

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУДНЫХ ОТВАЛОВ****Воног А.С., Кулагин В.В.****Научный руководитель – преподаватель Пузиков Г.С.  
Сибирский федеральный университет**

Аннотация: В работе приводится технологическая линия обогащения бедных рудных отвалов (хвостов) на основе радиоволнового метода, в котором применены новые подходы для извлечения информации о физическом состоянии рудных тел при воздействии на них высокочастотного электромагнитного поля с круговой поляризацией в непрерывном потоке на конвейере.

Источником падающей волны электромагнитного поля является уголковая вибраторная антенна, грани которой преобразуют линейную поляризацию вибратора в круговую.

Приемной антенной отраженной волны служит антенная решетка из скрещенных вибраторов, позволяющая для большей информативности производить прием амплитудно-фазовых сигналов на линейных и круговой поляризациях в различных программируемых режимах.

В связи с тем, что полезные ископаемые в виде минерального сырья относятся к разряду невозполнимых природных ресурсов, а после переработки сырья остается громадный объем бедных рудных отвалов (хвостов), остро стоит экономическая проблема и экологическая необходимость их вторичной переработки для извлечения черных, цветных (Cu, Zn, Ni, Pb, и др.), редких (W, Mo, Li, Be, и др.) металлов, содержание которых в хвостах колеблется в пределах от 0.1 до 20%.

Остро стоит и проблема сохранения экологической чистоты природной среды, включая рекультивацию земель, занятых отвалами.

Технологическая линия обогащения бедных рудных отвалов на основе радиоволнового метода позволяет произвести их дальнейшее производственное использование путем сепарации (обогащения) руд. На рисунке 1 приведена технологическая линия обогащения руды.



Рис. 1. Технологическая линия обогащения руды

Линия состоит из следующих составных частей:

1. Передающей уголковой антенны с круговой поляризацией электромагнитного поля, на частоте  $f=2.45$  ГГц. Генерируемая мощность 20Вт. КУ  $\approx 10$  Дб. Технические характеристики уголковой антенны приведены на Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4.

Получение круговой поляризации электрического поля приведено на Рис. 5.

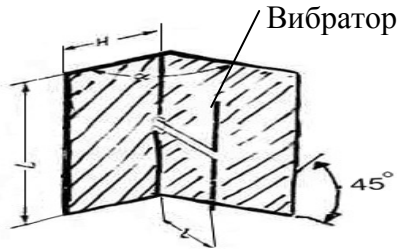


Рис. 2. Угловая антенна

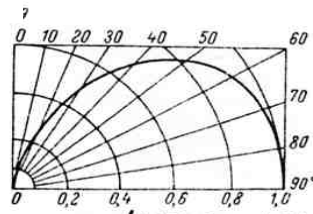


Рис. 3. ДН в вертикальной плоскости

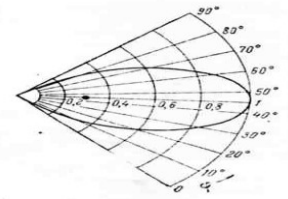


Рис. 4. ДН в горизонтальной плоскости

Вибратор с линейной поляризацией располагается так, чтобы вектор  $\vec{E}_n$  был под углом 45 град. к пластинам.

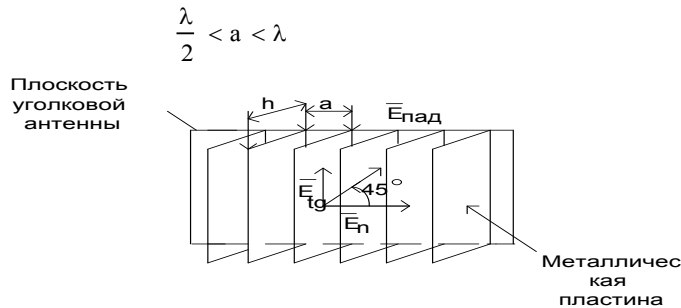


Рис. 5. Получение круговой поляризации угловой антенны.

Составляющая  $E_n$  движется между пластинами со скоростью света  $C$ .

Составляющая  $\vec{E}_{tg}$ , параллельной пластины распространяется между ними как в волноводе с повышенной фазовой скоростью

$$V_0 = \frac{c}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} \quad (1)$$

Вследствие различия фазовых скоростей у составляющих  $\vec{E}_n$  и  $\vec{E}_{tg}$  набег фазы при двукратном прохождении системы пластин (до поверхности плоской угловой антенны и обратно) будет

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2h - \frac{2\pi}{\lambda V} 2h = 4\pi h \left( \frac{\lambda V - \lambda}{\lambda V \lambda} \right) \quad (2)$$

Для того чтобы получить круговую поляризацию, необходимо чтобы

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + 2m\pi \quad (3)$$

Отсюда получаем минимальную (при  $m=0$ ) ширину пластины

$$h = \frac{1}{8} \frac{\lambda V \lambda}{\lambda V - \lambda} = \frac{1}{8} \frac{\lambda}{1 - \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} \quad (4)$$

приёмной антенны, выполненной в виде антенной решётки, Рис. 6.

2. Антенная решетка содержит в плоскости раскрыва 12 скрещенных вибраторов, которые размещены в узлах прямоугольной координатной сетки и находятся друг от друга на расстоянии  $\frac{\lambda}{2}$ .

Получение круговой поляризации от двух взаимно перпендикулярных вибраторов 1 и 2, показано на Рис.7а,7б.

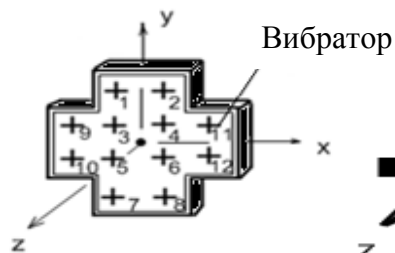


Рис. 6. Приемная антенная решетка

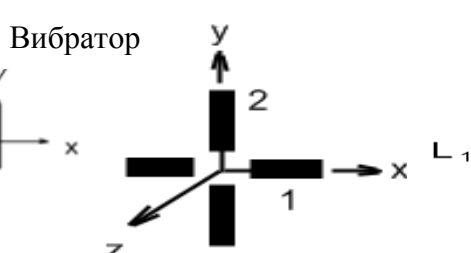


Рис. 7а. Скрещенные вибраторы 1 и 2 по осям X и Y

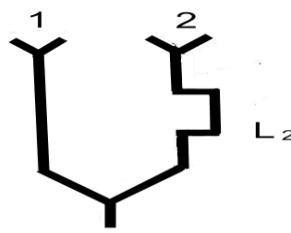


Рис. 7б. Линии питания вибраторов 1 и 2

В вибраторах 1 и 2 возбуждаются токи равной величины, но со сдвигом по фазе на 90 град, за счет различной длины линий питания:  $L_2 - L_1 = \Delta L$  ;  $\varphi = 90^\circ = \frac{2\pi}{\lambda} * \Delta L$

3. Конвейера с необогащенной рудой.
4. Отсекателя, для управления потоками обогащенной или бедной рудой.

Основой для применения радиоволновых методов обогащения руд является различие электрических свойств руды в зависимости от геологических и физических факторов.

На распределении внешнего электрического поля в руде влияют её удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и магнитная проницаемость  $\mu$ . Электрические свойства руды тесно связаны с её минеральным свойством, структурой, влагонасыщенностью, температурой и другими факторами.

Величина удельного электрического сопротивления  $\rho$  характеризует способность руды в различной степени проводить электрический ток. Единица удельного сопротивления – Ом\*м. Величина обратная удельному сопротивлению, характеризует удельную электрическую проводимость. Она измеряется в сименсах на метр См/м.

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  характеризуется способностью руды изменять напряженность первичного электрического поля вследствие поляризации или упорядоченности ориентации связанных электрических зарядов.

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  руды показывает, во сколько раз изменяется ёмкость конденсатора, диэлектриком которого является руда, по отношению ёмкости в вакууме. Величину  $\epsilon$  измеряют в фарадах на метр.

Различают абсолютную  $\epsilon_a$  и относительную  $\epsilon$  диэлектрические проницаемости, связанные формулой  $\epsilon_a = \epsilon_0 * \epsilon_{\text{отн}}$ , где диэлектрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} \text{ Ф/м}$

Магнитная проницаемость  $\mu$  характеризует способность среды концентрировать силовые линии магнитного поля, величину  $\mu$  измеряют в генри на метр.

Различают абсолютную  $\mu$  и относительную магнитные проницаемости, связанные формулой  $\mu_a = \mu_0 * \mu_{\text{отн}}$ , где  $\mu_0$ - магнитная постоянная, равная  $4\pi * 10^{-7} \text{ Г/м}$ .

В основе радиоволнового метода обогащения бедных руд используются высокочастотные электромагнитные поля, параметры которых в материальных средах описываются системой уравнений Максвелла.

Задача обнаружения металла в руде распадается на две: обнаружение металлических включений (радиоволновая задача) и их распознавание, задачу обработки приёмных сигналов. В общем виде физическая суть обнаружения стандартна: передающая уголкообразная антенна облучает руду на конвейере, часть отражённой энергии которой принимается антенной решёткой и далее подлежит обработке и формированию команды на управление отсекателем для сортировки руды.

Передающая уголковая антенна выполнена с круговой поляризацией электромагнитного поля, позволяющей возбуждать в металлических включениях руды токи смещения и проводимости, независимо от пространственного расположения и геометрии металлических включений. Токи смещения и проводимости образуют вторичное электромагнитное поле, которое в виде отражённой волны противоположной круговой поляризации принимается антенной решёткой, причём угол падающей волны равен углу отражённой волны. Различие по направлению круговой поляризации падающей и отражённой волны (развязка по поляризации) исключает прямое влияние на результаты приёмного сигнала.

При постоянных параметрах излучения результаты его взаимодействия с рудой зависят только от свойств руды, что позволяет оценить эти свойства, измеряя величину отражённой энергии, только при толщине насыпи руды, через которую падающая волна микроволновой энергии не проходит, чтобы исключить дополнительную границу раздела сред.

Приёмная антенная решётка, выполненная в виде двенадцати скрещенных вибраторов с круговой поляризацией электромагнитного поля, позволяет принимать отражённый амплитудно-фазовый сигнал с круговой или горизонтальной или вертикальной поляризациями. Управление поляризационной характеристикой антенной решётки производится электронной коммутацией линий питания вибраторов.

При необходимости приёмной антенной решёткой может быть произведено программное сканирование зоны отражения руды с нахождением максимума отражённого сигнала и построение его трёхмерной характеристики, что существенно упрощает выделение полезного сигнала на фоне помех.

Схема технологической линии обогащения руды может быть адаптирована для исследования скважин и подповерхностного зондирования.

Аналоги передающих, приёмных устройств, фильтров и др. элементов технологической линии существуют в системах радиосвязи и навигации.