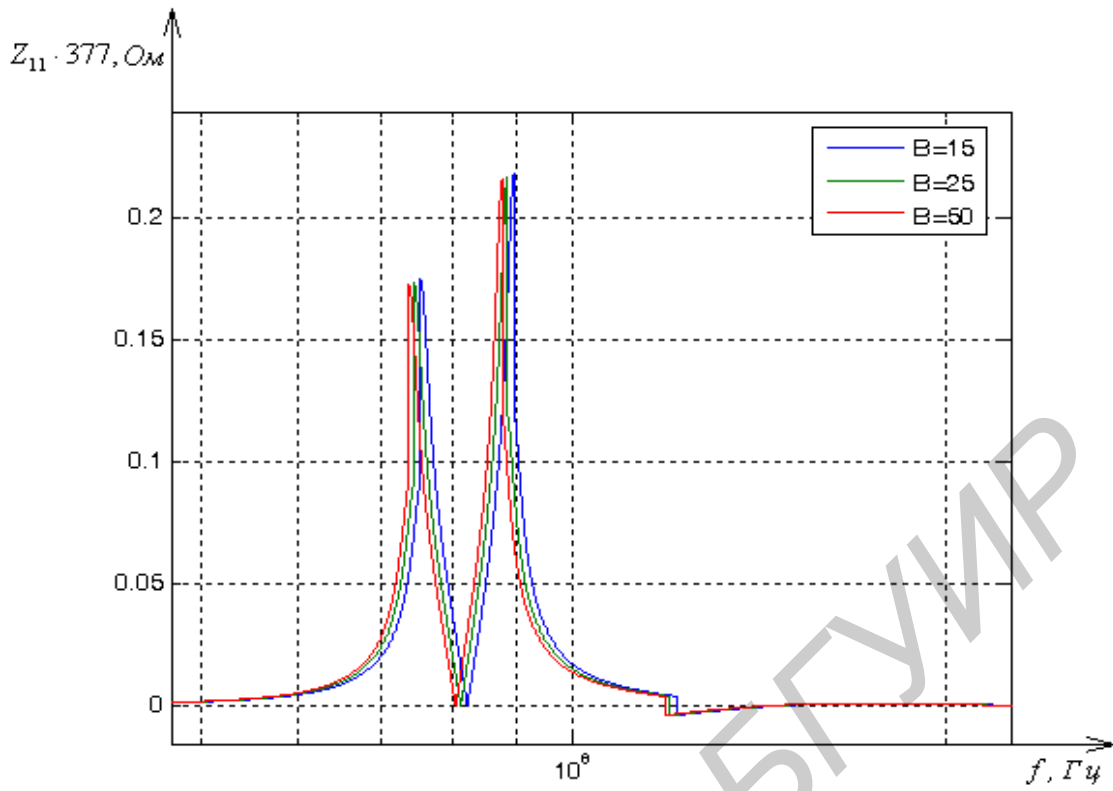


Рисунок 4.3. Зависимости $Z_{11} = \psi(f)$:

1 – для $B=15$; 2 – для $B=25$; 3 – для $B=50$

На рисунках 4.4 и 4.5 представлены частотные зависимости составляющей Z_{12} .

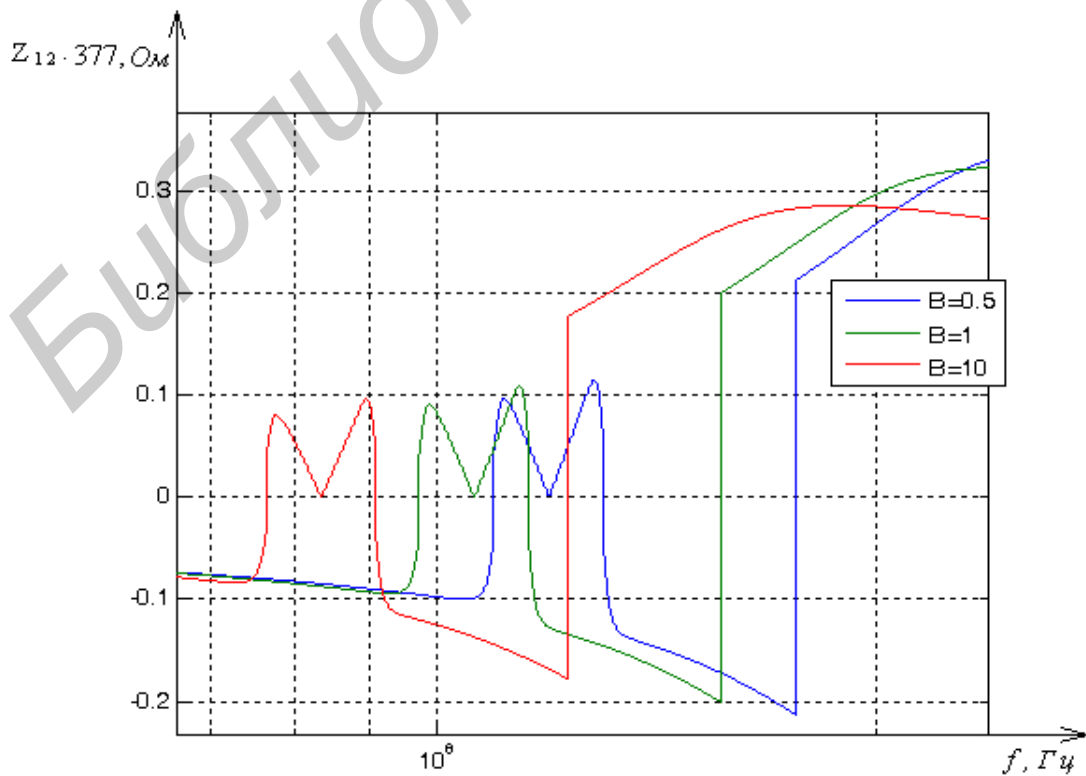


Рисунок 4.4. Зависимости $Z_{12} = \psi(f)$:

1 – для $V=0,5$; 2 – для $V=1$; 3 – для $V=10$

Величина составляющей поверхностного импеданса Z_{12} практически не меняется в диапазоне частот от 10^5 Гц до 10^8 Гц. На частоте в области от 100 МГц до 180 МГц наблюдается резкий всплеск до значений 0,28-0,35. Вариация индекса V сказывается на отрезке частот от 100 КГц до 1 ГГц. Меньшим значениям индекса V соответствует большие значения Z_{12} и большие значения частоты, при которой наблюдается рост поверхностного импеданса.

Величина составляющей поверхностного импеданса $|Z_{12}|$ практически не меняется в диапазоне частот от 10^5 Гц до 10^8 Гц (при $V=15-50$). На частоте в области 300 МГц наблюдается резкий всплеск до значений 0,17. Вариация индекса V сказывается на отрезке частот от 100 КГц до 1 ГГц.

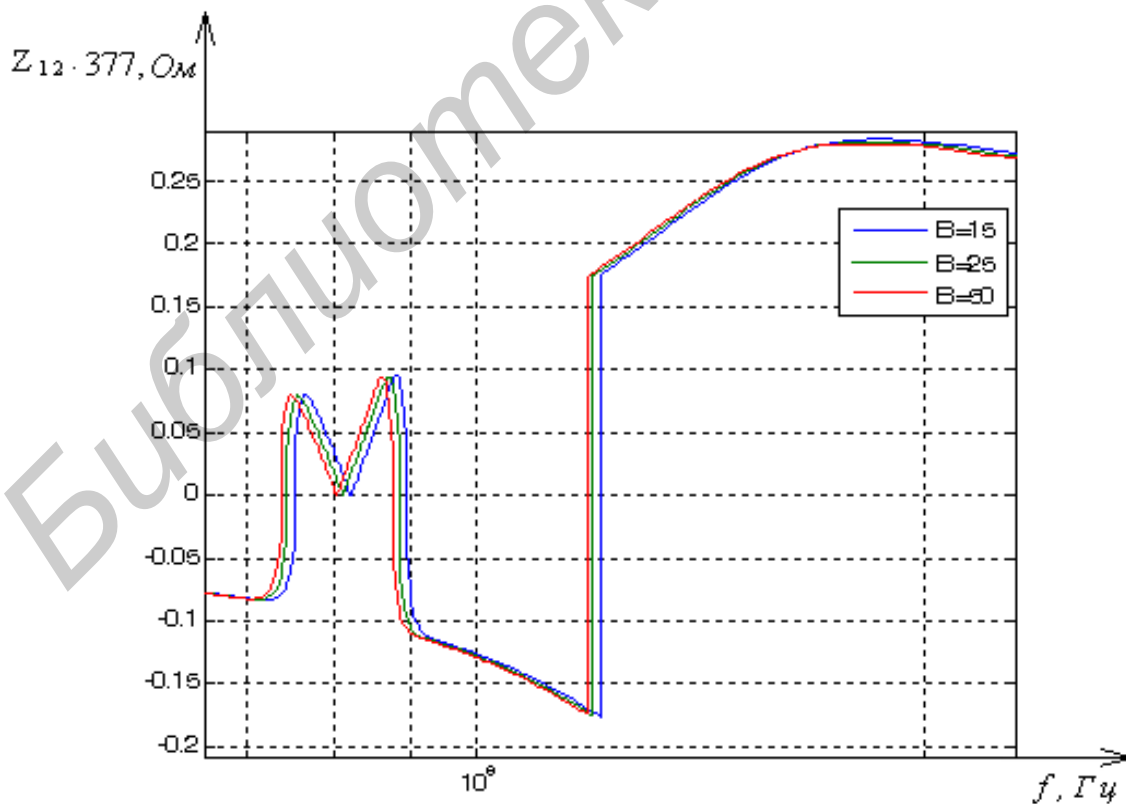


Рисунок 4.5. Зависимости $Z_{12} = \psi(f)$:

1 – для $V=15$; 2 – для $V=25$; 3 – для $V=50$

Меньшим значениям индекса B соответствует большие значения Z_{12} и большие значения частоты, при которой наблюдается рост поверхностного импеданса.

Импеданс исследуемого слоя плазмаподобного типа является комплексной величиной. Таким образом, анализ сводится к отдельному исследованию амплитудных и фазовых характеристик поверхностного импеданса. В данной работе был проведен анализ амплитудных характеристик поверхностного импеданса. Количественные проявления этих эффектов определяются физико-геологическими свойствами месторождений нефти и газа: химическим и минералогическим составом слоев, структурно-текстурными особенностями скелета, характером пористости и проницаемости, процентным содержанием составляющих веществ, особенностями механических свойств скелета, количеством пластовой воды в порах, ее минерализацией и т.д., поэтому в выражениях (4.2) необходимо учитывать поправки на эти характеристики.

Заключение. В работе были определены значения компонентов поверхностного импеданса АСПТ, в качестве которой была выбрана залежь углеводородов. Рассмотрено распространение ЭМВ над залежью в режиме ЧМ – сигналов. Анализ проведен в импедансом-частотном диапазоне зондирующих сигналов. Рассмотрены различные режимы применения ЧМ-модуляции. Полученные результаты взаимодействия ЧМ-сигналов со средой над УВЗ могут быть применены для разработки РТС поиска залежей нефти и газа и качественного повышения производительности геологоразведочных работ.

Осуществлен анализ поверхностного импеданса среды над УВЗ, по величине которого можно проводить оценку характеристик антенн, имеющих фиксированное положение в пространстве, относительно границы раздела сред при изменении свойств подстилающей поверхности, что дает возможность количественной оценки свойств среды, не прибегая к точному расчету изменений электродинамических параметров подстилающей поверхности.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки новых электромагнитных методов поиска и оконтуривания УВЗ.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Денисов, С.Б. Высокочастотные электромагнитные методы исследования нефтяных и газовых скважин / С.Б. Денисов. – М : Недра, 1986. – 142 с.

2. Хаскинд, М.Д. Распространение электромагнитных волн над гиротропной средой // Радиотехника и электроника. – М: Наука, 1961. – Т.6, № 6. – С.886 – 894.

3. Озерков, Э.А. Новая технология компьютерной обработки материалов ЗСБ для прямого прогноза залежей нефти и газа (РЭМИС) / ЭА Озерков [и др] // Неклассическая геофизика : тез. докладов науч- практ. семинара. – Саратов, 1999. – С. 41 – 43.

4. McAlur. N. Rodar that sus bereath the ground // Pop. Sci. – 1989. – Vol. 234. – P. 113.

5. Янушкевич, В.Ф. Поверхностный импеданс среды над углеводородными залежами в режиме частотно-модулированных сигналов // Гололобов Д.В., Калинин С.В. «Весці АН Беларусі». Серия фіз.-тэхн. навук. – № 4, 2010г. – С.98 – 101.

6. Черенкова, Е.Л. Распространение радиоволн / Е.Л.Черенкова, О.В.Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.

Янушкевич Виктор Францевич, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники учреждения образования «Полоцкий государственный университет»

Кременя Карина Игоревна, магистр технические наук, ассистент кафедры радиоэлектроники учреждения образования «Полоцкий Государственный Университет»

Заяц Екатерина Юрьевна, магистр технические наук, ассистент кафедры информационных радио технологий учреждения образования «Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники»