

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.371.392(043.3)

КАЛИНЦЕВ
Сергей Викторович

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
И АППАРАТУРА ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИИ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МОДУЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Новополоцк 2016

Работа выполнена в Учреждении образования «Полоцкий государственный университет».

Научный руководитель **Янушкевич Виктор Францевич**,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры радиоэлектроники
Учреждения образования «Полоцкий
государственный университет»

Официальные оппоненты: **Вилькоцкий Марат Антонович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информатики
и основ электроники
Белорусского государственного
педагогического университета им. М. Танка

Врублевский Игорь Альфонсович,
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник научно-
исследовательской лаборатории № 5.3
Белорусского государственного
университета информатики и радиоэлектроники

Оппонирующая организация **ЗАО «Солигорский институт проблем
ресурсосбережения с Опытным производством»**

Защита состоится 16 сентября 2016 года в 14:00 на заседании Совета по защите диссертаций К 02.19.02 при Учреждении образования «Полоцкий государственный университет» по адресу: 211440, г. Новополоцк, Блохина, 29; e-mail: post@psu.by; тел. +375 214 53 21 61.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 30, ауд. 212; e-mail: v.zallesski@mail.ru; тел./факс ученого секретаря: +375 214 53 24 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Автореферат разослан 15 августа 2016 года.

Ученый секретарь Совета
по защите диссертаций К 02.19.02
доктор физ.-мат. наук, доцент



Залесский В. Г.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Современные отечественные и зарубежные технологии поиска залежей углеводородов характеризуются широким спектром различных научных методов и подходов. У каждой из них имеются свои достоинства и недостатки. Наиболее широко применяется традиционная схема поиска залежей углеводородного сырья, в рамках которой обязательно проводятся комплексные полевые геологические и геофизические (в том числе сейсмические) исследования, камеральные научно-исследовательские и картографические работы, которые завершаются бурением. Комплекс работ дорогостоящий, и цена его постоянно растет.

Электромагнитные методы (ЭММ) обладают существенными преимуществами в сравнении с методами на постоянном токе, которые заключаются в изучении характеристик электромагнитного поля, воздействующего на исследуемые объекты, – амплитуд составляющих, фазовых компонент, уровня поляризации и т.д. Таким образом, становится возможным значительно повысить информативность рассматриваемых объектов, изменяя параметры электромагнитных волн (ЭМВ) в различных диапазонах частот. При этом имеется потенциал для создания маловесной, мобильной аппаратуры с малыми габаритными размерами, позволяющей существенно повысить производительность изыскательских работ и ее эксплуатационные характеристики.

В настоящее время в качестве важной задачи выступает внедрение в производство альтернативных инновационных методов и технологий, направленных на поиск и оконтуривание залежей углеводородов, создание соответствующих поисково-измерительных и регистрирующих комплексов для проведения работ по геоэлектроразведке. В частности, успешно внедряется в поисковый процесс радиоволновой способ электроразведки. Исследования взаимодействия модулированных ЭМВ с углеводородными залежами (УВЗ) представлены во многих работах. Однако применение модулированных сигналов для исследования УВЗ недостаточно изучено на фоне возможного применения дополнительных методов фундаментальных исследований.

Перспективным решением этой проблемы, необходимым для ответа на целый ряд теоретических и практических вопросов при поиске углеводородов, а также в других областях геологии, является выбор характеристик ЭМВ при взаимодействии модулированных сигналов со средами над УВЗ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационная работа выполнена в Учреждении образования «Полоцкий государственный университет» на кафедре вычислительных систем и сетей в рамках программы Учреждения образования «Полоцкий государственный университет» – ГБ 5111 «Электромагнитные методы локализации неоднородностей, включающих углеводороды», а также «Теория и методология комплексного изучения и эффективного освоения недр, геолого-генетическое моделирование, экологическая геология» Приоритетного направления 10.1 на 2006–2010 гг., утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь №512 от 17.05.2005; «Методы мониторинга окружающей среды, прогнозирование и предупреждение чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера», Приоритетного направления 8.4 на 2006–2010 гг., утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь №512 от 17.05.2005.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: обосновать выбор характеристик ЭМВ при взаимодействии модулированных сигналов со средами над УВЗ, а также разработать методы и аппаратные средства с применением формул Дебая, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты, для повышения качества и достоверности поиска и обнаружения залежей углеводородов.

Задачи исследования:

- 1) выбор оптимальной модели среды над углеводородной залежью для проведения комплексных исследований;
- 2) теоретическое исследование характеристик тензоров диэлектрической проницаемости среды над УВЗ в режиме модулированных сигналов с применением формул Дебая, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты;
- 3) исследование отражательных характеристик среды над УВЗ при использовании модулированных сигналов;
- 4) анализ характеристик процесса воздействия ЭМВ на залежь углеводородов при вариации различных электродинамических параметров среды над УВЗ;
- 5) разработка и проведение экспериментальных исследований электромагнитных методов и устройств для повышения уровня достоверности разведки, поиска и оконтуривания месторождений нефти и газа с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является залежь углеводородов в процессе воздействия на нее модулированных ЭМВ. **Предмет исследований** – фундамен-

тальные методы и аппаратные средства для повышения качества и эффективности поиска и обнаружения залежей углеводородов на основе использования модулированных сигналов.

Научная новизна и значимость полученных результатов

1. Определены общие выражения компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над УВЗ при воздействии модулированных сигналов с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты.

2. Установлены и проанализированы частотные и фазовые зависимости компонентов тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ при воздействии сложных видов модулированных сигналов с использованием формул Дебая.

3. Разработан метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе модулированных сигналов, построенный на регистрации резонансных частот взаимодействия и отражательных характеристик среды над углеводородами.

4. Разработан метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе регистрации фазовых сдвигов высокочастотных и модулирующих сигналов в режиме амплитудной модуляции с несущей частотой в интервале от 1 до 5 ГГц и модулирующей частотой в интервале от 10 до 100 МГц.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Закономерности, описывающие взаимодействие модулированных сигналов со средой над УВЗ с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты, которые позволяют повысить точность определения границ на 10...15% и уровень идентификации углеводородов до 85...90%.

2. Дополнительные функциональные зависимости компонентов тензора диэлектрической проницаемости среды над залежами углеводородов от параметров воздействующего сигнала с учетом формул Дебая за счет применения сложных видов модулированных сигналов, которые позволяют повысить уровень идентификации углеводородов до 90%.

3. Методы поиска и оконтуривания УВЗ на основе модулированных сигналов, построенные на регистрации резонансных частот взаимодействия и отражательных характеристик среды над углеводородами, позволяют повысить точность при определении границ залежи до 10%.

4. Практические закономерности работы электрофизической установки для поиска и оконтуривания УВЗ на основе регистрации фазовых сдвигов высокочастотных и модулирующих сигналов в режиме амплитудной модуляции с несущей частотой в интервале от 1 до 5 ГГц и модулирующей частотой в интервале от 10 до 100 МГц позволяет повысить уровень достоверности идентификации углеводородов до 85...90% и точность определения границ залежи на 10...15%.

Личный вклад соискателя

Диссертационная работа представляет собой труд, в котором отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований соискателя по разработке методов поиска и выделения УВЗ на основе модулированных сигналов. Научный руководитель кандидат технических наук, доцент В. Ф. Янушкевич осуществлял общее научное руководство, определял направления исследований и принимал участие в интерпретации результатов работы соискателя.

В публикациях по теме диссертации с соавторами (Д. В. Гололобов, В. Ф. Янушкевич, Е. Ю. Заяц) вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертационной работе результатов.

Лично соискателем осуществлялись:

- информационный поиск и сравнительный анализ моделей поиска и выделения залежей углеводородов;
- вывод тензоров диэлектрической проницаемости анизотропной среды (АС) в режиме модулированных сигналов с учетом формул Дебая, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты;
- моделирование взаимодействия ЭМВ со средой над УВЗ для модулированных сигналов;
- анализ частотных зависимостей компонентов тензоров диэлектрической проницаемости и поверхностного импеданса среды над УВЗ в режиме модулированных сигналов;
- выбор оптимальных параметров ЭМВ для поиска и выделения залежей углеводородов;
- разработка ЭММ и устройств для повышения точности и достоверности разведки, поиска и оконтуривания месторождений нефти и газа.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на II Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства РЭС» (Новополоцк, 2002 г.); IV Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий» (Гомель, 2002 г.); IV Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства РЭС» (Новополоцк, 2006 г.); VI Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства РЭС» (Новополоцк, 2008 г.); Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 108-й годовщине Дня радио (Красноярск, 2003 г.), XI Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций, РТ-2015» (Севастополь, 2015 г.).

Опубликованность результатов

Результаты диссертационного исследования в полном объеме опубликованы в научной печати в 18 работах: в том числе 7 статей в рецензируемых научных журналах в соответствии с пунктом 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 2 авторских листа), 10 статей в сборниках материалов научных конференций, 1 патент.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и одного приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 120 страниц, библиографический список из 103 наименований на 10 страницах, список публикаций автора из 18 наименований на 2 страницах, 1 приложение на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении и общей характеристике** обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и основные задачи, определена научная и практическая ценность работы. Приведено описание содержания диссертации.

В **первой главе** проанализированы существующие электродинамические частотнозависимые модели среды, выбрана наиболее оптимальная для исследований модель УВЗ.

Существующие в современной поисковой геофизике модели геологического разреза с включением УВЗ не дают в полной мере ответа на вопросы, связанные с выделением границ контуров залежей на дневной поверхности, и не учитывают взаимодействия углеводородов и ЭМВ. Как правило, они аппроксимируются полученными экспериментальными данными, что приводит к ограничению их применения на практике.

Существующие теоретические модели обосновываются вариативностью электродинамических параметров среды, в которую погружены залежи углеводородов. Вместе с тем следует отметить отход от устоявшихся представлений об УВЗ как залежи в виде тела с конечной проводимостью, погруженной в среду с потерями, в сторону более объективной модели – резонансной или много-резонансной системы, учитывающей совокупность физико-химических процессов над УВЗ.

Учет существующих излучений УВЗ накладывает определенные требования при анализе взаимодействия ЭМВ и анизотропного образования над залежью.

Для обоснования возникающего над залежами нефти и газа аномального поведения электрического и магнитного поля и его морфологии используются физико-математические модели, учитывающие физико-химические процессы, происходящие в околозалежном пространстве УВЗ.

В методе диэлектрического индукционного каротажа производится измерение модуля разности амплитуд вторичного поля на частоте 20...30 МГц. По зависимости полученной разности от удельного сопротивления определяют диэлектрическую проницаемость околоскважинного пространства.

Волновой диэлектрический каротаж реализуется на основе следующего принципа. При возбуждении поля в скважине электромагнитная волна распространяется от источника к приемной катушке, частично отражаясь от стенок скважины.

Применяют также способ измерения диэлектрической проницаемости на частоте 30 МГц посредством определения разности фаз и суммы амплитуд двух катушек, а способ микроволнового каротажа предусматривает измерение времени прохождения и затухания волн на частотах от 1 до 3 ГГц.

Волновой каротаж проводимости является аналогом волнового дискретного каротажа. Отличие составляет диапазон используемых частот от 1 до 3 МГц.

При каротажном изопараметрическом зондировании применяют измерения поля зондами различной длины. Метод реализуется либо применением серии зондов с фиксированной длиной, либо одним зондом с переменной длиной.

Модель С.Д. Пирсона основана на представлении залежи нефти в виде источника электротеллурического тока. Проведя серию исследований, Пирсон установил, что источники электрических потенциалов и токов существуют в Земле, когда УВ и связанные химические соединения (сероводород, соли органических кислот и др.) накапливаются в любых типах ловушек.

Так, в первой главе проведен анализ существующих электрофизических и химических моделей залежей нефти и газа, выбрана оптимальная электрофизическая модель [19] – улучшенная модель Москвичева – для осуществления взаимодействия ЭМВ со средой над УВЗ, а также предложена подробная характеристика оптимальной электрофизической модели, ее основные параметры для последующего анализа.

Во **второй главе** наряду с исследованиями реальной УВЗ широко применяется электрофизическое моделирование, связанное с использованием электродинамического подхода, основанного на использовании взаимосвязи характеристик рассматриваемого объекта с рядом параметров применяемых электромагнитных сигналов.

Аналогия среды над УВЗ с анизотропными средами позволяет использовать для изучения взаимодействия ЭМВ с УВЗ имеющиеся решения при исследовании подобных сред, такие как:

- кинетический подход и его приближенное решение в области низких частот;

- гидродинамическое рассмотрение процессов взаимодействия в сильных магнитных полях, в том числе с учетом столкновений, в нелинейных режимах при исследовании устойчивости решений;

- использование как кинетического, так и гидродинамического подходов в частных случаях взаимодействия слабых и сильных электромагнитных полей;

Наиболее приемлемым методом при изучении процесса взаимодействия ЭМВ со средами над УВЗ при анализе основных параметров подобных образований является метод кинетического уравнения, использующий функцию пространственно-временного распределения частиц.

Для сильно разреженного газа взаимодействие между его частицами крайне мало, при этом компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды могут быть определены гидродинамическим приближением.

Заметим, что для рассматриваемой электрофизической обстановки в окрестности УВЗ необходимо использовать квазигидродинамическое приближение с применением многочастичных электронно-ионных токов и заданных частот столкновений, ввиду того, что нет необходимости учитывать пространственно-временное перемещение частиц. С учетом данного приближения уравнение движения электрона примет вид:

$$m \frac{d\dot{\mathfrak{G}}}{dt} + \nu m \dot{\mathfrak{G}} = q \vec{E} + q \mu_0 \left[\dot{\mathfrak{G}}, \dot{H}_0 \right], \quad (1)$$

где $m, q, \dot{\mathfrak{G}}$ – масса, заряд и скорость движения частиц соответственно;

ν – частота столкновений электрона с тяжелыми частицами;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

\vec{E} – напряженность электрического поля ЭМВ;

\dot{H}_0 – напряженность магнитного поля Земли.

Анализ процесса воздействия многочастотных ЭМВ на АС представляет теоретический и практический интерес с точки зрения возможности усовершенствования существующих методов поиска и обнаружения УВЗ.

Большой интерес в настоящее время представляет собой взаимодействие модулированных сигналов со средой над УВЗ. Рассмотрим некоторые варианты взаимодействия модулированных сигналов с АС.

В случае амплитудной модуляции (АМ) радиосигнал записывается как

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (2)$$

где E – амплитуда несущего колебания;

k_m – коэффициент амплитудной модуляции;

$\Omega = 2\pi F$, $\omega = 2\pi f$ – модулирующая и несущая частоты соответственно.

Для релаксационной поляризации диэлектрическая проницаемость (ϵ) уменьшается с ростом ω , ввиду того, что диполи уже не успевают поворачиваться вслед за полем, а диэлектрические потери становятся максимальными согласно формуле Дебая (3).

$$\dot{\epsilon}(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (3)$$

где ϵ_0 – статическое значение при $\omega \ll \omega_0$;

ϵ_{∞} – высокочастотное значение при $\omega \gg \omega_0$;

τ – макроскопическое время релаксации.

Таким образом, во второй главе получены выражения для компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над УВЗ, представленной в виде среды над УВЗ в режиме модулированных сигналов. При использовании формул, определяющих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты, установлена частотная зависимость компонентов тензора диэлектрической проницаемости среды; в режиме воздействия АМ-сигнала на среду над УВЗ с учетом формул Дебая появляется дополнительная мнимая составляющая, зависящая от параметров АМ-сигнала; частотно-модулированный сигнал (ЧМ-сигнал) оказывает существенное влияние на физические процессы в среде над УВЗ. Это проявляется в модуляции проницаемости вещественной части диагональных компонентов тензора, которые являются сложной функцией от частотной составляющей $\tilde{\omega}_3$, что позволяет вести разработку методов поиска и обнаружения УВЗ с дополнительной точностью. Использование амплитудно-частотно-модулированного сигнала (АЧМ-сигнала) обуславливает появление дополнительных функциональных зависимостей компонентов тензора от параметров воздействующего сигнала. Это дает возможность повысить уровень информации о залежи углеводородов. Анализ аргумента компонентов тензора диэлектрической проницаемости при воздействии АМ-сигнала, определяющего процесс распространения ЭМВ в среде, свидетельствует о трансформации ее поляризационной характеристики. В режиме взаимодействия ЧМ-сигналов со средой над УВЗ изменение коэффициента ЧМ приводит к смещению частот электронно-плазменного резонанса. В режиме АЧМ-сигналов изменения частоты модуляции и коэффициента АМ приводят к изменению частот электронно-плазменного резонанса. Коэффициент АМ приводит к изменению как комбинированных элементов тензора диэлектрической проницаемости, так и их фаз (только при $k_m \approx 0 \dots 0,1$).

В третьей главе исследован процесс воздействия ЭМВ на среду над УВЗ на основе существующей теории взаимодействия ЭМВ и подобных сред. Рассмотр-

ренны компоненты матрицы поверхностного импеданса среды над залежью углеводородов. Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют осуществить качественную оценку использования модулированных сигналов для оптимизации методов электромагнитного поиска и оконтуривания УВЗ.

Отражательные характеристики служат для выделения материальных объектов на фоне окружающей среды. Исследуемую залежь углеводородов можно представить в виде анизотропной неоднородности на трассе связи.

Появление кроссполяризационной компоненты в структуре поля отраженной от среды над УВЗ плоской волны с заданной линейной поляризацией приводит к необходимости исследования пары коэффициентов Френеля \dot{R}_{BB} , \dot{R}_{BG} для вертикальной и \dot{R}_{GT} , \dot{R}_{GB} для горизонтальной поляризации падающей волны. В случае вертикальной поляризации ЭМВ для выбранной системы координат справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} E_x &= E_{x_{\text{пад}}} + E_{x_{\text{отп}}} = E_0(1 - R_{BB}) \cos \Theta; \\ E_y &= -E_0 R_{BG}; \\ H_x &= \frac{E_0}{Z_0} R_{BG} \cos \Theta; \\ H_y &= \frac{E_0}{Z_0} (1 + R_{BB}), \end{aligned} \quad (4)$$

а также импедансные граничные условия:

$$\begin{aligned} E_x &= -Z_0(Z_{11}H_x - Z_{12}H_y); \\ E_y &= -Z_0(Z_{21}H_x - Z_{22}H_y); \\ Z_{11} &= Z_{22} = -\frac{1}{j2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} - \sqrt{\dot{\epsilon}_L}); \\ Z_{12} &= Z_{21} = -\frac{1}{2\sqrt{\dot{\epsilon}_R\dot{\epsilon}_L}}(\sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L}), \end{aligned} \quad (5)$$

где E_0 , Θ – амплитуда падающей волны и угол падения ЭМВ относительно внешней нормали \vec{n} ;

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

Z_0 – характеристическое сопротивление среды, окружающей анизотропную неоднородность.

Коэффициенты Френеля находятся путем совместного решения уравнений (3) и (4):

$$R_{BB} = \frac{\dot{a}_1 \cos \Theta + \dot{a}_3 (\cos^2 \Theta - 1)}{\dot{a}_2 \cos \Theta + \dot{a}_3 (\cos^2 \Theta + 1)} = |R_{BB}| \cdot \exp(j\phi_{BB});$$

$$R_{IT} = \frac{\dot{a}_4 \cos \Theta - \dot{a}_2 (\cos^2 \Theta + 1)}{(1 + \dot{a}_1)(\dot{a}_2 \cos \Theta + \dot{a}_3 (\cos^2 \Theta + 1))} = |R_{IT}| \cdot \exp(j\phi_{IT});$$

$$R_{IB} = R_{BT} = \frac{2(\dot{a}_2 - 1)\dot{a}_3 \cos \Theta}{\dot{a}_2 \cos \Theta + \dot{a}_3 (\cos^2 \Theta + 1)} = |R_{IB}| \cdot \exp(j\phi_{IB}); \quad (6)$$

$$\dot{a}_{1,2} = \sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L} \mp 1;$$

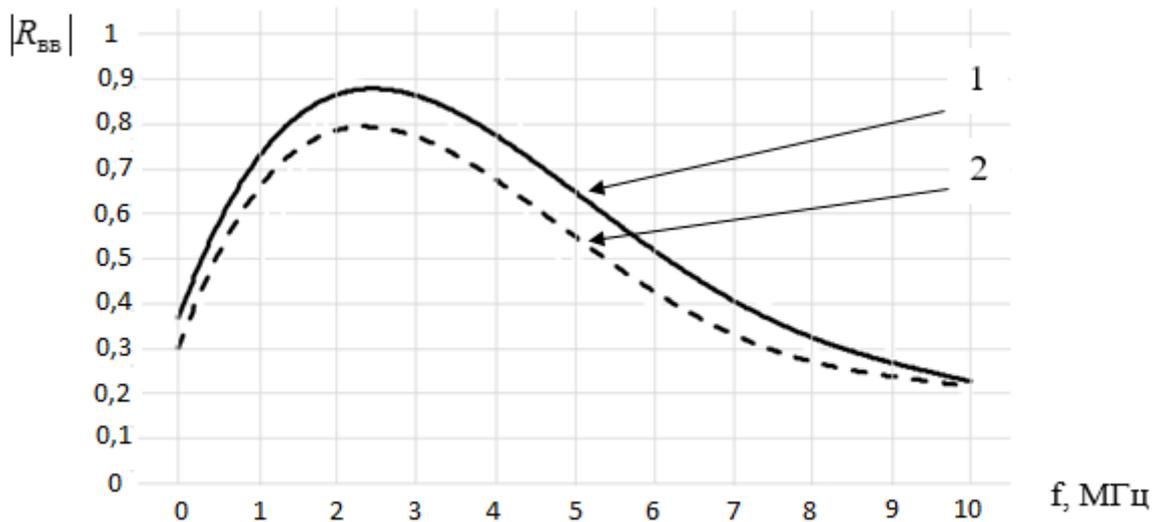
$$\dot{a}_3 = \sqrt{\dot{\epsilon}_R} + \sqrt{\dot{\epsilon}_L};$$

$$\dot{a}_4 = \dot{\epsilon}_R + 2\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L + \dot{\epsilon}_L,$$

где $R_{BB}, R_{IT}, R_{BT}, R_{IB}$ – модули; $\phi_{BB}, \phi_{IT}, \phi_{BT}, \phi_{IB}$ – фазы коэффициентов отражения.

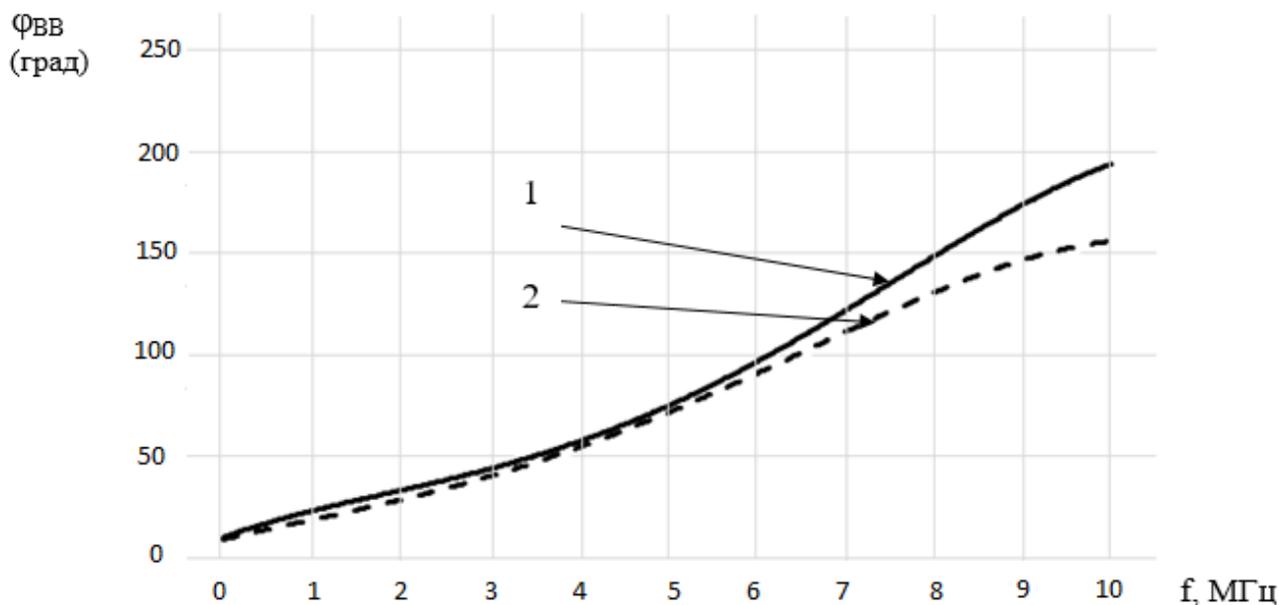
Выражения (5) учитывают кроссполяризационные искажения, а это приводит к смещению траектории луча относительно направления распространения падающей волны. При использовании круговой поляризации принимаемая ЭМВ будет иметь эллиптическую поляризацию, а возникающие при этом поляризационные искажения могут быть оценены коэффициентом эллиптичности.

На рисунках 1, 2 представлены частотные зависимости модуля коэффициента отражения $|R_{BB}|$ и его фазы ϕ_{BB} при $\theta = 0^\circ$ для различных соотношений частот и амплитуд двух воздействующих сигналов в режиме АМ-сигнала, рассчитанных по формулам (5).



1 – для $k_m = 0,5$; 2 – для $k_m = 1$

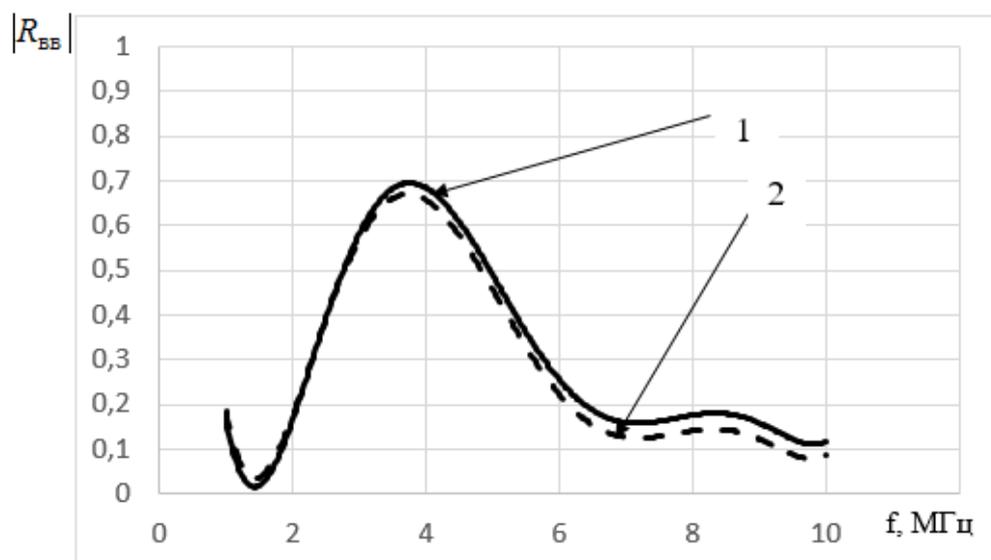
Рисунок 1. – Зависимости $|R_{BB}| = R(f)$ при нормальном падении



1 – для $k_m = 0,5$; 2 – для $k_m = 1$

Рисунок 2. – Зависимости $\Phi_{ВВ} = \varphi(f)$ при $\theta = 0^\circ$

На рисунке 3 представлены частотные зависимости модуля коэффициента отражения $|R_{ВВ}|$ для различных соотношений частот и амплитуд двух воздействующих сигналов в режиме ЧМ-сигнала, рассчитанных по формулам (6).



1 – для $\beta = 0,1$; 2 – для $\beta = 0,5$

Рисунок 3. – Зависимости $|R_{ВВ}| = R(f)$ при нормальном падении

В исследуемом диапазоне частот в режиме АМ-сигнала наблюдается неравномерный характер изменения $|R_{ВВ}|$. Модуль коэффициента отражения имеет максимальное значение, равное 0,89 в диапазоне частот от 2 до 3 МГц. На частотах в диапазоне от 100 кГц до 2 МГц наблюдается рост этого коэффициента от 0,36 до 0,86, а на частотах выше 2,5 МГц – плавное уменьшение от

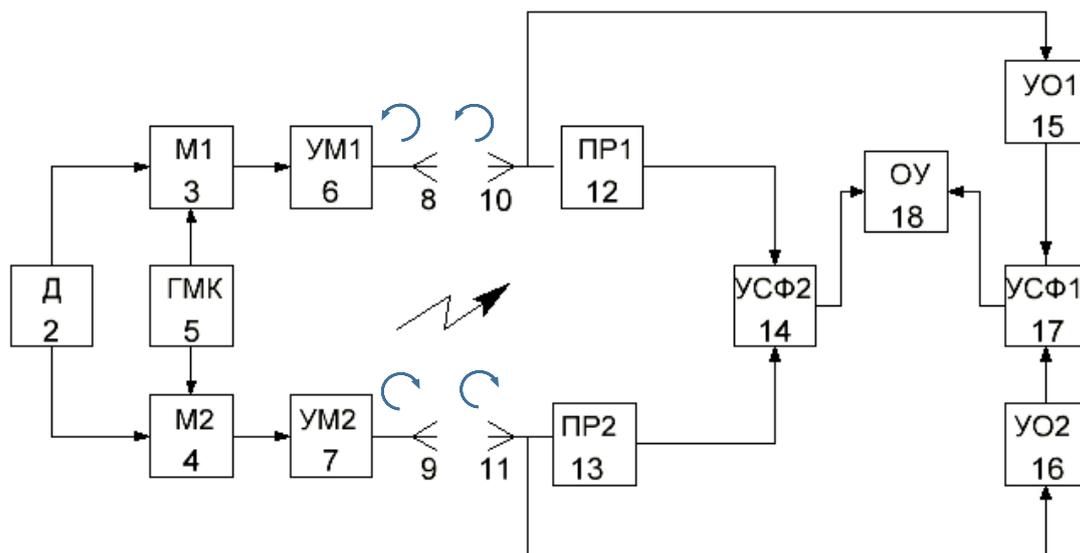
0,89 до 0,2...0,3 на частоте $f_2 = 10$ МГц. Величина $|R_{\text{вв}}|$ зависит от коэффициента модуляции k_m . Влияние коэффициента k_m сказывается незначительно, отличия характеристик практически не существенны. В режиме ЧМ-сигнала также наблюдается неравномерный характер изменения $|R_{\text{вв}}|$. Модуль коэффициента отражения имеет максимальное значение, равное 0,71 в диапазоне частот от 3 до 4 МГц. На частотах в диапазоне от 1,75 до 3,6 МГц наблюдается рост этого коэффициента от 0,2 до 0,71, а на частотах выше 3,6 МГц – плавное уменьшение от 0,71 до 0,1...0,2 на частоте $f_2 = 10$ МГц.

Итак, в третьей главе при нормальном падении и падении под определенным углом модулированной ЭМВ максимальный уровень контраста на границе контура среды над УВЗ проявляется в начальной части исследуемого диапазона частот (2...3 МГц). Зондирование на более высоких частотах оказывается эффективным для этих целей при наклонном падении ЭМВ. Вариация соотношения масс частиц, определяющая соотношение между наиболее энергоемкими частотами столкновений, вносит существенный вклад в координатную диэлектрическую проницаемость среды, влияющую на процессы взаимодействия ЭМВ с АС. При исследовании резонансного взаимодействия ЭМВ с АС при вариациях коэффициента ионизации получены сведения, позволяющие осуществлять контроль концентраций частиц анизотропных сред на основе регистрации резонансных частот взаимодействия.

В **четвертой** главе проведена экспериментальная проверка рассмотренных ранее методов поиска и обнаружения залежей углеводородов, предложены варианты устройств, позволяющих повысить качество и достоверность поиска и обнаружения УВЗ.

Разработан способ геоэлектроразведки углеводородной залежи, при котором облучают исследуемый профиль электромагнитной волной на заданной фиксированной частоте f , измерены параметры электрического поля в точках исследуемого профиля, по результатам измерений определены границы залежи. При этом произведено разделение электромагнитной волны на два канала с противоположным направлением вращения векторов поляризации, осуществлена амплитудная модуляция в каналах с коэффициентом от 0,5 до 0,8, колебанием с частотой F , осуществлено сравнение фаз в точках приема высокочастотных $\Delta\varphi_1 = \varphi_{1B} - \varphi_{2B}$ и модулирующих $\Delta\varphi_2 = \varphi_{1M} - \varphi_{2M}$ колебаний двух каналов, где φ_{1B} и φ_{2B} – фазы составляющих высокочастотных колебаний первого и второго каналов соответственно, φ_{1M} и φ_{2M} – фазы составляющих модулирующих колебаний первого и второго каналов соответственно, по аномальным значениям фазовых сдвигов $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ определены границы углеводородной залежи, при этом частоту f задавали в интервале от 1 до 5 ГГц, а частоту F – в интервале от 10 до 100 МГц.

Приведенная на рисунке 4 схема (генератор не показан) может быть использована при поиске и разведке залежей углеводородов.



1 – генератор; 2 – делитель; 3, 4 – модуляторы; 5 – генератор модулирующих колебаний; 6, 7 – усилители мощности; 8, 9, 10, 11 – антенны; 12, 13 – приемники; 14, 17 – устройства сравнения фаз; 15, 16 – усилители ограничители; 18 – оконечное устройство

Рисунок 4. – Структурная схема преемопередатчика

Также рассмотрен способ геоэлектроразведки, при котором в Земле возбуждается электромагнитное поле двух частот f и F , выделяются в точках приема сигналы этих двух частот, измеряются амплитуды сигналов и фазовый сдвиг между ними, определяется величина нелинейных эффектов в породах, по которой судят о наличии полезных ископаемых. Недостатками этого способа являются низкая разрешающая способность и сложность технической реализации.

Сущность данного метода заключается в том, что при воздействии амплитудно-модулированного колебания

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos(\omega t), \quad (7)$$

где E – амплитуда несущего колебания;

$$k_m = \frac{E_m}{E} - \text{коэффициент амплитудной модуляции};$$

E_m – амплитуда модулирующего сигнала;

$\Omega = 2\pi F$, $\omega = 2\pi f$, f, F – модулирующая и несущая частоты;

t – время.

Для оптимизации частот воздействующей на среду ЭМВ требуется провести анализ дисперсионного уравнения с комплексными многопараметрическими коэффициентами. Аномальные участки частотных зависимостей корней

такого уравнения однозначно связаны с точками инверсии знака комбинированных элементов тензора (КЭТ):

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_R(j\omega) &= \dot{\varepsilon}_1(j\omega) + \dot{\varepsilon}_2(j\omega) = \varepsilon_{RR} + j\varepsilon_{RL}; \\ \dot{\varepsilon}_L(j\omega) &= \dot{\varepsilon}_1(j\omega) - \dot{\varepsilon}_2(j\omega) = \varepsilon_{LR} + j\varepsilon_{LL},\end{aligned}\quad (8)$$

где $\dot{\varepsilon}_R$ – КЭТ среды над УВЗ для правостороннего вращения вектора поляризации волны;

$j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

ω – круговая частота несущего колебания;

$\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2$ – компоненты тензора несущего колебания;

$\varepsilon_{RR}, \varepsilon_{RL}$ – вещественная и мнимая части КЭТ для правостороннего вращения вектора поляризации волны;

$\dot{\varepsilon}_L$ – КЭТ среды над УВЗ для левостороннего вращения вектора поляризации волны;

$\varepsilon_{LR}, \varepsilon_{LL}$ – вещественная и мнимая части КЭТ для левостороннего вращения вектора поляризации волны.

В сравнении с КЭТ для гармонической ЭМВ $\dot{\varepsilon}_R^1$ и $\dot{\varepsilon}_L^1$ у элементов (9) модули $\dot{\varepsilon}_R^{AM}$ и $\dot{\varepsilon}_L^{AM}$ имеют одинаковое значение, а их фазовые компоненты будут отличаться, так как имеет место соотношение, представленное формулами (9).

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_R^{AM}(j\omega) &= \varepsilon_{RR}^1 + j(\varepsilon_{RL}^1 + \varepsilon_{AM}); \\ \dot{\varepsilon}_L^{AM}(j\omega) &= \varepsilon_{LR}^1 + j(\varepsilon_{LL}^1 + \varepsilon_{AM}),\end{aligned}\quad (9)$$

где $\dot{\varepsilon}_R^{AM}$ – КЭТ среды над УВЗ в режиме амплитудной модуляции;

$j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

ω – круговая частота несущего колебания;

$\varepsilon_{RR}^1, \varepsilon_{RL}^1$ – вещественная и мнимая части КЭТ для правостороннего вращения вектора поляризации волны ЭМВ;

ε_{AM} – дополнительная составляющая диэлектрической проницаемости среды УВЗ, вызванная амплитудной модуляцией несущего колебания;

$\dot{\varepsilon}_L^{AM}$ – КЭТ среды над УВЗ в режиме амплитудной модуляции;

$\varepsilon_{LR}^1, \varepsilon_{LL}^1$ – вещественная и мнимая части КЭТ для правостороннего вращения вектора поляризации волны гармонической ЭМВ.

В выражении (9) дополнительная составляющая определяется как:

$$\varepsilon_{AM} = \frac{\varepsilon_R k_m \Omega \sin \Omega t}{\omega(1 + k_m \cos \Omega t)} = \frac{\Omega \varepsilon_R k_m \sqrt{1 + S^2(t) / E^2}}{\omega(1 + S(t) / E)}, \quad (10)$$

где ε_{AM} – дополнительная составляющая диэлектрической проницаемости среды УВЗ, вызванная амплитудной модуляцией несущего колебания;

ε_R – диэлектрическая проницаемость среды УВЗ;

k_m – коэффициент амплитудной модуляции;

Ω – круговая частота модулирующего колебания;

t – время;

$S(t)$ – мгновенное значение модулирующего сигнала;

E – амплитуда несущего колебания;

w – круговая частота несущего колебания.

Фазовые сдвиги сигналов с правым и левым вращением векторов поляризации волны определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}\varphi_{1B} &= \arg(\dot{\varepsilon}_R) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\varepsilon_{LR}^1 + \varepsilon_{AM}}{\varepsilon_{RR}^1}\right); \\ \varphi_{2B} &= \arg(\dot{\varepsilon}_L) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\varepsilon_{LL}^1 + \varepsilon_{AM}}{\varepsilon_{LR}^1}\right),\end{aligned}\tag{11}$$

где $\varphi_{1B}, \varphi_{2B}$ – фазовые сдвиги сигналов с правым и левым вращением векторов поляризации волны;

$\varepsilon_R, \varepsilon_L$ – КЭТ среды над УВЗ для правостороннего и левостороннего вращения вектора поляризации волны;

ε_{RR}^1 – вещественная часть КЭТ для правостороннего вращения вектора поляризации волны гармонической ЭМВ;

ε_{AM} – дополнительная составляющая диэлектрической проницаемости среды над УВЗ, вызванная амплитудной модуляцией несущего колебания;

ε_{LR}^1 – вещественная часть КЭТ для левостороннего вращения вектора поляризации волны гармонической ЭМВ.

Таким образом, в **четвертой главе** осуществлена экспериментальная проверка фазового метода, которая свидетельствует о повышении уровня достоверности и точности определения границ залежи углеводородов. Существенное увеличение угла фазового сдвига в местах наличия углеводородной залежи подтверждается результатами измерений.

Измерения, проведенные с использованием АМ-, ЧМ- и АЧМ-сигналов для фазового метода, доказали значительную эффективность в поиске и обнаружении залежей углеводородов по сравнению с имеющимися методами.

Структурная схема разработанной электрофизической установки для поиска залежей углеводородов на основе фазового метода содержит следующие блоки: управляющее устройство и приемопередатчик, реализованные на базе одной программируемой логической интегральной схемы – микросхемы Cyclone III EP3CL5200; внешнюю память – постоянное запоминающее устройство

(Flash-типа); GPS-приемник; микросхемы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователей; фильтрующие каскады; микросхему приемопередатчика RS-232.

Результаты исследований показали, что при больших значениях k_m точность определения границ УВЗ повышается на 10...15% по сравнению с известными методами, а использование предлагаемого способа геоэлектроразведки углеводородных залежей обеспечивает в отличие от существующих аналогов следующие преимущества: повышение точности определения границ углеводородных залежей; выбор конкретных частот при ведении разведки; возможность вариации параметров АМ-сигнала, способствующей однозначности определения границ залежей.

Таким образом, разработанная электрофизическая установка, предназначенная для поиска и оконтуривания залежей углеводородов на основе регистрации фазовых сдвигов высокочастотных и модулирующих сигналов в режиме амплитудной модуляции с несущей частотой в интервале от 1 до 5 ГГц и модулирующей частотой в интервале от 10 до 100 МГц, позволила повысить точность определения границ на 10...15% и уровень идентификации углеводородов до 85...90%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты

1. Определены общие выражения компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над углеводородной залежью при воздействии модулированных сигналов с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты [1; 2; 15–17].

2. Определены закономерности трансформации частотных зависимостей компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над залежью углеводородов от соотношения амплитуд и частот модулированных сигналов с применением формул Дебая [1; 3; 4; 9–12].

3. Установлено, что при индексах ЧМ $\beta = 0,1 \dots 10$ частота резонансного взаимодействия среды над УВЗ с ЧМ-сигналом увеличивается, а при $\beta = 100 \dots 1000$ происходит ее уменьшение, также при увеличении β происходит уменьшение частоты плазменного резонанса, за исключением значения $\beta = 10^2$ при частоте модуляции $F_1 = 20$ МГц, где происходит ее увеличение [2; 5; 6; 11–13].

4. Установлено, что влияние индекса ЧМ на фазу компонентов тензора для режима АЧМ наиболее существенно при $\beta = 0 \dots 12$, когда фаза резко изменяется от -180 до 180° , и при $\beta \approx 25 \dots 28$, когда фаза изменяется от 180 до -180° [6; 14];

5. Установлено, что при нормальном падении и падении под определенным углом модулированной ЭМВ максимальный уровень контраста на границе контура среды над УВЗ проявляется в начальной части исследуемого диапазона частот (2...3 МГц). Зондирование на более высоких частотах оказывается эффективным при наклонном падении ЭМВ [7; 13–15].

6. Разработанный метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе модулированных сигналов с использованием формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты, построен на регистрации резонансных частот взаимодействия и отражательных характеристик среды над углеводородами [6; 7; 10; 11].

7. Разработанный метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе регистрации фазовых сдвигов высокочастотных и модулирующих сигналов в режиме амплитудной модуляции с несущей частотой в интервале от 1 до 5 ГГц и модулирующей частотой в интервале от 10 до 100 МГц позволяет повысить уровень достоверности идентификации углеводородов до 85...90% и точность определения границ залежи на 10...15% [18].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Проведенное при помощи ЭВМ моделирование взаимодействия сигналов с различным типом модуляции со средой над залежью углеводородов показало дополнительные возможности применения модулированных сигналов для поиска УВЗ.

2. На основе полученных теоретических и экспериментальных данных созданы способ и методы, основанные на фазовом подходе, позволяющем определять границы УВЗ на основе анализа аномальных значений фазовых сдвигов при воздействии модулированных сигналов, что может быть использовано для идентификации залежей углеводородов.

3. Использование фазового подхода показало дополнительные возможности определения границ УВЗ при помощи сигналов со смешанными типами модуляции, включая цифровые.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Калинин, С. В. Отражательные характеристики углеводородной залежи в режиме двухчастотного взаимодействия в режиме мощного НЧ-сигнала. / С. В. Калинин, Н. В. Цывис, В. Ф. Янушкевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундаментальные науки. – 2004. – № 4. – С. 40–44.

2. Гололобов, Д. В. Импедансные граничные условия анизотропной среды для амплитудно-модулированного сигнала / Д. В. Гололобов, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин // Докл. БГУИР. – 2010. – № 6 (52). – С. 13–17.

3. Янушкевич, В. Ф. Поверхностный импеданс среды над углеводородными залежами в режиме частотно-модулированных сигналов / Д. В. Гололобов, С. В. Калинин // Весці НАН Беларусі. Сер. физ.-тэхн. навук. – 2010. – № 4. – С. 98–101.

4. Заяц, Е. Ю. Воздействие модулированных сигналов на углеводородную залежь / Е. Ю. Заяц, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин // Докл. БГУИР. – 2015. – № 3 (89). – С. 112–116.

5. Янушкевич, В. Ф. Применение модулированных сигналов для поиска анизотропных сред плазмopodobного типа / В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин, К. И. Кременя, Е. Ю. Заяц // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундаментальные науки. – 2015. – № 4. – С. 60–65.

6. Калинин, С. В. Использование электромагнитных методов для поиска углеводородных залежей / В. Ф. Янушкевич, К. И. Кременя, С. В. Калинин // Горная механика и машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 41–47.

7. Калинин, С. В. Анализ отражательных характеристик при взаимодействии модулированных сигналов с залежью углеводородов / А. И. Филиппов, В. Ф. Янушкевич // Горная механика и машиностроение. – Солигорск, 2015. – № 4. – С. 26–31.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

8. Василенко, Д. Л. Взаимодействие модулированных сигналов с АС / Д. Л. Василенко, С. В. Калинин, В. Ф. Янушкевич // Вестн. кибернетики Сиб. отделения РАН. – Тюмень, РФ, 2001. – 7 с.

9. Василенко, Д. Л. Моделирование взаимодействия ЭМВ с АС / Д. Л. Василенко, С. В. Калинин, В. Ф. Янушкевич // Вестн. кибернетики Сиб. отд-ния РАН. – Тюмень, РФ, 2001. – 9 с.

10. Гололобов, Д. В. Взаимодействие ЧМ-сигналов с анизотропной средой. / Д. В. Гололобов, Н. В. Цывис, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин, Д. Л. Хадыко // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов II Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 2002 г. – Новополоцк, 2002. – С. 300–303.

11. Цывис, Н. В. Математическое моделирование взаимодействия ЭМВ с углеводородной залежью / Н. В. Цывис, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий : IV Междунар. науч.-практ. конф, Гомель, 2002 г. – Гомель : ГГУ, 2002. – 2 с.

12. Калинин, С. В. Использование измерений импеданса антенны для выделения анизотропных неоднородностей / С. В. Калинин, Н. В. Цывис, В. Ф. Янушкевич // Современные проблемы радиоэлектроники : Всерос. науч.-

техн. конф. молодых ученых и студентов, Красноярск, 2003 г. – Красноярск : КрГТУ, 2003. – С. 199–201.

13. Гололобов, Д. В. Частотные характеристики тензора диэлектрической проницаемости в режиме радиоимпульса / Д. В. Гололобов, С. В. Калинин, С. А. Тарасов, Н. В. Цывис, В. Ф. Янушкевич // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов IV Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 2006 г. – Новополоцк, 2006. – Т. 2. – С. 74–76.

14. Василенко, Д. Л. Взаимодействие радиоимпульса с анизотропной средой / Д. Л. Василенко, Д. В. Гололобов, С. В. Калинин, С. А. Тарасов, В. Ф. Янушкевич // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов IV Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 2006 г. – Новополоцк, 2006. – Т. 2. – С. 77–80.

15. Гололобов, Д. В. Приемопередающее устройство на ПЛИС для геологоразведочных работ / Д. В. Гололобов, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин, В. О. Чириков // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 2008 г. – Новополоцк, 2008. – Т. 2. – С. 135–138.

16. Калинин, С. В. Использование модулированных сигналов для поиска залежей углеводородов / С. В. Калинин, Е. Ю. Заяц // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций. РТ-2015 : материалы 11-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 16–20 ноябр. 2015 г. – Севастополь, 2015. – С. 180.

17. Калинин, С. В. Отражательные характеристики анизотропной среды при воздействии модулированных сигналов / С. В. Калинин, Е. Ю. Заяц // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций. РТ-2015 : материалы 11-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 16–20 ноябр. 2015 г. – Севастополь, 2015. – С. 181.

Патент

18. Способ геоэлектроразведки углеводородных залежей : пат. 10253 Республика Беларусь, МПК (2006) G 01 V3/12 / Д. В. Гололобов, В. Ф. Янушкевич, С. В. Калинин; заявитель Полоцкий государственный университет. – № а 20050706; заявл. 12.07.05; опубл. 30.04.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 1 (60). – С. 145.

Дополнительная литература

19. Заяц, Е. Ю. Влияние многослойности среды на процесс обнаружения углеводородных залежей / Е. Ю. Заяц, В. Ф. Янушкевич / Докл. БГУИР. – 2016. – № 2 (96). – С. 119–122.

РЭЗІЮМЭ

Калінцаў Сяргей Віктаравіч

**Электрафізічныя метады і апаратура пошуку пакладаў вуглевадародаў
на аснове дэфармацыі фазачастотных характарыстык
мадуляваных электрамагнітных сігналаў**

Ключавыя словы: вуглевадародная паклада, мадуляваны сігнал, фазавы метады электраразведкі, тэнзар дыэлектрычнай пранікальнасці, каэфіцыент адлюстравання, электрамагнітная хваля, формулы Дэбая, электрамагнітны метады.

Аб'ект даследавання: паклада вуглевадародаў у працэсе ўздзеяння на яе мадуляваных электрамагнітных хваль (ЭМХ).

Мэта працы: абгрунтаванне выбару характарыстык ЭМХ пры ўзаемадзеянні мадуляваных сігналаў з асяроддзем над вуглевадароднай пакладай, а таксама распрацоўка метадаў і апаратных сродкаў з улікам формул Дэбая, якія ўстанаўліваюць залежнасці дыэлектрычнай пранікальнасці ад частаты, для павышэння якасці і дакладнасці пошуку і выяўлення пакладаў вуглевадародаў (ПВВ).

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

- Вызначаны агульныя выразы кампанентаў тэнзару дыэлектрычнай пранікальнасці асяроддзя над вуглевадароднай пакладай пры ўздзеянні мадуляваных сігналаў з ужываннем формул, якія ўстанаўліваюць залежнасці дыэлектрычнай пранікальнасці ад частаты;

- вызначаны заканамернасці трансфармацыі частотных залежнасцей кампанентаў тэнзару дыэлектрычнай пранікальнасці асяроддзя над пакладай вуглевадародаў ад суадносін амплітуд і частот мадуляваных сігналаў з ужываннем формул, якія ўстанаўліваюць залежнасці дыэлектрычнай пранікальнасці ад частаты;

- распрацаваны метады пошуку і аконтурванню вуглевадароднай паклады на аснове мадуляваных сігналаў з выкарыстаннем формул Дэбая, якія пабудаваны на рэгістрацыі рэзанансных частот узаемадзеяння і адбівальных характарыстык асяроддзя над вуглевадародамі;

- распрацаваны метады пошуку і аконтурванню вуглевадароднай паклады на аснове рэгістрацыі фазавых зрухаў высокачастотных і мадулюючых сігналаў у рэжыме амплітуднай мадуляцыі з апорнай частатой у інтэрвале ад 1 да 5 ГГц і мадулюючай частатой у інтэрвале ад 10 да 100 МГц, які дазваляе павысіць узровень дакладнасці ідэнтыфікацыі вуглевадародаў да 85...90% і дакладнасць вызначэння межаў паклады на 10...15%.

Вобласць ужывання: атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для распрацоўкі новых метадаў электраразведкі з мэтай павышэння дакладнасці і дакладнасці ідэнтыфікацыі ПВВ.

РЕЗЮМЕ

Калинцев Сергей Викторович

Электрофизические методы и аппаратура поиска залежей углеводородов на основе деформации фазочастотных характеристик модулированных электромагнитных сигналов

Ключевые слова: углеводородная залежь, модулированный сигнал, фазовый метод электроразведки, тензор диэлектрической проницаемости, коэффициент отражения, электромагнитная волна, формулы Дебая, электромагнитный метод.

Объект исследования: залежь углеводородов в процессе воздействия на нее модулированных электромагнитных волн (ЭМВ).

Цель работы: обоснование выбора характеристик ЭМВ при взаимодействии модулированных сигналов со средой над углеводородной залежью, а также разработка методов и аппаратурных средств с учетом формул Дебая, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты, для повышения качества и достоверности поиска и обнаружения залежей углеводородов (УВЗ).

Полученные результаты и их новизна:

- Определены общие выражения компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над углеводородной залежью при воздействии модулированных сигналов с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты;

- определены закономерности трансформации частотных зависимостей компонентов тензоров диэлектрической проницаемости среды над залежью углеводородов от соотношения амплитуд и частот модулированных сигналов с применением формул, устанавливающих зависимости диэлектрической проницаемости от частоты;

- разработан метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе модулированных сигналов с использованием формул Дебая, построенный на регистрации резонансных частот взаимодействия и отражательных характеристик среды над углеводородами;

- разработан метод поиска и оконтуривания углеводородной залежи на основе регистрации фазовых сдвигов высокочастотных и модулирующих сигналов в режиме амплитудной модуляции с несущей частотой в интервале от 1 до 5 ГГц и модулирующей частотой в интервале от 10 до 100 МГц, позволяющий повысить уровень достоверности идентификации углеводородов до 85...90% и точность определения границ залежи на 10–15%.

Область применения: полученные данные могут быть использованы для разработки новых методов электроразведки с целью повышения точности и достоверности идентификации УВЗ.

SUMMARY

Kalintsev Sergey

ELECTROPHYSICAL AND INSTRUMENTS SEARCH OF HYDROCARBON DEPOSITS BASED ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF PHASE-FREQUENCY MODULATED ELECTROMAGNETIC SIGNALS

Keywords: a hydrocarbon deposit, the modulated signal, a phase method of electroinvestigation, a tensor of dielectric permeability, reflection coefficient, an electromagnetic wave, Debye's formulas, an electromagnetic method.

Object of research: a deposit of hydrocarbons in the course of impact on her of the modulated electromagnetic waves (EMW).

Objective: justification the choice characteristics of EMW in the interaction with the environment modulated signals over hydrocarbon deposit, as well as the development of methods based on the Debye's formulas and hardware resources to improve the quality and reliability of hydrocarbon deposits (HCD) search and discovery.

The received results and their novelty:

- Determine the general expressions of the dielectric tensor components of the environment over the hydrocarbon deposit under the influence of modulated signals using the Debye formulas;

- the laws of transformation of the frequency dependency of the dielectric tensor components of the environment of hydrocarbon deposits on the ratio of amplitude and frequency modulated signals using the Debye formulas;

- developed a method of searching for and delineation of hydrocarbon deposits on the basis of the modulated signals using the Debye formulas, built at the front of the resonant frequency of interaction and reflection characteristics of the medium of hydrocarbons;

- developed search method and delineating hydrocarbon deposits on the basis of the registration phase shift high frequency and modulating signals in an amplitude modulation mode with carrier frequency in the range 1 to 5 GHz modulation frequency in the range from 10 to 100 MHz, allows to improve identification of hydrocarbon reliability to 85...90 % and accuracy of reservoir boundaries 10...15 %.

Scope: the obtained data can be used for development of new methods of electroinvestigation for the purpose of accuracy and reliability increase of HCD identification.

Сергей Викторович КАЛИНЦЕВ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
И АППАРАТУРА ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИИ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МОДУЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Подписано в печать 28.07.2016. Бумага офсетная. 60×84¹/₁₆. Ризография.
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,17. Тираж 60. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение :
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/305 от 22.04.2014

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014

ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк