

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫМ СВЧ-РЕЗОНАТОРОМ АНИЗОТРОПИИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

А.В. Бадьин, Г.Е. Дунаевский

В статье описывается методика исследования анизотропии природных объектов - горных пород. Представлены результаты исследования анизотропии коэффициента отражения S_{22} электромагнитной волны от плоскопараллельных образцов горной породы при помощи открытого СВЧ-резонатора

Ключевые слова: анизотропия, открытый резонатор, коэффициент отражения, горная порода

Введение

Одной из актуальных задач СВЧ-диагностики природных объектов, к которым, в частности, относятся горные породы, является определение их анизотропии. Знание анизотропии электрофизических свойств природных объектов позволяет получать информацию о её строении и генезисе [1]. Особый интерес представляет применение открытого СВЧ-резонатора для исследований горной породы с использованием электромагнитных сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайне высокочастотных (КВЧ) колебаний.

Методика измерений

В данной работе проводились исследования угловой зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны S_{22} при помощи измерительной установки. Она состоит из векторного анализатора цепей Agilent E8363B и открытого СВЧ-резонатора, имеющего прямоугольное отверстие в зеркале и работающего "на отражение" на частоте 37,668 ГГц. Структурная схема измерительной установки представлена на рисунке 1. Исследуемый плоскопараллельный образец горной породы располагался на металлической подложке поворотного механизма на расстоянии L от отверстия за зеркалом. Выбирались частоты резонансных максимумов, на которых затем проводились измерения коэффициента отражения в зависимости от поворота образца относительно продольной оси симметрии резонатора при различных значениях величины L с шагом 10^0 .

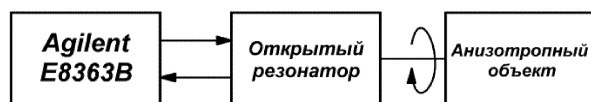


Рисунок 1- Структурная схема установки для исследования анизотропии коэффициента отражения электромагнитной волны от плоскопараллельного объекта резонаторным методом.

Объекты исследования

Для исследования были отобраны 3 образца горной породы, два из которых получены непосредственно с поверхности земли (скальные выступы) и один керн, который добыт путем бурения скважины глубиной 70м. Из каждого образца были изготовлены полированные плоскопараллельные пластины, для которых предварительно определены направления анизотропии методом микроскопии (белые линии на рисунках 2, 4 и 6). Образец Кш-7/2 толщиной 7,23 мм, относящийся к вмещающему Кингашскому платиномедно-никелевому месторождению в Восточных Саянах, отобран из естественного обнажения (скальный выступ на водоразделе). Внешний вид образца представлен на рисунке 2.

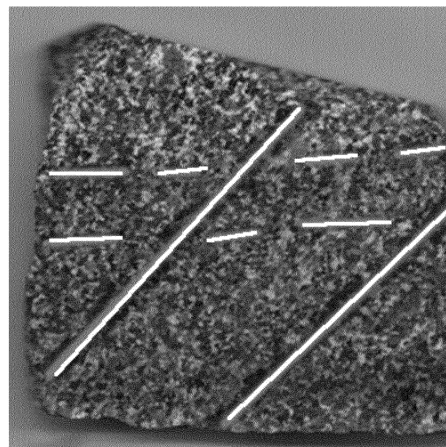


Рисунок 2 - Внешний вид образца горной породы Кш-7/2

Он представляет собой метаморфическую горную породу (кристаллический сланец), состоящую из следующих минералов: кварц, плагиоклаз, биотит, гранат, мусковит.

Эта порода характеризуется резко выраженной плоскостной анизотропией строения, обусловленной субпараллельной ориентацией

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫМ СВЧ-РЕЗОНАТОРОМ АНИЗОТРОПИИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

ровкой чешуйчатых зерен (кристаллов) слюдистых минералов (биотита и мусковита).

По результатам полученных измерений угловой зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны S_{22} построен график, представленный на рисунке 3. Направление анизотропии совпадает с минимумом коэффициента отражения.

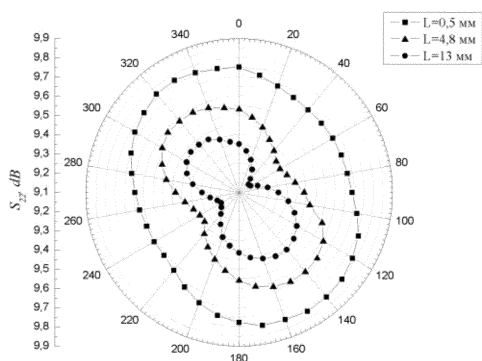


Рисунок 3 - График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для образца горной породы Кш-7/2 на частоте 37,668 ГГц при различных расстояниях L между зеркалом и исследуемым образцом.

Образец Хр-1/1 представляет собой плоскопараллельную пластину толщиной 4,36 мм и является магматической горной породой основного состава, состоящей из минералов: плагиоклаз и оливин. Отличительной особенностью данной горной породы является наличие тонкозернистой рассеянной вкрапленности сульфидов железа. Внешний вид образца Хр-1/1 представлен на рисунке 4.

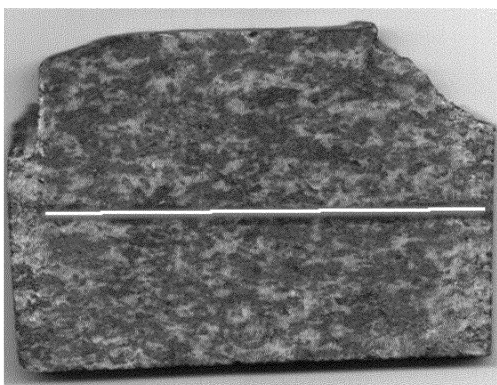


Рисунок 4 - Внешний вид образца горной породы Хр-1/1

Анизотропия строения данного образца выражена вполне отчетливо и обусловлена развитием удлиненных агрегатов и зерен. Сульфиды также имеют струйчатое распределение вдоль системы директивной текстуры, хотя оно выражено гораздо хуже. Образец отобран из шурфа, пройденного по зоне

рассеянной сульфидной минерализации. Результаты исследования угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для образца Хр-1/1 представлен на графике (рисунок 5). Сравнение направления анизотропии строения (рисунок 4) и направления минимума коэффициента отражения электромагнитной волны на графике (рисунок 5) показывает наличие взаимосвязи этих характеристик.

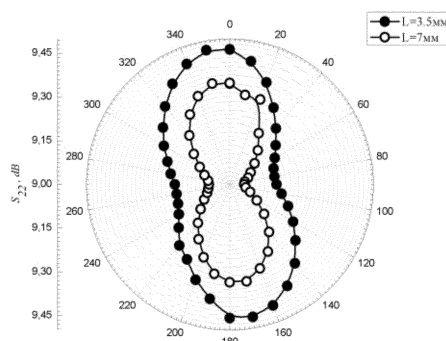


Рисунок 5 - График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для образца горной породы Хр-1/1 на частоте 37,668 ГГц при различных расстояниях L между зеркалом и исследуемым образцом.

Плоскопараллельный образец горной породы Кс-4/70, представленный на рисунке 6, относится к Кингашскому платино-медно-никелевому месторождению в Восточных Саянах, толщина пластины 3,08 мм. Это образец керна из скважины, извлеченный с глубины 70 метров.

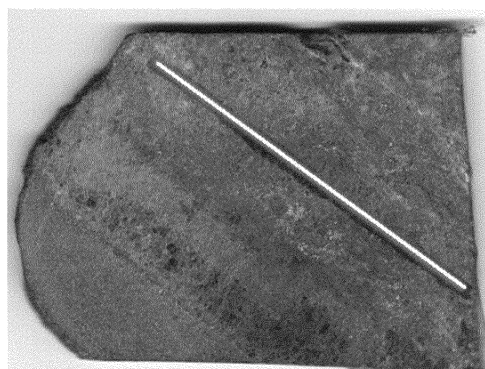


Рисунок 6 - Внешний вид образца горной породы Кс-4/70

Он представляет собой горную породу ультраосновного состава, дунит с обильной вкрапленностью сульфидов железа, никеля и меди. Порода характеризуется резко выраженной анизотропией текстуры, обусловленной развитием прожилков (до 8 мм) среднекристаллического агрегата роговой обманки (мощностью 0,8 – 1,0 см) и сульфидов, которые образуют скопление прожилков мощно-

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

стью около 5 см. График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для данного образца горной породы представлен на рисунке 7.

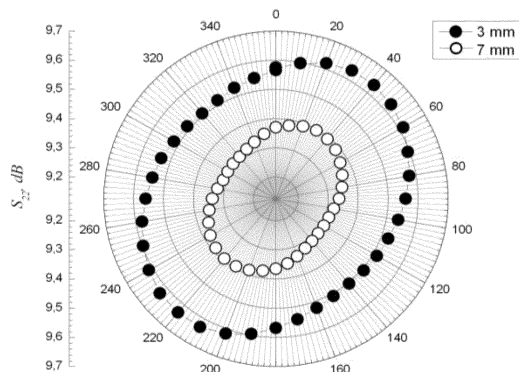


Рисунок 7 - График угловой зависимости коэффициента отражения S_{22} для образца горной породы Кс-4/70 на частоте 37,668 ГГц при различных расстояниях L между зеркалом и исследуемым образцом.

Анализ полученных результатов

Из приведенных графиков видно, что с увеличением расстояния между зеркалом и исследуемым плоским образцом значение S_{22}

уменьшается, а коэффициент анизотропии возрастает. Следовательно, возникает необходимость выбора оптимального расстояния для диагностики анизотропии горной породы. Результаты исследования образца Хр-1/1 согласуются с предыдущими исследованиями данного образца СВЧ-рефлектометром в диапазоне 8-12 ГГц [2]. Применение открытого резонатора повышает чувствительность и точность, а переход на более высокие частоты позволяет увеличить локальность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвериков, Л. И. Оценка анизотропии геологических объектов / Л. И. Четвериков // Вест. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2000. – Вып. 9. – С. 26–31.
2. Бадьин, А. В. Исследование поляризационной зависимости отражения электромагнитной волны плоским образцом горной породы / А. В. Бадьин, Г. Е. Дунаевский // Изв. вузов. Физика. – 2012. – № 8/2. – С. 274-275.

Аспирант **А.В. Бадьин** тел. (382-2)41-39-73, Alex001@sibmail.com; д.т.н., проф. **Г. Е. Дунаевский** - Национальный исследовательский Томский государственный университет, кафедра Радиоэлектроники, proecs@mail.tsu.ru (382-2)52-95-78.

УДК 621.317.33

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.А. Миронов

В статье рассматривается новый метод определения частоты по мгновенным значениям гармонических сигналов, обеспечивающий повышение точности измерения. Предлагается средство измерения, реализующее метод. Приводятся результаты анализа влияния погрешности квантования на результирующую погрешность определения частоты.

Ключевые слова: частота, гармонический сигнал, мгновенные значения, фазосдвигающий блок, квантование, погрешность.

Состояние проблемы

Контроль электрических параметров гидро- и турбогенераторов, силовых подстанций, высоковольтных линий электропередачи общего назначения предусматривает измерение частоты. Особенностью перечисленных выше энергообъектов является то, что сигналы в их измерительных цепях имеют форму, близкую к гармонической.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с определением параметров гармонических сигналов, включая и частоту, по отдельным мгновенным значениям сигналов, не связанным с их периодом,

что позволяет значительно сократить время измерения [1].

Дальнейшее сокращение времени измерения параметров обеспечивают методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных по фазе, и использовании мгновенных значений как основных, так и дополнительных сигналов [2].

В [3] авторами предложен метод измерения частоты гармонического сигнала, использующий формирование дополнительного сигнала, сдвинутого относительно входного по фазе на угол 90° в сторону опережения, и

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013