

МГУ им. М.В. Ломоносова  
Геологический Факультет  
Кафедра геофизики

Аппаратурно-методический практикум по курсу  
электроразведки

Лабораторная работа на тему :  
ДИПОЛЬНОЕ ИНДУКТИВНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ  
И РАДИОВОЛНОВОЕ ПРОСВЕЧИВАНИЕ

Методы дипольного индуктивного профилирования (ДИП) и радиоволнового просвечивания (РВП) относятся к группе методов электроразведки, использующих переменные поля. При этом ДИП является низкочастотным, а РВП - высокочастотным методом. Поскольку ДИП и РВП наиболее чувствительны к проводящим объектам, то основной областью их применения является решение рудных задач.

Основные понятия теории гармонического электро-  
магнитного поля

**Гармоническим электромагнитным полем** называют такое поле, характеристики которого меняются во времени по синусоидальному закону. При его рассмотрении применяется **символический метод**, заключающийся в представлении характеристик поля в следующем виде :

$$\vec{E}(t) = \text{Re}(\vec{E} \cdot e^{-i\omega t}), \quad \vec{H}(t) = \text{Re}(\vec{H} \cdot e^{-i\omega t}).$$

Здесь  $\vec{E}(t)$  и  $\vec{H}(t)$  - мгновенные значения напряженностей электрического и магнитного полей,  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  - их не зависящие от времени комплексные амплитуды,  $\omega$  - круговая частота колебаний,  $t$  - время. Такое представление позволяет упростить уравнения поля, сводя дифференцирование по времени к операции умножения. Гармонические поля непосредственно

применяются во многих методах электроразведки (в том числе в ДИП и в РВП). Кроме того, любое меняющееся во времени поле может быть выражено через гармонические составляющие с помощью преобразования Фурье. Ниже мы будем описывать поле в терминах комплексных амплитуд  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .

Гармоническое электромагнитное поле на участках, где среда однородна, удовлетворяет уравнениям Гельмгольца :

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} - k^2 \vec{E} = 0, \\ \Delta \vec{H} - k^2 \vec{H} = 0, \end{cases}$$

где  $k$  - **волновое число**, причем

$$k = \sqrt{-(i \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma + \omega^2 \cdot \mu \cdot \varepsilon)},$$

где  $\sigma$  - проводимость,  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость,  $\mu$  - магнитная проницаемость среды. Магнитная проницаемость входит в оба стоящих под корнем слагаемых, в то время как проводимость входит лишь в слагаемое, пропорциональное частоте, а диэлектрическая проницаемость - в слагаемое, пропорциональное квадрату частоты. В электроразведке магнитными свойствами пород обычно пренебрегают, поэтому в дальнейшем мы будем считать магнитную проницаемость  $\mu$  равной магнитной проницаемости вакуума  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ . Поскольку квадратный корень из комплексного числа - двузначная функция, то для определенности полученных выражений, в которые входит  $k$ , нужно выбрать одно из значений корня. Мы будем брать то значение волнового числа, действительная часть которого положительна (рис. 1).

Характер распространения электромагнитного поля существенно зависит от соотношения **токов проводимости** и **токов смещения**. Плотности токов проводимости и смещения связаны с электрическим полем следующими соотношениями :

$$\vec{j}^{IP} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad \vec{j}^{CM} = -i \cdot \omega \cdot \varepsilon \cdot \vec{E}.$$

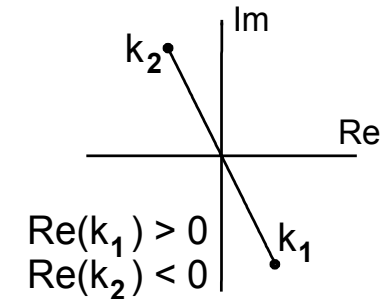


Рис. 1. К вопросу о выборе  $k$ .

Соотношение токов проводимости и токов смещения зависит только от круговой частоты и электрических свойств среды :

$$\left| \vec{j}^{PP} \right| / \left| \vec{j}^{CM} \right| = \sigma / (\omega \cdot \varepsilon).$$

В **волновом приближении**, т.е. при низкой проводимости (высоком удельном сопротивлении) и высокой частоте преобладают токи смещения. В этом случае волновое число  $k = \sqrt{-\omega^2 \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon}$ . Поле распространяется как волна, имеющая скорость  $v = 1 / \sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon}$  и длину  $\lambda = 2\pi \cdot v / \omega = 2\pi / \sqrt{\omega^2 \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon}$ . Модуль волнового числа  $|k| = 2\pi / \lambda$  может рассматриваться как пространственная частота.

В **квазистационарном приближении**, т.е. при высокой проводимости (низком удельном сопротивлении) и низкой частоте преобладают токи проводимости. При этом  $k = \sqrt{-i \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot \sigma}$ . Распространение поля имеет диффузионный характер и электромагнитной волны в физическом смысле (как объекта, существующего независимо от источника за счет внутренних энергетических преобразований) нет. Колебательный процесс существует за счет смены знака тока в источнике. Однако термины «волна», «длина волны» применяются и в этом случае, причем длина волны  $\lambda = 2\pi / \text{Im}(k) = 2\pi\sqrt{2} / |k|$ . Величина  $h_\delta = 1 / \text{Re}(k) = \sqrt{2} / |k| = \lambda / (2\pi)$  называется **толщиной скин-слоя**. Толщина скин-слоя характеризует глубину проникновения квазистационарного поля в среду (в Землю) и численно равна глубине, на которой поле затухает в  $e$  раз.

При искусственном возбуждении электромагнитного поля его характер в основном определяется величиной  $|kr|$ , где  $r$  - расстояние до источника поля. Так, если  $|kr| \gg 1$  (высокая частота и проводимость среды, большое расстояние до источника) говорят о **дальней зоне**, а если  $|kr| \ll 1$  - о **ближней зоне**.

## Методика и основы теории ДИП

Установка для проведения работ методом ДИП (рис. 2) включает две петли (рамки) диаметром около 1 метра, расположенные на расстоянии  $r$  (обычно 5 - 500 метров) друг от друга. Генераторная петля подключается к генератору (Г), вырабатывающему ток на фиксированной частоте в диапазоне от сотен Гц до сотен КГц, а измерительная - к измерителю (И), настроенному на частоту генератора. Как и в большинстве других методов профилирования, в ДИП геометрия установки (в данном случае расстояние  $r$ ) остается неизменной на протяжении всех измерений. Установка ориентируется вдоль профиля наблюдений и перемещается по нему с шагом, в несколько раз меньшим расстояния  $r$ . Точка записи (к которой относят результаты наблюдения) находится в центре установки (посередине между петлями).

Генераторная петля размещается в горизонтальной плоскости (как на рис. 2). На расстояниях, в несколько раз превышающих диаметр петли, создаваемое ей поле эквивалентно полю вертикального магнитного диполя. Измерительная петля может располагаться как в горизонтальной (как на рис. 2), так и в вертикальной плоскости, перпендикулярной  $r$ . Поскольку петля является датчиком той компоненты магнитного поля, которая ортогональна плоскости петли, то в первом случае измеряется

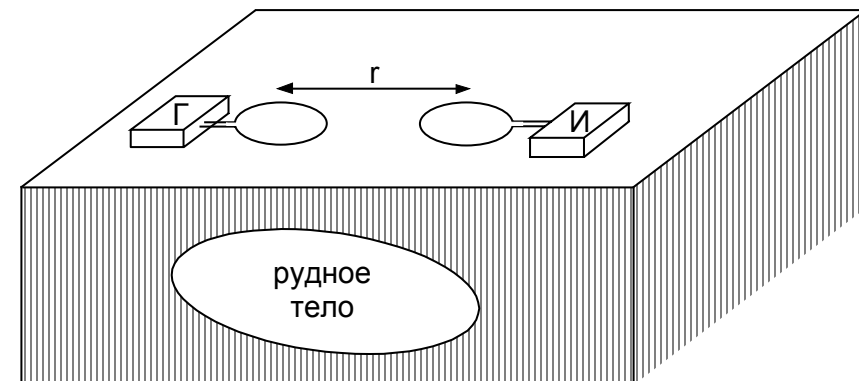


Рис. 2. Схема установки ДИП.

компонента  $H_z$ , а во втором -  $H_r$  (начало цилиндрической системы координат находится в центре питающей петли, ось  $z$  направлена вниз, ось  $r$  - по поверхности Земли). Интенсивность создаваемого генераторной петлей поля и коэффициент, связывающий напряженность поля с разностью потенциалов в измерительной петле, прямо пропорциональны числу витков в генераторной и измерительной петлях соответственно. Поэтому петли обычно делают многовитковыми.

При рассмотрении теории низкочастотных методов электроразведки (в том числе ДИП) используется квазистационарное приближение. В основе теории ДИП лежит решение прямой задачи о магнитном поле гармонического вертикального магнитного диполя на поверхности однородного полупространства. Решение этой задачи громоздко, поэтому приведем лишь его результат. Магнитное поле имеет две компоненты (вертикальную и радиальную), которые записываются в виде

$$H_z = -\frac{M}{4\pi r^3} h_z, \quad H_r = -\frac{M}{4\pi r^3} h_r,$$

где  $h_z$  и  $h_r$  - магнитные числа, имеющие в данном случае вид

$$\begin{cases} h_z = \frac{2}{k^2 r^2} \left[ 9 - (9 + 9kr + 4k^2 r^2 + k^3 r^3) e^{-kr} \right] \\ h_r = k^2 r^2 (I_1 K_1 - I_2 K_2). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $M$  - момент питающего диполя ( $M = S \cdot N \cdot I$ , где  $S$  - площадь питающей петли,  $N$  - число витков в этой петле,  $I$  - сила вырабатываемого тока),  $k$  - волновое число полупространства,  $I_1, I_2, K_1$  и  $K_2$  - модифицированные функции Бесселя первого и второго рода от комплексного аргумента  $kr/2$ .

Очевидно, что магнитные числа  $h_z$  и  $h_r$  являются функциями параметра  $kr$ . Результаты расчетов по формулам (1) в виде графиков модулей магнитных чисел показаны на рис. 3.

В ближней зоне ( $|kr| \ll 1$ ) структура рассматриваемого поля совпадает со структурой поля постоянного магнитного ди-

поля. При этом  $h_z$  по своей абсолютной величине значительно превосходит  $h_r$ . Формулы (1) для асимптотического случая ближней зоны значительно упрощаются :

$$\begin{cases} h_z \approx 1, \\ h_r \approx -\frac{k^2 r^2}{4}. \end{cases} \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что в ближней зоне  $h_z$  перестает зависеть от волнового числа полупространства  $k$ , а значит и от проводимости этого полупространства.

По мере перехода в дальнюю зону ( $|kr| \gg 1$ ) картина меняется и  $h_r$  начинает превышать  $h_z$ . При этом формулы (1) принимают вид

$$\begin{cases} h_z \approx \frac{18}{k^2 r^2}, \\ h_r \approx \frac{6}{kr}. \end{cases} \quad (3)$$

Теперь оба магнитных числа через  $k$  зависят от проводимости полупространства.

При проведении работ методом ДИП частоту и расстояние  $r$  выбирают такими, чтобы над безрудным участком выполнялось условие ближней, а над рудным телом (за счет его высо-

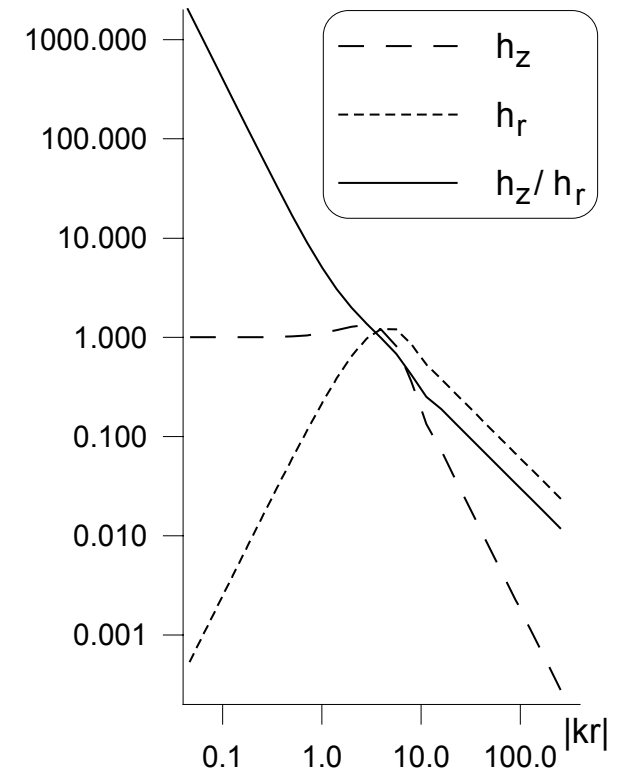


Рис. 3. Зависимость  $h_z, h_r, h_z/h_r$  от  $|kr|$ .

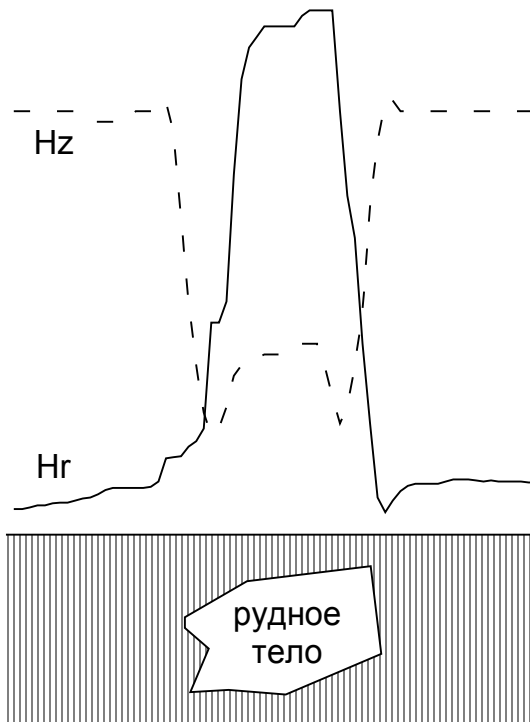


Рис. 4. Графики  $H_z$  и  $H_r$  по профилю, пересекающему рудное тело.

кой проводимости и, следовательно, большого значения  $k$ ) - условие дальней зоны. В этом случае по изменениям  $H_r$  и  $H_z$  может проводиться картирование рудных тел. Действительно, если, например, вдали от рудного тела  $|kr| = 0.1$ , а над рудным телом  $|kr| = 100$ , то (см. рис. 3) над безрудным участком компонента  $H_z$  будет больше  $H_r$ , в то время как над рудным телом будет наблюдаться обратная ситуация (рис. 4).

Совместное рассмотрение компонент

$H_r$  и  $H_z$  повышает эффективность исследований, поскольку  $H_r$  в отдельности может принимать одно и то же значение для двух разных  $|kr|$  (рис. 3), а  $H_z$  в отдельности не зависит от разреза в области малых  $|kr|$  (рис. 3). Поэтому удобным параметром является отношение  $H_z / H_r = h_z / h_r$ , являющееся убывающей функцией  $|kr|$  (рис. 3). Это отношение позволяет также однозначно определить так называемое приведенное сопротивление  $\tilde{\rho}$ . Действительно, с помощью графика (рис. 3) каждому измеренному значению  $H_z / H_r$  может быть сопоставлено со-

ответствующее  $|kr|$ , которое затем пересчитывается в приведенное сопротивление по формуле  $\tilde{\rho} = \omega \mu_0 r^2 / |kr|^2$ . Приведенное сопротивление имеет тот же смысл, что и кажущееся сопротивление в других методах электроразведки. В частности, над однородным полупространством  $\tilde{\rho}$  равно истинному сопротивлению этого полупространства.

Необходимо отметить, что выбор частоты и расстояния  $r$  определяет также глубинность исследований. Глубинность растет с ростом  $r$  (не превышает  $r/2$ ) и уменьшается с ростом частоты (не превышает  $h_s$ ). Точнее говоря, она равна меньшему из этих двух чисел ( $r/2$  и  $h_s$ ).

Метод ДИП имеет два отличия от другого распространенного метода профилирования - метода электропрофилирования на постоянном токе (ЭП), которые при определенных условиях превращаются в важные преимущества:

1. Метод ДИП хорошо чувствует проводящие области и почти «не замечает» изменения сопротивления вмещающей высокоомной среды, в то время как метод ЭП почти одинаково чувствителен к проводящим и к непроводящим областям. Благодаря этому при поиске и разведке хорошо проводящих рудных тел графики ДИП обычно более просты и наглядны, чем графики ЭП.

2. Метод ДИП не требует заземлений, что важно при проведении работ в условиях, когда приповерхностный слой сложен скальными или мерзлыми породами. Кроме того, это позволяет проводить съемку в движении (с автомобиля, самолета).

### Эллипс поляризации магнитного поля

Часто в методе ДИП рассматривают элементы эллипса поляризации магнитного поля. Действительно, в случае, если свойства среды не меняются вкост направления  $r$ , поле гармонического вертикального магнитного диполя имеет лишь две компоненты, параллельные осям  $r$  и  $z$ . Благодаря этому появ-

ляется возможность описать магнитное поле в любой точке с помощью так называемого эллипса поляризации.

Пусть значения в момент времени  $t$  компонент напряженности переменного магнитного поля  $H_r(t)$  и  $H_z(t)$  выражаются через соответствующие амплитуды колебаний  $H_r$  и  $H_z$  по следующим формулам :

$$\begin{cases} H_r(t) = H_r \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_r) = H_r \cdot \cos(\varphi + \varphi_r), \\ H_z(t) = H_z \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_z) = H_z \cdot \cos(\varphi + \varphi_z), \end{cases} \quad (4)$$

где  $\varphi = \omega \cdot t$  - фаза колебаний, а  $\varphi_r$  и  $\varphi_z$  - начальные значения фазы колебаний по осям  $r$  и  $z$ . За начало отсчета фаз обычно принимается фаза колебаний первичного поля, совпадающая с фазой тока в источнике. Выражения (4) представляют собой параметрическое (с параметром  $\varphi$ ) уравнение эллипса, называемого эллипсом поляризации.

В любой момент времени  $t$ , определяемый фазой  $\varphi = \omega \cdot t = const$ ,

мгновенные значения напряженности поля  $H_r(t)$  и  $H_z(t)$  можно рассматривать как пространственные координаты «мгновенного» вектора  $\vec{H}(t)$ , вращающегося с частотой  $\omega$  и описывающего эллипс поляризации (рис. 5):

$$\vec{H}(t) = H_r(t) \cdot \vec{I}_r + H_z(t) \cdot \vec{I}_z,$$

где  $\vec{I}_r$  и  $\vec{I}_z$  - единичные векторы, направленные по координатными осями (орты).

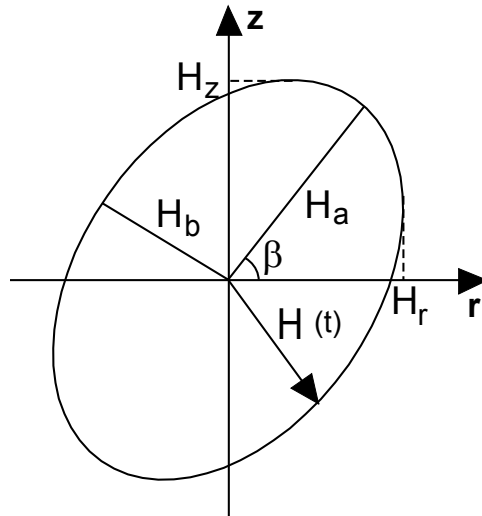


Рис. 5. Эллипс поляризации магнитного поля.

Эллипс поляризации может быть однозначно задан либо с помощью параметров  $H_r$ ,  $H_z$  и  $\varphi_{rz} = \varphi_z - \varphi_r$  (амплитуд компонент поля по направлениям координатных осей и разности фаз этих компонент поля), либо с помощью параметров  $H_a$ ,  $H_b$  и  $\beta$  (полуосей эллипса и угла наклона большей полуоси), называемых элементами эллипса поляризации (рис. 5). Причем одни параметры связаны с другими следующими соотношениями :

$$\begin{cases} H_a = (\sqrt{H_r^2 + H_z^2 + 2H_r H_z \sin \varphi_{rz}} + \\ + \sqrt{H_r^2 + H_z^2 - 2H_r H_z \sin \varphi_{rz}}) / 2, \\ H_b = (\sqrt{H_r^2 + H_z^2 + 2H_r H_z \sin \varphi_{rz}} - \\ - \sqrt{H_r^2 + H_z^2 - 2H_r H_z \sin \varphi_{rz}}) / 2, \\ \operatorname{tg} 2\beta = 2 \frac{H_r}{H_z} \cos \varphi_{rz} / (1 - \frac{H_z^2}{H_r^2}), \\ \begin{cases} H_r^2 = H_a^2 \cos^2 \beta + H_b^2 \sin^2 \beta, \\ H_z^2 = H_a^2 \sin^2 \beta + H_b^2 \cos^2 \beta, \\ \operatorname{tg} \varphi_{rz} = \frac{H_b}{H_a} (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta) / (1 - \frac{H_b^2}{H_a^2}). \end{cases} \end{cases}$$

Для того, чтобы измерить  $H_a$ ,  $H_b$  и  $\beta$ , приемную рамку, нормаль к которой всегда ориентирована в плоскости, содержащей оси  $z$  и  $r$ , вращают вокруг горизонтальной оси. При этом находят такое положение рамки, которое отвечает максимальному уровню сигнала. В этом случае угол между нормалью

к рамке и горизонталью будет равен  $\beta$ , а сам сигнал даст  $H_a$ . После этого рамку поворачивают на  $90^\circ$  и измеряют  $H_b$ .

Зачастую рассматриваемым способом определяют лишь один параметр  $\beta$ , поскольку он позволяет обнаруживать и оконтуривать рудные тела. Действительно, при  $H_r \gg H_z$  (в дальней зоне)  $\beta = 0^\circ$ , а при  $H_r \ll H_z$  (в ближней зоне)  $\beta = 90^\circ$ . При переходе из одной зоны в другую  $\beta$  плавно меняется (рис. 6). Таким образом, рудным участкам будут отвечать малые, а безрудным - большие значения  $\beta$ . В этом

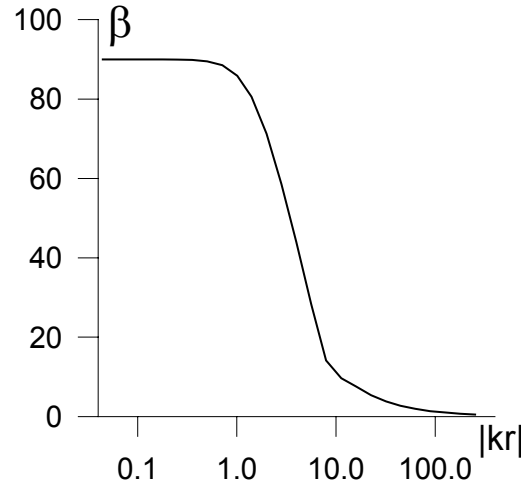


Рис. 6. Зависимость угла  $\beta$  от  $|kr|$ .

смысле  $\beta$  эквивалентен отношению  $H_z / H_r$ . В частности, он может аналогичным образом быть пересчитан в приведенное сопротивление  $\tilde{\rho}$ .

Измерение  $\beta$  имеет ряд преимуществ в сравнении с измерением компонент  $H_z$  и  $H_r$ . В первую очередь методика работ с измерением  $\beta$  менее требовательна к аппаратуре - становятся не страшны нестабильность генератора и нелинейность измерителя, ведь измеряются не величины компонент (одна из которых может существенно превышать другую), а параметр, определяющая их соотношение. Кроме того, при этом нужно делать одно измерение вместо двух.

### Методика и основы теории РВП

Метод РВП относится к подземным методам электроразведки и может применяться для изучения пространства между скважинами (или шахтами), а также между скважиной (или шахтой) и поверхностью Земли. В РВП используют высокие частоты (0.15 - 40 МГц), на которых длина волны существенно меньше расстояния от источника до приемника и размеров изучаемых тел. Благодаря этому для описания процесса распространения электромагнитных волн становится возможным применение законов геометрической оптики. Типичным примером применения РВП является поиск и оконтуривание рудных тел, расположенных между скважинами. В одной скважине размещается генераторная, а в другой - измерительная антенна. Поскольку вмещающая среда обычно обладает высоким сопротивлением (100 - 10000 Ом\*м), то волна распространяется по ней с небольшим затуханием. Если же волна проходит через проводящее рудное тело, то ее амплитуда сильно уменьшается, вследствие чего за скважиной образуется область тени (низкой интенсивности поля).

При использовании веерной схемы наблюдений (рис. 7) генераторная антенна занимает фиксированное положение, а измерительная - перемещается по скважине. При этом участкам, на которых луч, направленный от генераторной антенны к измерительной, пересекает рудное тело, будут отвечать минимумы интенсивности сигнала. Для повышения детальности исследований измерения часто проводят для нескольких положений генераторной антенны ( $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  на рис. 7).

При использовании параллельной схемы наблюдений (рис. 8) генераторная и измерительная антенны синхронно перемещаются таким образом, чтобы луч был все время параллелен поверхности Земли. Такая схема на-

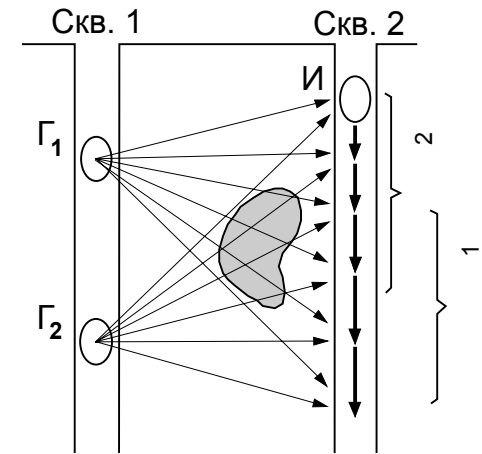


Рис. 7. Веерная схема наблюдений.

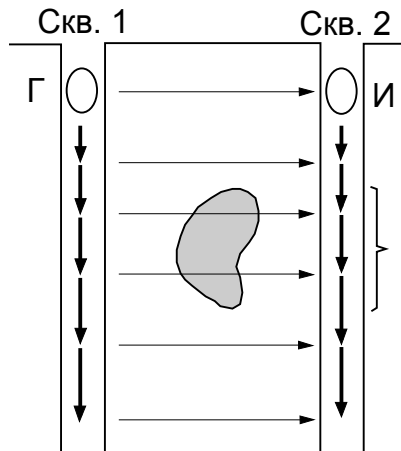


Рис. 8. Параллельная схема наблюдений.

блюдений менее информативна, но более проста и производительна, чем веерная.

Для создания и измерения поля в методе РВП можно использовать как электрические (разомкнутые отрезки провода), так и магнитные (замкнутые петли и рамки) антенны. Таким образом, как и в методе ДИП, в РВП возбуждение и измерение поля происходит бесконтактным способом.

На частотах, используемых в РВП, преобладают (или, по крайней мере, заметно сказываются) токи смещения.

На характер и структуру поля начинает влиять не только проводимость  $\sigma$ , но и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$ , и необходимо рассматривать полное выражение для волнового числа.

Поскольку генераторная антенна в методе РВП располагается не на поверхности Земли, а в скважине, то в основе теории РВП лежит решение прямой задачи о поле высокочастотного гармонического диполя в однородной среде, а не над однородным полупространством. И хотя в качестве питающего диполя чаще используется электрический, а не магнитный, мы приведем лишь решение задачи о поле магнитного диполя в однородной среде, поскольку именно этот способ возбуждения поля применяется в данной лабораторной работе.

Если питающий магнитный диполь находится в начале системы координат, а его момент ориентирован вдоль оси X, т.е. питающая петля принадлежит плоскости YZ (рис. 9), то компонента магнитного поля  $H_x$  в произвольной точке, расположенной на оси X, записывается в виде :

$$H_x = \frac{M}{2\pi r^3} h_x, \text{ где } h_x = (1 + kr)e^{-kr}.$$

В приближении ближней зоны ( $|kr| \ll 1$ ) можно считать, что

$$h_x = 1.$$

Аналогично, асимптотика дальней зоны ( $|kr| \gg 1$ ) дает

$$h_x = kr e^{-kr}.$$

Результаты расчета модуля магнитного числа  $h_x$  приведены на рис. 10. В ближней зоне  $h_x$  принимает постоянное значение, не зависящее от свойств среды. По мере перехода в дальнюю зону  $h_x$ , во-первых, начинает зависеть от проводимости среды, и, во-вторых, резко убывает.

Поскольку расстояния между скважинами составляют примерно 50 - 800 метров, а частоты, используемые в РВП, достаточно высоки, то поле обычно измеряется в дальней зоне. Причем, поскольку величина  $h_x$ , а следовательно и  $H_x$ , в дальней зоне резко убывает с ростом  $|kr|$  (рис. 10), то увеличение проводимости среды, непосредственно вызывающее рост  $|kr|$ , приводит в конечном итоге к убыванию  $H_x$ . Это и объясняет образование тени за рудным телом (рис. 7, 8).

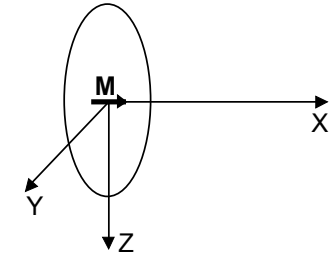


Рис. 9. К вопросу о поле диполя.

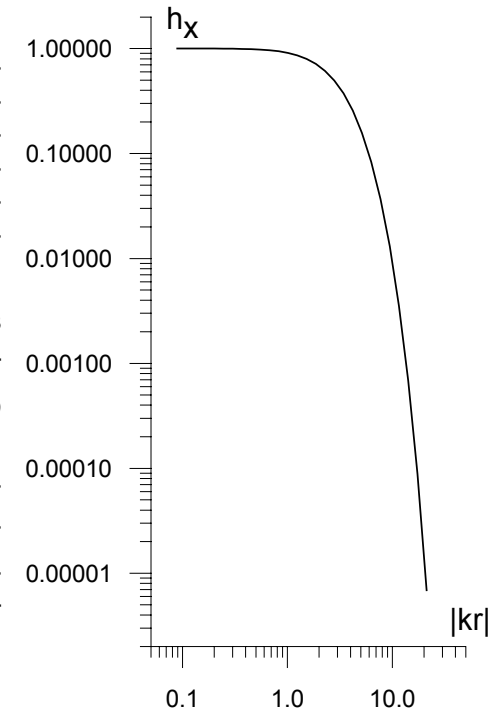


Рис. 10. Зависимость  $h_x$  от  $|kr|$ .

Помимо поиска и определения геометрии рудных тел, метод РВП применяется для обнаружения обводненных и разрушенных пород между горными выработками, опасных при проходке и эксплуатации выработок.

Основным недостатком метода РВП является то, что его применение возможно лишь в районах с высоким сопротивлением вмещающих пород. В случае их низкого сопротивления электромагнитные волны сильно затухают и, следовательно, распространяются на очень небольшие расстояния.

### Аппаратура ДЭМП-СЧ

Генератор и измеритель ДЭМП-СЧ предназначены для работы на частотах 20, 40, 80, 160, 320, 640 и 1280 КГц. В лабораторной работе используется частота 160 КГц.

Генератор ДЭМП-СЧ (рис. 11) состоит из 5 основных узлов: кварцевого генератора, схемы запуска, блока триггерных делителей частоты, предварительного широкополосного усилителя и усилителя мощности. Кварцевый генератор вырабатывает сигнал опорной частоты 2560 КГц. С его выхода напряжение поступает на схему запуска, которая усиливает сигналы и формирует специальные импульсы, запускающие триггерные делители. На выходе триггерных делителей получается сигнал одной из рабочих частот, который усиливается предварительным широкополосным усилителем. К выходу усилителя мощности подключается генераторный диполь. Генератор ДЭМП-СЧ имеет два значения выходной мощности - 1 Вт при работе от внутренних батарей или 20 Вт при работе от внешнего аккумулятора.

Измеритель ДЭМП-СЧ (рис. 12) предназначен для регистрации сигналов, поступающих с приемного диполя, и построен по схеме супергетеродина с кварцевой стабилизацией частоты. Он состоит из 6 блоков: предварительного усилителя рабочей частоты, внутреннего генератора, смесителя, усилителя промежуточной частоты, детекторов и индикатора. Измеряемый сигнал, усиленный предварительным усилителем, поступает в смеситель. Второй сигнал (частотой 19.84375, 39.6875, 79.375, 158.75, 317.5, 635 или 1270 КГц) подается в смеситель с внут-

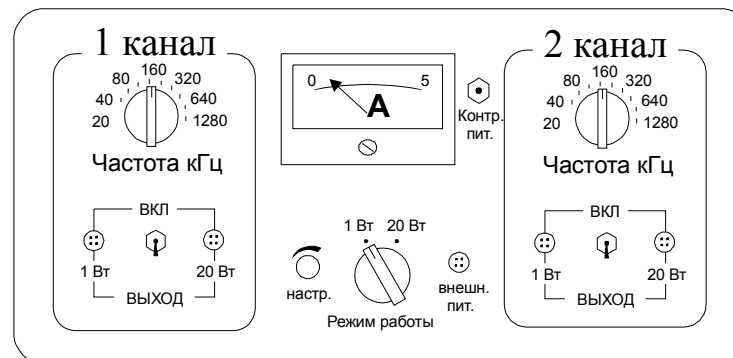


Рис. 11. Генератор ДЭМП-СЧ.

ренного генератора, построенного по аналогии с основной частью генератора ДЭМП-СЧ. В результате сложения сигналов рабочей частоты и соответствующей (близкой) частоты внутреннего генератора выделяется разностная промежуточная частота. Напряжение промежуточной частоты усиливается в усилителе промежуточной частоты, детектируется и подается на стрелочный индикатор.

### Описание лабораторной работы

Задачей лабораторной работы является ознакомление с методами ДИП и РВП, а также с аппаратурой ДЭМП-СЧ.

Методом ДИП необходимо определить положение границ имитирующей рудное тело плоской металлической пластины.

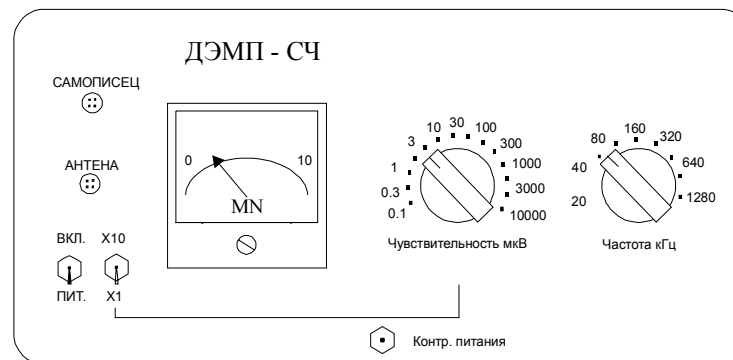


Рис. 12. Измеритель ДЭМП-СЧ.



Для решения задачи требуется провести измерения компонент  $H_z$  и  $H_r$  по нескольким параллельным профилям. Установка ДИП состоит из генераторной и измерительной петель, причем генераторная петля расположена горизонтально, а измерительная петля может быть зафиксирована как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях. Последовательность операций при выполнении этой части работы такова :

1. Убедиться, что измерительная петля находится в горизонтальном положении, а генератор и измеритель ДЭМП-СЧ настроены на частоту 160 КГц. Подключить генераторную петлю к генератору, а измерительную - к измерителю, после чего включить генератор и измеритель.
2. Провести измерения  $H_z$  по двум-трем профилям.
3. Попросить преподавателя перевести измерительную петлю в вертикальное положение.
4. Провести измерения  $H_r$  по этим же профилям.
5. Выключить генератор и измеритель.
6. Ввести данные в компьютер и построить графики зависимости компонент  $H_z$  и  $H_r$  от положения точки наблюдения.

Аналогичную задачу (определения границ рудного тела) необходимо решить и методом РВП. В этом случае металлическая пластина находится внутри узкого ящика, по разные стороны которого находятся две «скважины». В «скважинах» находятся генераторная и измерительная петли (антенны), расположенные в параллельных вертикальных плоскостях таким образом, что центры петель лежат на одной оси. При проведении измерений требуется использовать параллельную схему наблюдений, т.е. синхронно перемещать петли. При этом следует выполнить следующие операции :

1. Убедиться, что генераторная и измерительная петли находятся на первом пикете, а генератор и измеритель ДЭМП-СЧ настроены на частоту 160 КГц. Подключить генераторную петлю к генератору, а измерительную - к измерителю, после чего включить генератор и измеритель.

2. Провести измерения компоненты  $H_x$  на всех пикетах, одновременно перемещая генераторную и измерительную петли.
3. Выключить генератор и измеритель.
4. Ввести данные в компьютер и построить график зависимости компоненты  $H_x$  от положения точки наблюдения.

После выполнения лабораторной работы (в другой день, согласованный с преподавателем) требуется сдать задачу, т.е. объяснить полученные графики. Кроме того, непосредственно перед выполнением работы, а также при ее сдаче, нужно пройти собеседование по данной разработке.

### Вопросы к задаче.

1. Основные понятия теории электромагнитного поля (гармоническое поле, символический метод, волновое число, токи проводимости и смещения, волновое и квазистационарное приближения, толщина скин-слоя, дальняя и ближняя зоны).
2. Методика и основы теории ДИП (схема и параметры установки, методика работ, магнитное поле вертикального магнитного диполя над однородным полупространством, формы аномалий над рудными телами, отличия от ЭП, эллипс поляризации магнитного поля).
3. Методика и основы теории РВП (области применения, веерная и параллельная схемы наблюдения, магнитное поле магнитного диполя в однородной среде, характер аномалий и причины их образования).
4. Аппаратура ДЭМП-СЧ (устройство и принцип работы генератора и измерителя).
5. Анализ полученных в ходе работы результатов.