

В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ, аспирант

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЗАЛЕЖЬЮ

В поисковой геофизике в настоящее время возросли требования к использованию более эффективных и достоверных методов электроразведки. Для поиска, оконтуривания и идентификации месторождений нефти и газа (углеводородов) широко применяются различные методы электроразведки, основанные на связи электрических характеристик применяемой аппаратуры со свойствами исследуемой среды [1].

Однако в геологии и геофизике проведение экспериментальных исследований углеводородных залежей (УВЗ) при разработке новых методов поиска сопряжено с определенными трудностями:

1. Часто объект испытаний и организация, проводящая исследования, пространственно разнесены. Проведение опытов в натуральных условиях требует организации специальной экспедиции, что связано с материальными, финансовыми, транспортными проблемами;

2. В ряде случаев георазведка УВЗ трудноосуществима из-за погодных условий, большой протяженности участка испытаний, географического положения объекта испытаний, рельефа местности и т.д., что требует дополнительных затрат;

3. Часто для обработки результатов исследований необходимо специальное оборудование, в том числе средства вычислительной техники.

В ряде случаев для изучения физических процессов, происходящих на реальных месторождениях, используется моделирование.

Известны два способа физического моделирования [2]. Один из них основан на исследовании образцов горных пород, отобранных в скважинах, шахтах, штольнях и т.д. С помощью образцов моделируют тепловые, диффузионные, электромагнитные, акустические и другие природные процессы. Второй способ предполагает создание модели самих горных пород (искусственные образцы), на которой выполняют в последующем моделирование указанных процессов.

Проведение физического моделирования в геофизике связано с большими трудностями, так как прежде всего нарушается геометрическое подобие натурального объекта и модели. Объем породы, исследуемой в лабора-

торных условиях, не соответствует ее объему в природных условиях залегания, который изучается геофизическими методами в скважинных вариантах и особенно методами полевой геофизики. Сложность физического моделирования горных пород заключается также в том, что в природных условиях исследуемый объект не является изолированной системой и занимает определенное пространственное положение среди других пород, обладающих иными геофизическими характеристиками и находится с ними в физико-химическом и термодинамическом взаимодействии. При извлечении породы с той или иной глубины с конкретными термодинамическими условиями на поверхность (в атмосферные условия) нарушается внутренняя структура горной породы, которая оказывает значительное влияние на геофизические характеристики. Нарушение первоначальной структуры породы связано с образованием в ней дополнительной трещиноватости, усыханием и растрескиванием глинистого цемента, изменением порового объема породы за счет обратимых и необратимых деформаций скелета и т.п.

И тем не менее основные закономерности, характерные для УВЗ, с помощью моделирования можно выделить. В настоящее время в геологии и геофизике широко используют электрическое моделирование, которое позволяет изучать на электрических моделях электромагнитные, тепловые, акустические, диффузионные, гидродинамические и другие явления. Для этой цели используют плоские сеточные модели, состоящие из набора различных сопротивлений (электроинтегратор)- дискретное моделирование: электролитические ванны и электропроводную бумагу – моделирование на сплошных средах [2].

В данной работе проводится моделирование УВЗ, основанное на применении радиоволновых методов на основе двухчастотного взаимодействия и изучении электродинамических характеристик исследуемой среды. Модель разреза геологического профиля с УВЗ представлена на рис. 1 [3].

Окружающее углеводороды пространство (среда 1) находится в физическом, химическом и термодинамическом равновесии с контуром вмещающих пород (среда 2). Однако это выполняется для среды вне контура залежи

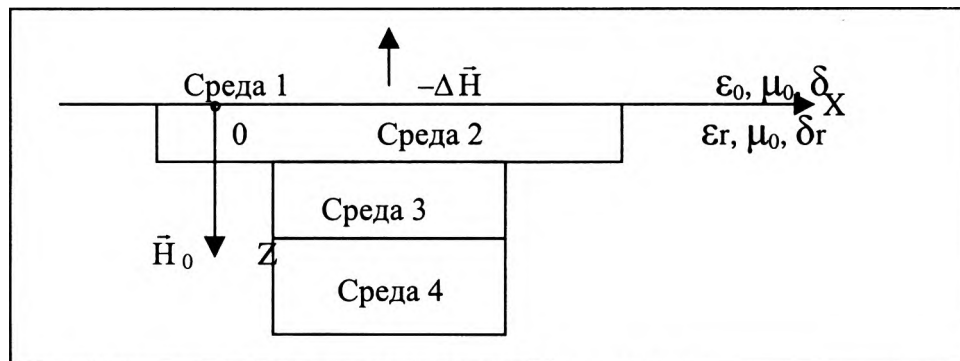


Рис. 1. Модель разреза геологического профиля с включением УВЗ

углеводородов. Вмещающие породы в этой области содержат твердый кристаллический скелет пород, пронизанный электролитом водных растворов солей и проводящими включениями за счет минералов с электронной проводимостью. Над залежью углеводородов (среда 4) под действием высоких температур и пластового давления происходят поляризационные процессы и на границе контакта с окружающей УВЗ средой 2 образуется промежуточная область (среда 3), характеризующаяся избытком свободных электронов, преобладанием восстановительных процессов, связанных с переходом ряда химических элементов осадочных пород в низковалентное состояние.

Приведенный анализ геофизической обстановки над УВЗ показывает, что над залежью существует поток электронов, приводящий к появлению геомагнитной аномалии ΔH из-за проявления диамагнитных свойств перемещающихся частиц в среде. Данное явление можно объяснить действием лоренцевой силы при движении электрона в постоянном магнитном поле, вследствие чего заряд испытывает центростремительное ускорение и движется по спиральной кривой. Вращательное движение электронов приводит к возникновению тока, текущего в перпендикулярной к намагниченному полю плоскости, вследствие чего создается собственное магнитное поле, направленное против внешнего, ослабляющего геомагнитного поля над УВЗ.

Диэлектрические свойства входящих в состав УВЗ твердых, жидких и газообразных веществ определяются диэлектрической проницаемостью ϵ_r . Вклад каждой фазы в общую эффективную диэлектрическую проницаемость породы обуславливается химико-минеральным составом частей скелета, их количеством, размером и формой, структурой и текстурой пород и т.д. Установлено, что наибольшее влияние на диэлектрическую проницаемость оказывают пористость, влажность и объемное нефтенасыщение [4]. Поэтому среда была смоделирована таким образом, чтобы взятое за основу расчетов значение диэлектрической проницаемости $\epsilon_r=10$ характеризовалось коэффициентом пористости, водонасыщения и объемного нефтенасыщения, соответствующим реальным значениям песчано-алевритовых фракций над залежью углеводородов.

Проводился теоретический анализ данной модели для двухчастотного взаимодействия, на основании которого были получены частоты, где $R_e \epsilon_R$ обращалась в ноль, причем $\epsilon_R = \epsilon_1 + \epsilon_2$, где ϵ_1 и ϵ_2 – элементы матрицы тензора диэлектрической проницаемости [5]. Результаты расчетов (табл. 1) показывают, что отклик УВЗ на воздействие двухчастотного сигнала будет различным при изменении параметров $K_E = \frac{E_2}{E_1}$ и $k\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2}$, где E_1, E_2, ω_1 и ω_2 соответственно амплитуды и частоты волн, взаимодействующих с залежью.

Установлено, что при зондировании углеводородов сигналами двух частот с различными параметрами эффект взаимодействия при амплитуде высокочастотного (ВЧ) сигнала, равной $0,1 E_1$, будет более существенным при меньшем разное зондирующих частот ω_1 и ω_2 . При отличии ВЧ – составляющей от низкочастотного (НЧ) в сто и более раз отражательные свойства залежи улучшат-

ся и диапазон, в котором будет происходить увеличение ЭМ В под залежью, смещается в область ВЧ. При амплитуде ВЧ- сигнала, равной $10^{-3} E_1$, существуют принципиальные отличия режимов взаимодействия.

Таблица 1

Значения частот, удовлетворяющих условию $R_e \epsilon_R=0$

Параметр $k\omega$	Параметр K_E	Значение частоты $f_{2L}, \text{Гц}$	Значение частоты $f_{2R}, \text{Гц}$
10^{-1}	10^{-1}	$1,00 \cdot 10^7$	$1,18 \cdot 10^9$
10^{-1}	10^{-3}	$1,98 \cdot 10^7$	$2,33 \cdot 10^9$
10^{-1}	10^{-6}	$2,00 \cdot 10^7$	$2,35 \cdot 10^9$
10^{-3}	10^{-1}	$1,18 \cdot 10^7$	$2,12 \cdot 10^9$
10^{-3}	10^{-3}	$9,98 \cdot 10^7$	$1,01 \cdot 10^9$
10^{-3}	10^{-6}	—	$1,99 \cdot 10^9$
10^{-6}	10^{-1}	—	$2,14 \cdot 10^9$
10^{-6}	10^{-3}	$1,94 \cdot 10^9$	$1,99 \cdot 10^9$
10^{-6}	10^{-6}	$5,35 \cdot 10^{10}$	$6,58 \cdot 10^{10}$

Частота f_{2L} соответствует меньшему значению частоты, при которой действительная часть ϵ_R равняется нулю, а f_{2R} – большему. Проводились экспериментальные исследования модели УВЗ в лабораторных условиях (табл. 2-3).

Таблица 2

Экспериментальные данные для исследуемой модели при $K_E=10^{-1}$

$f_2, \text{Гц}$	$f_1, \text{МГц}$	$E_1, \text{дБ}$	$E_2, \text{дБ}$	$E_3, \text{дБ}$
4	25	3	13	3
4	50	5	10	3
4	100	3	10	4
4	150	5	11	4
4	250	5	19	4
4	350	2	19	3

Таблица 3

Экспериментальные данные для исследуемой модели при $K_E=10^{-3}$

$f_2, \text{Гц}$	$f_1, \text{МГц}$	$E_1, \text{дБ}$	$E_2, \text{дБ}$	$E_3, \text{дБ}$
5	25	5	12	3
5	50	5	17	4
5	100	3	9	4
5	150	3	11	3
5	250	4	8	5
5	350	3	8	2

Приведенные в таблицах значения напряженности поля суммарного сигнала под залежью E_2 и вне ее E_1 (слева) и E_3 (справа) измерены прибором типа ПЗ-18 (измеритель плотности потока мощности).

При незначительном отличии частот зависимости $\text{Re } \epsilon_R$ имеют такой же вид как и для предыдущего случая, однако с уменьшением частоты ω_1 характер взаимодействия меняется. Диэлектрическая проницаемость обращается в ноль и сохраняет это значение вплоть до сантиметрового диапазона волн. При амплитуде ВЧ- сигнала, равной $10^{-6} E_1$, характер взаимодействия имеет сходство с указанным выше с той лишь разницей, что отрицательное значение $R_e \epsilon_R$ принимает в более высоком диапазоне частот.

В результате проведенного теоретического анализа, подтвержденного данными экспериментальных исследований, могут быть даны рекомендации по использованию наиболее эффективных соотношений между параметрами ЭМВ с точки зрения оптимального обнаружения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки радиотехнических систем ближней и дальней радиолокации, для обнаружения локальных плазменных

образований, для оптимизации методов поиска и оконтуривания залежей нефти и газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гололобов Д.В. Электромагнитные методы поиска углеводородных залежей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Минск : БГУИР, 1996.
 2. Леонтьев Е.И. Моделирование в петрофизике. – М.: Недра, 1978.
 3. Дмитриев А.Н. Геоэлектрическая модель среды с поляризованной залежью углеводородов // Разведочная геофизика. – М. : Недра, 1981. – Вып. 93.
 4. Брылкин Ю.Л., Дубман Л.И. О диэлектрической проницаемости горных пород осадочного происхождения // Геология и геофизика. – 1972, № 1.
 5. Янушкевич В.Ф. Зондирование анизотропных сред двухчастотными и модулированными сигналами // Полоцкий государственный университет. – Мн. : 1997. – 8 с. – Деп. в БелИСА 12.06.1997 г. № Д 1997 В.
-