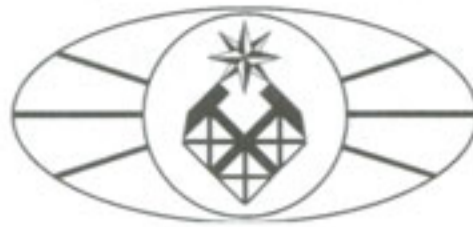


Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)



Российский фонд фундаментальных исследований

А.Д. Каринский

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ
В МОДЕЛЯХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНОЙ
СРЕДЫ**

Москва
ГЕОС
2018

УДК 550.83.01+550.832.7

ББК 26.323

Каринский А.Д. Электромагнитное поле в моделях электрически анизотропной среды – М.: ГЕОС, 2018. 184 с.

ISBN 978-5-89118-776-4

Приведены решения прямых задач электродинамики для моделей электрически анизотропной среды при различных способах возбуждения электромагнитного поля и полученные на основе этих решений результаты математического моделирования.

Рассмотрены результаты расчетов на основе полученных в виде аналитических выражений решений 1D-прямых задач электродинамики, а также численных решений прямых задач для ряда электрически анизотропных осесимметричных 2D-моделей среды. Результаты моделирования получены для случаев, когда сторонними (не зависящими от электрических и геометрических параметров среды) возбудителями гармонически меняющегося электромагнитного (ЭМ) поля, либо стационарного электрического поля, являются токовый точечный электрод, переменный, либо постоянный электрический диполь, переменный магнитный диполь, линия АВ переменного электрического тока, «кабель» с электрическим током, заканчивающийся токовым электродом, тороидальная антенна бесконечно малых, либо конечных размеров и др. Для названных выше сторонних возбудителей электромагнитного поля получены решения прямых задач и результаты расчётов для следующих моделей анизотропной среды: однородная анизотропная среда; 1D-модель среды с одной цилиндрической границей, либо с двумя коаксиальными цилиндрическими границами; 1D-модель среды с двумя плоско-параллельными границами; 2D-модель осесимметричной среды с цилиндрической и плоско-параллельными границами.

Модели неоднородной анизотропной среды отвечают возможным условиям при геофизических исследованиях скважин. Некоторые из полученных результатов математического моделирования могут послужить для обоснования пока не применяемых при исследованиях скважин электрических и электромагнитных геофизических методов, перспективных для определения параметров электрической анизотропии пройденных скважиной горных пород. В последней главе этой книги приведены результаты физического моделирования, полученные для обоснования двух таких методов. Это дипольные зонды каротажа сопротивлений и имеющий оригинальную конструкцию зонд электромагнитного каротажа, предназначенный для определения коэффициента электрической анизотропии горных пород.

Приведенные в этой книге результаты исследований могут быть интересны для исследователей-геофизиков, занимающихся электромагнитными методами исследования скважин, и для специалистов, интересующихся особенностями влияния на ЭМ поле параметров электрической анизотропии среды при различных способах возбуждения поля и измерения его характеристик. Важны также методы, применённые при получении решений прямых задач электродинамики для 1D-моделей анизотропной среды и 2D-математическом моделировании.

Значительная часть представленных в этой книге результатов исследований была получена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты РФФИ: 05-05-65271, 08-05-00443, 11-05-00334-а).

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 18-15-00035



Издание РФФИ не подлежит продаже

© А.Д. Каринский, 2018

© ГЕОС, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
ГЛАВА 1. Уравнения электромагнитного поля и источники электрического поля в анизотропной среде.	
Электродинамические потенциалы	11
1.1. Уравнения поля	11
1.2. Электрические заряды в моделях анизотропной среды.....	14
1.3. Электродинамические потенциалы электрического типа	17
1.4. Электродинамические потенциалы магнитного типа	19
ГЛАВА 2. Поля различных сторонних источников в однородной анизотропной среде.....	23
2.1. Электрические диполи и точечный токовый электрод.....	23
2.1.1. <i>Переменный электрический диполь.....</i>	<i>24</i>
2.1.2. <i>Постоянный электрический диполь и токовый точечный электрод</i>	<i>30</i>
2.2. Переменный магнитный диполь	35
2.2.1. <i>Решение прямой задачи</i>	<i>36</i>
2.2.2. <i>Магнитное поле переменного магнитного диполя</i>	<i>37</i>
2.2.3. <i>Электрическое поле переменного магнитного диполя.....</i>	<i>45</i>
2.3. Тороидальная антенна бесконечно-малых размеров.....	52
2.4. Линейная тороидальная антенна в форме окружности.....	61
2.5. Линия <i>AB</i> переменного тока, ориентированная по оси анизотропии.....	63
ГЛАВА 3. Поля различных источников в моделях среды с цилиндрическими границами	66
3.1. Переменный электрический диполь на оси модели скважины.....	68
3.2. Элементарная тороидальная антенна на оси модели скважины.....	71
3.3. Кабель с точечным токовым электродом на оси модели скважины	74
3.4. Электрический диполь, токовая линия <i>AB</i> и кабель на оси 3-слойной модели среды.....	77
3.5. Тороидальная антенна, окружающая хорошо проводящий цилиндр (условия каротажа в процессе бурения)	84

3.6. Электрическое поле точечного токового электрода, смещенного с оси симметрии модели среды	90
3.6.1. Решение прямой задачи	90
3.6.2. Градиент-зонд и потенциал-зонд КС.....	95
3.6.3. Дипольно-экваториальный зонд КС	99
ГЛАВА 4. Наклонный магнитный диполь в присутствии модели анизотропного пласта.....	104
4.1. Решение прямой задачи.....	105
4.2. Результаты численных расчетов для модели анизотропного пласта	114
ГЛАВА 5. Численное решение осесимметричных прямых задач для анизотропных моделей среды методами конечных разностей	121
5.1. Краевая задача.....	121
5.2. Разностная задача	123
5.3. Численная оценка погрешности конечно-разностных расчетов.....	131
ГЛАВА 6. Электромагнитное поле в осесимметричных (2D) моделях анизотропной среды	135
6.1. Поля различных источников в 2D-моделях микроанизотропной среды.....	135
6.1.1. Элементарная тороидальная антенна и переменный электрический диполь	136
6.1.2. Тороидальная антенна в модели среды, отвечающей условиям каротажа в процессе бурения	139
6.1.3. Линия АВ переменного тока, БДК и кабель с точечным токовым электродом	143
6.2. Сравнение результатов моделирования для осесимметричных моделей макроанизотропной и микроанизотропной среды	152
6.2.1. Бесконечно-длинный кабель.....	154
6.2.2. Градиент-зонды КС	160
6.2.3. Зонды ВИКИЗ	164
ГЛАВА 7. Результаты физического моделирования для анизотропных моделей среды	168
7.1. Дипольные зонды КС	168
7.2. Зонд каротажа электрической анизотропии.....	173
Литература	177