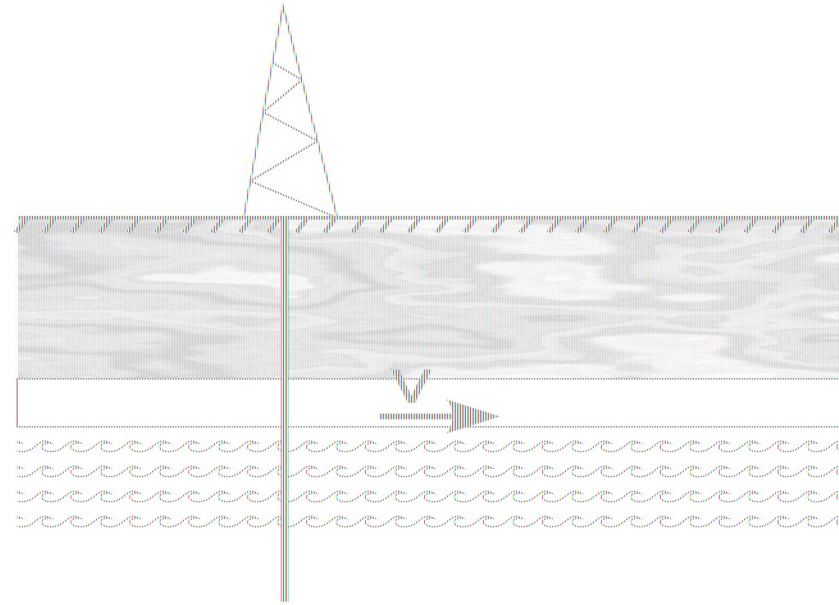
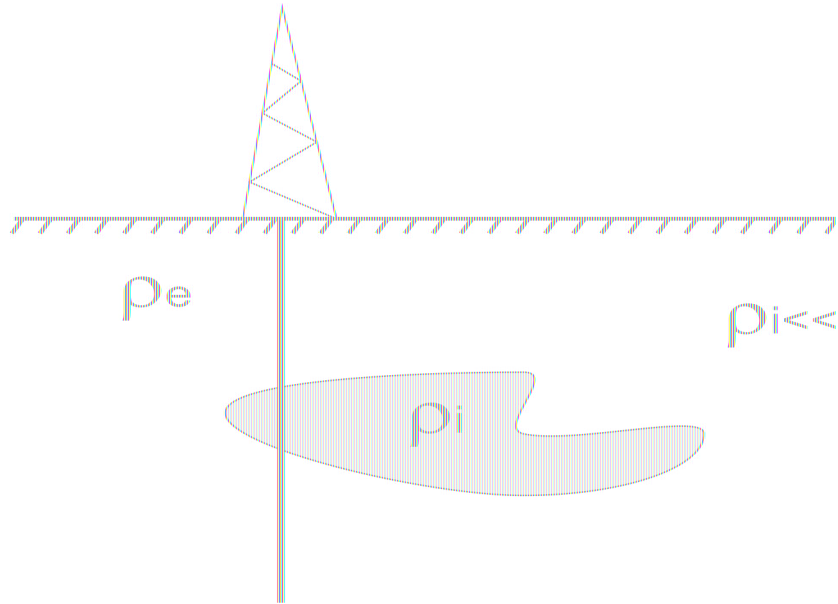
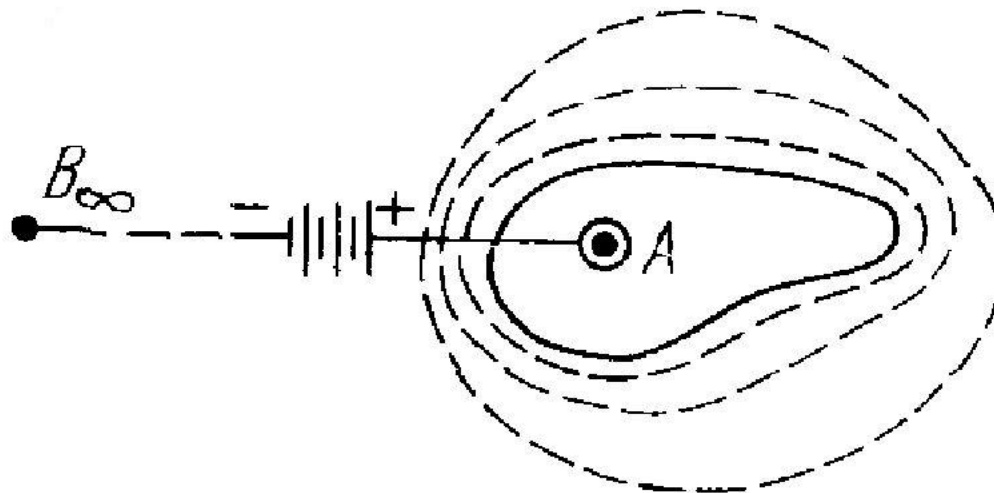
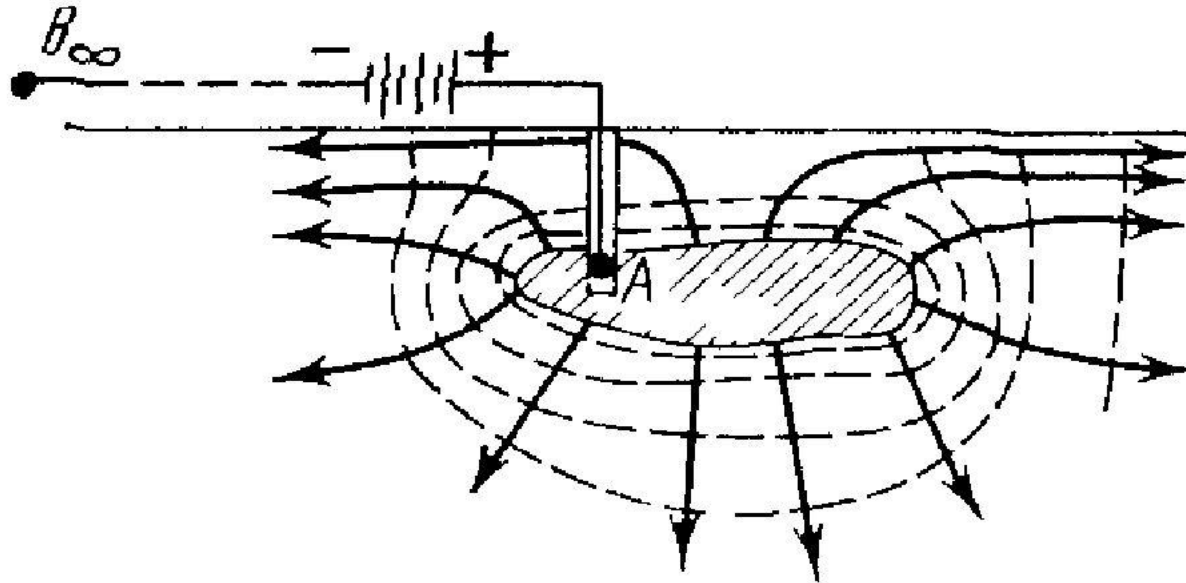


Метод Заряда



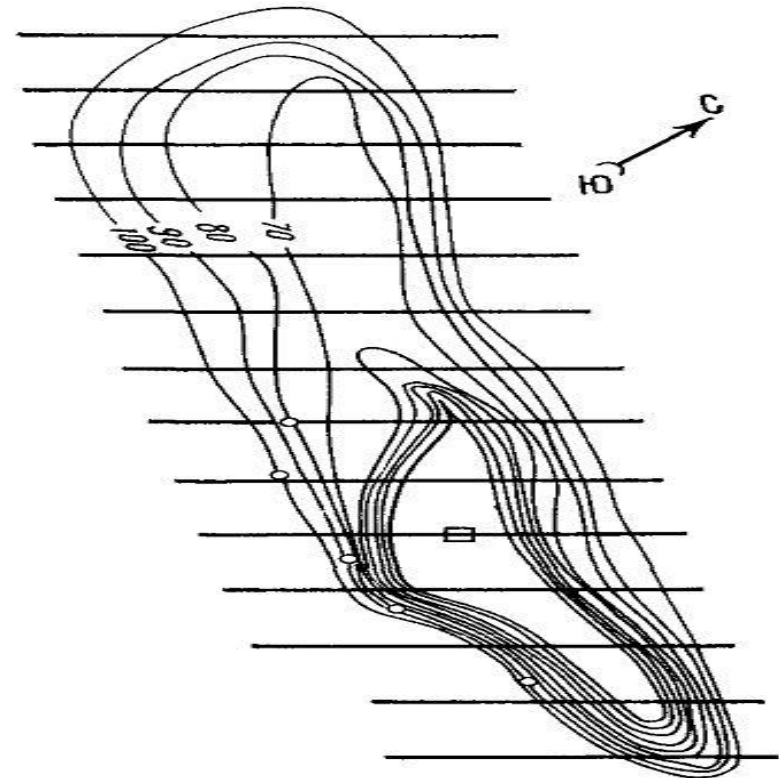
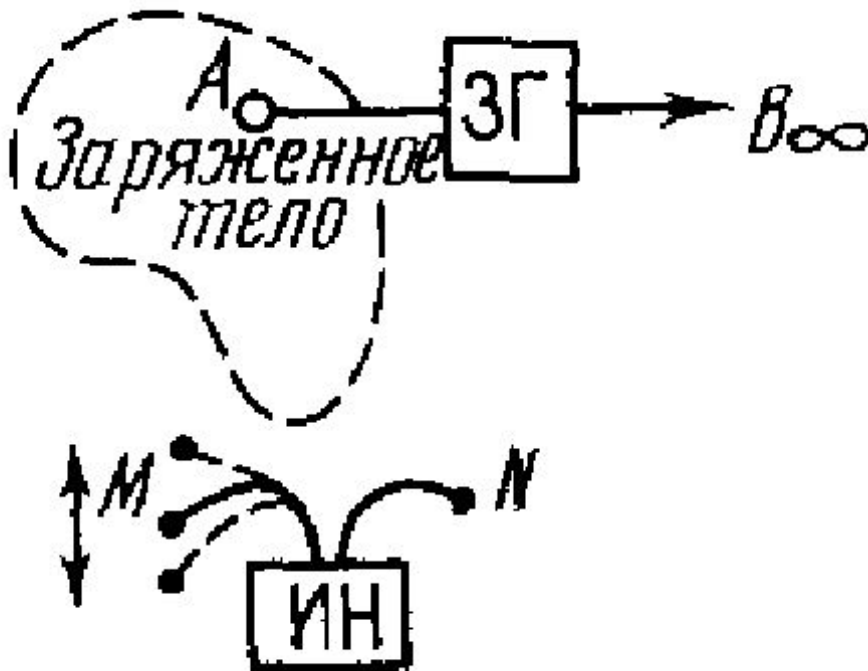
Метод заряженного тела



Методика работ

- Прослеживание эквипотенциальных линий
- Измерение электрического поля вдоль системы профилей
- Измерение элементов магнитного поля

Прослеживание эквипотенциальных линий



Измерение электрического поля вдоль системы профилей

Метод потенциала

Преимущества:

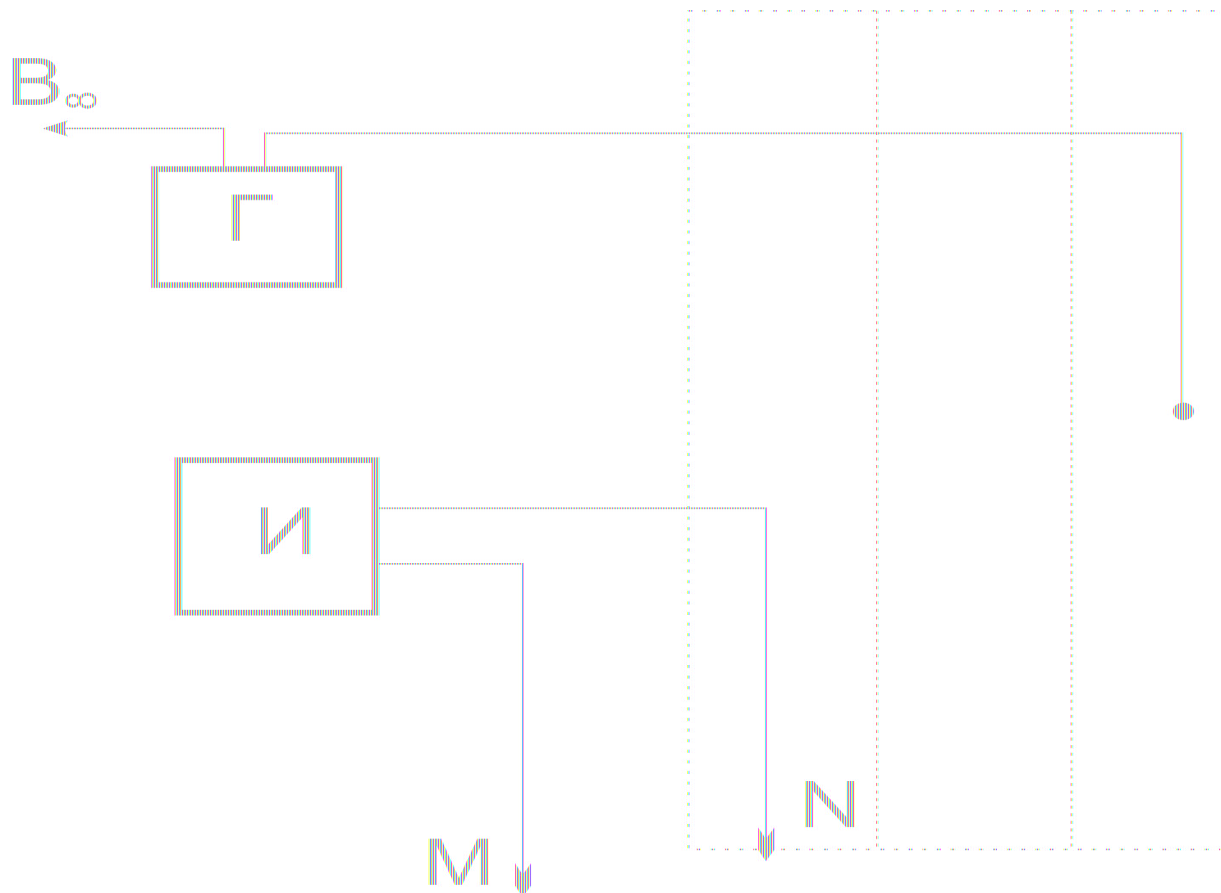
- 1) Скорость
- 2) Отсутствие постобработки

Недостатки:

- 1) Высокий уровень помех
- 2) Длинные приемные линии
- 3) Нет контроля ошибок

Пример журнала

ПР	ПК	U	Примечания



Метод градиента потенциала

Порядок работы:

- 1)Съемка контура
- 2)Профильная съемка

Преимущества:

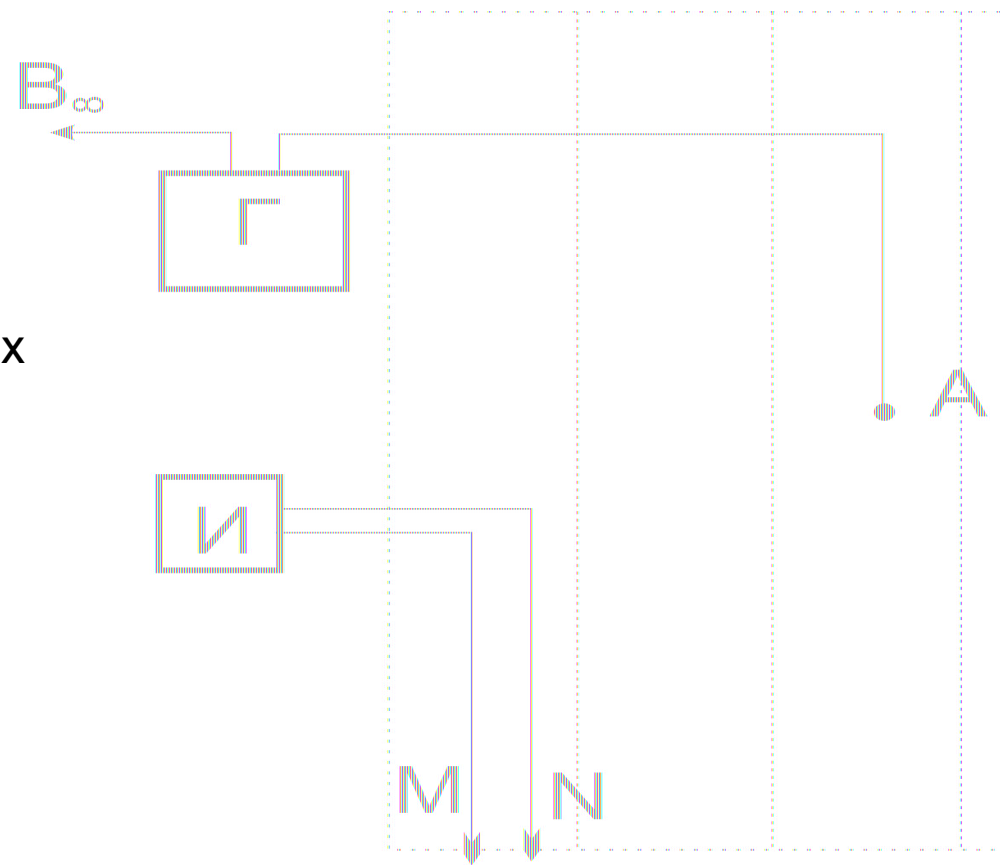
- 1)Короткие приемные линии
- 2)Малый уровень помех
- 3)Каждая точка участвует в 2-х замерах
- 4)Возможность повышения точности встречными измерениями
- 5)Возможность работы несколькими приборами

Недостатки:

- 1)Большой объем постобработки для построения карты

Пример журнала

Пр	Пк	ΔU	примечания
1	1		
1	2		
1	3		



Обработка результатов съемки ЗТ

1.Способ потенциала

Построение карт и графиков потенциала заряда

2.Способ градиента потенциала

а)Обработка контура

Т.к. поле потенциальное, то сумма ΔU по замкнутому контуру = 0
При обработке реальных данных $\Sigma \Delta U = \delta$ δ -невязка контура

$$\varepsilon_k = -\frac{\delta_k}{n_k} \quad \varepsilon_k - \text{поправка (расчитывается с точностью равной точности измерений), } n_k - \text{число измерений в контуре}$$

$$\Delta U_{\text{испр}} = \Delta U + \varepsilon_k$$

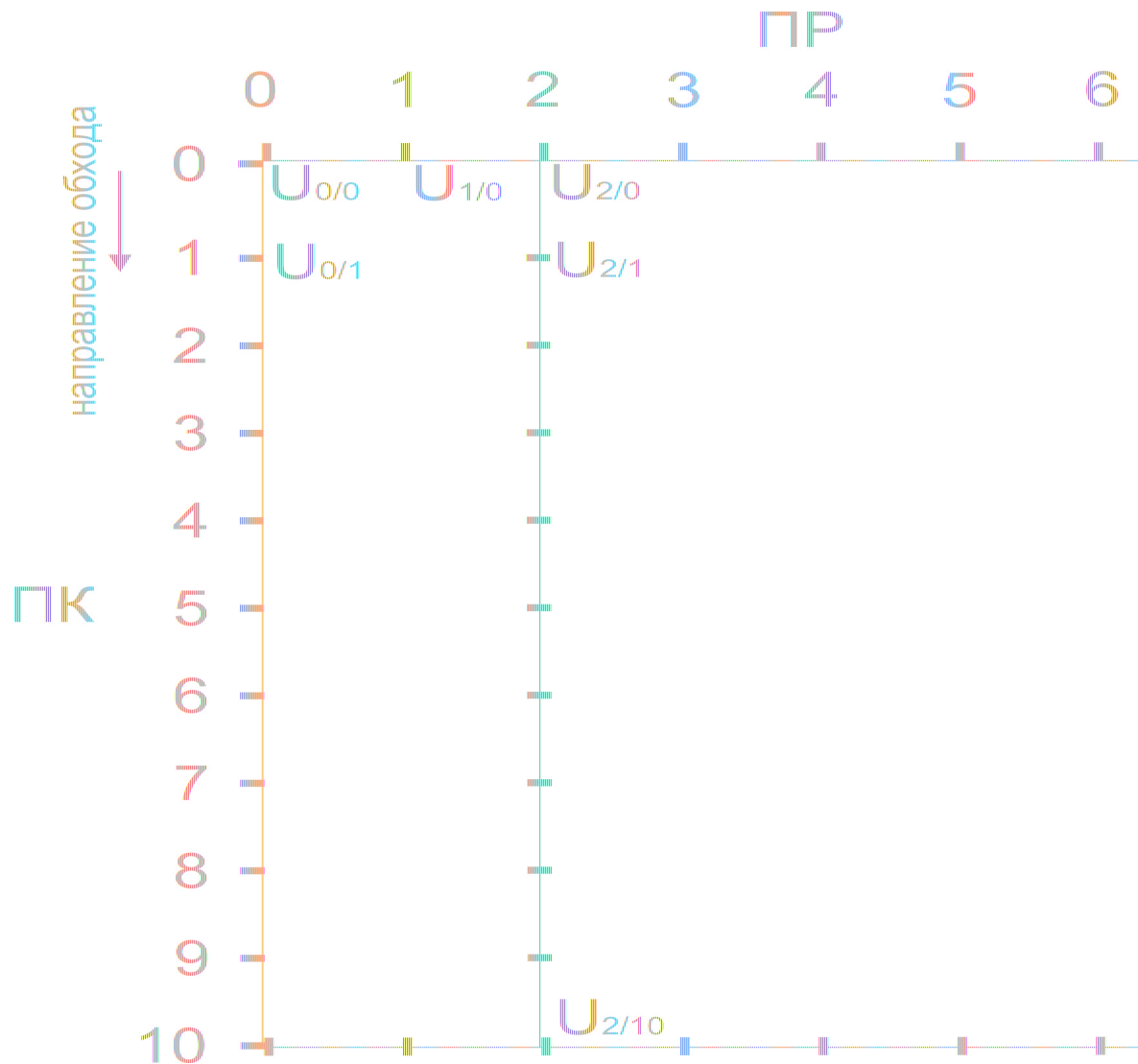
Проверка правильности внесения поправки $\Sigma \Delta U_{\text{испр}} = \delta_1$, $\delta_1 < \delta_k$ или $\delta_1 = 0$

Если $\delta_1 \neq 0$, то она разбрасывается на несколько самых больших значений $\Delta U_{\text{испр}}$

$U_{0/0} = 0$ (потенциал на 0-м пикете 0-го профиля)

$U_{0/1} = U_{0/0} + \Delta U_{\text{испр}0/1}$ (далее по всем точкам контура) Критерий

правильности: получение $U_{0/0} = 0$ при возврате в начало контура



б)Обработка планшета

Для любого профиля

$$U_{\text{нач}} + \sum \Delta U = U_{\text{кон}} \text{ или } U_{\text{нач}} + \sum \Delta U - U_{\text{кон}} = 0$$

В реальности

$$U_{\text{нач}} + \sum \Delta U - U_{\text{кон}} = \delta_{\text{пр}}$$

$$\varepsilon_{\text{пр}} = -\frac{\delta_{\text{пр}}}{n_{\text{пр}}}$$

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - поправка (расчитывается с точностью равной точности измерений), $n_{\text{пр}}$ - число измерений на профиле

$\Delta U_{\text{испр}} = \Delta U + \varepsilon_{\text{пр}}$ Проверка правильности внесения поправки $\sum \Delta U_{\text{испр}} = \delta_1$, $\delta_1 < \delta_{\text{пр}}$ или $\delta_1 = 0$ Если $\delta_1 \neq 0$, то она разбрасывается на несколько самых больших значений $\Delta U_{\text{испр}}$ $U_{2/1} = U_{2/0} + \Delta U_{\text{испр}20/21}$ (далее по всем точкам профиля)

Построение карты Заряда

Оценка точности измерений

Для способа потенциалов:

оценка производится по контрольным измерениям, составляющим не менее 5% от общего числа измерений
погрешность p рассчитывается по принятым в стат.обработке формулам

$$p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - U_{cp})^2}{n - 1}}$$

Для способа градиента потенциала:

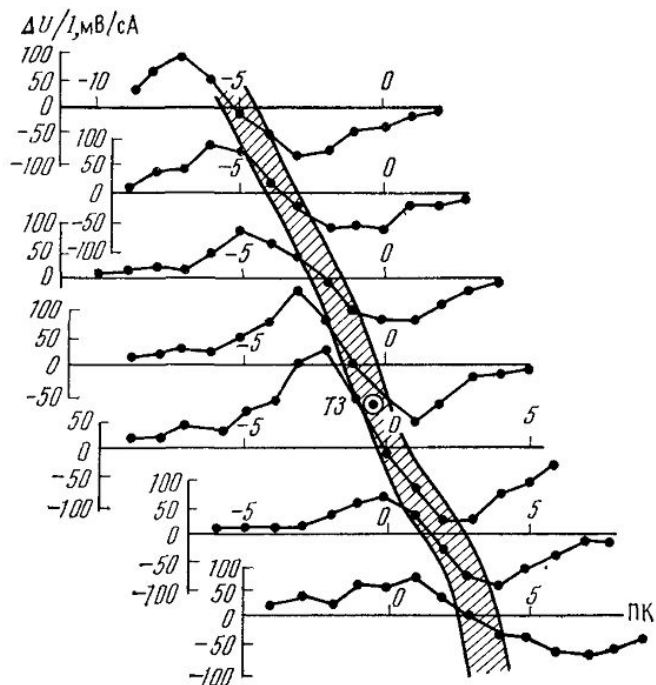
о качестве полевых измерений судят по величине погрешности p

$$p = |\delta_k| * 100 / \sum |\Delta U|$$

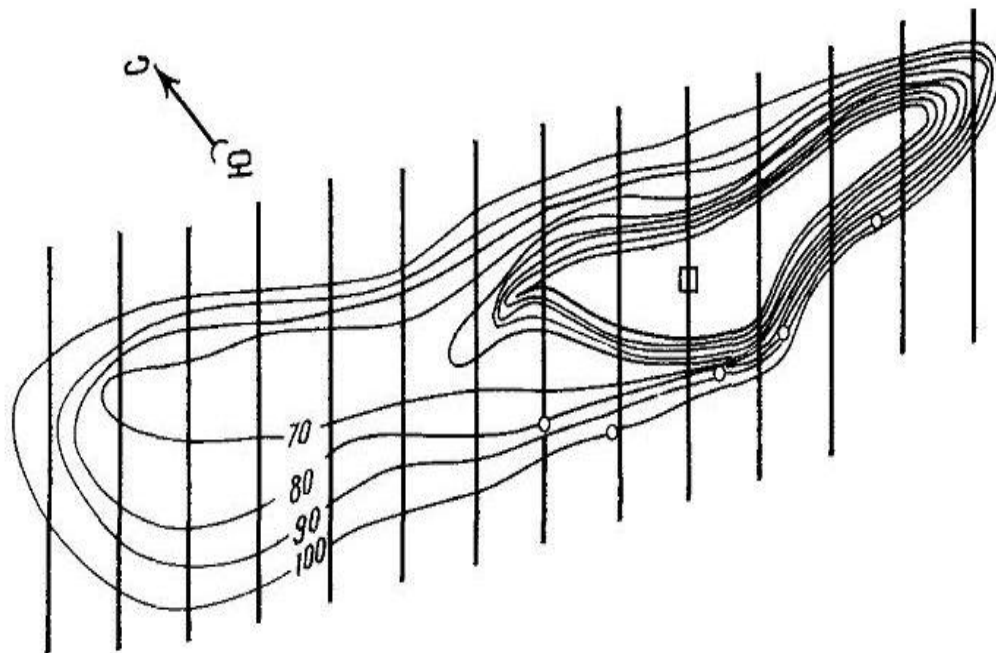
Шаг изолиний при построении карты выбирается равным 2,5-3 погрешности съемки

Представление результатов съемки

1) Карта графиков
градиента потенциала

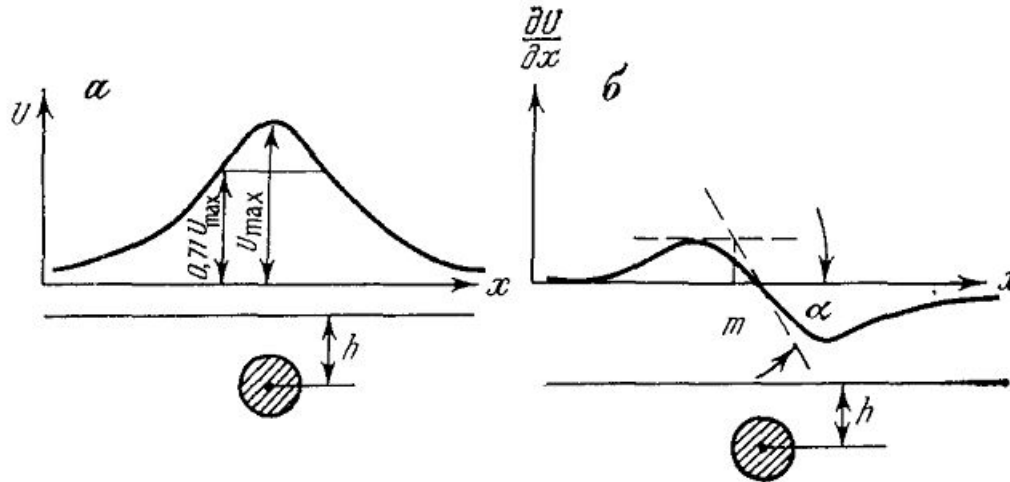


2) Карта потенциала заряженного тела



Интерпретация результатов съемки

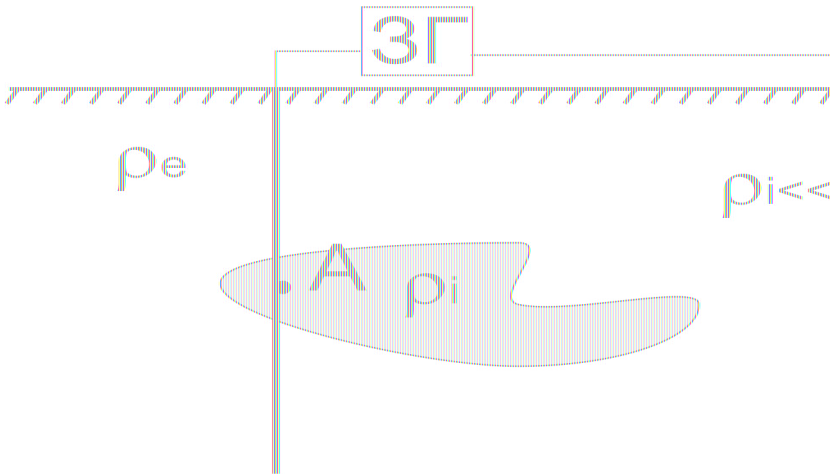
1) Метод характерных точек



2) Подбор

Процесс интерпретации методом подбора начинается с выбора геологически обоснованной начальной модели геоэлектрического разреза, которая включает в себя все его характерные особенности, представляющие при данном исследовании практический интерес. Вместе с тем эта модель должна быть достаточно проста, чтобы имеющимися средствами для нее можно было бы решить прямую задачу. Для сложных геоэлектрических моделей это решение может быть получено путем физического моделирования.

Измерение элементов магнитного поля



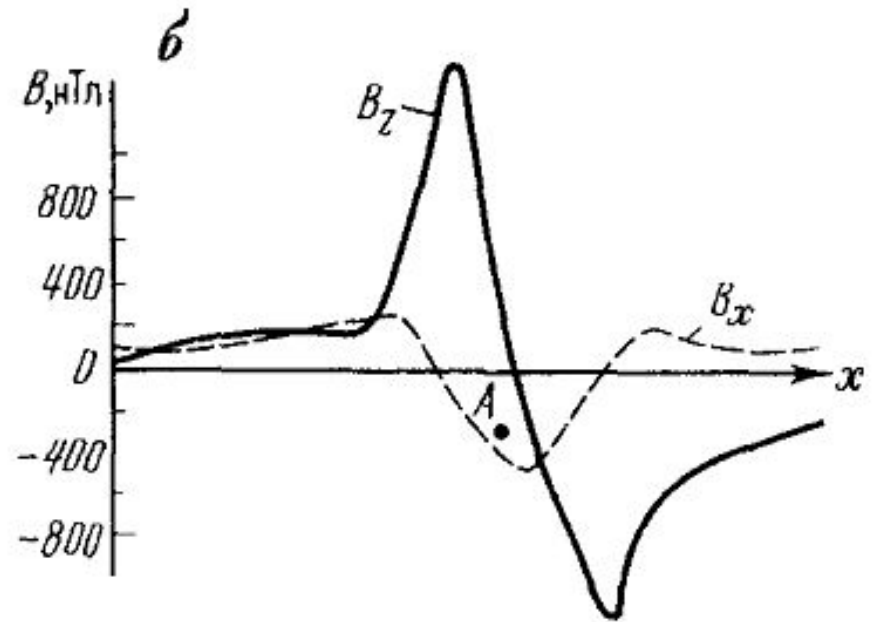
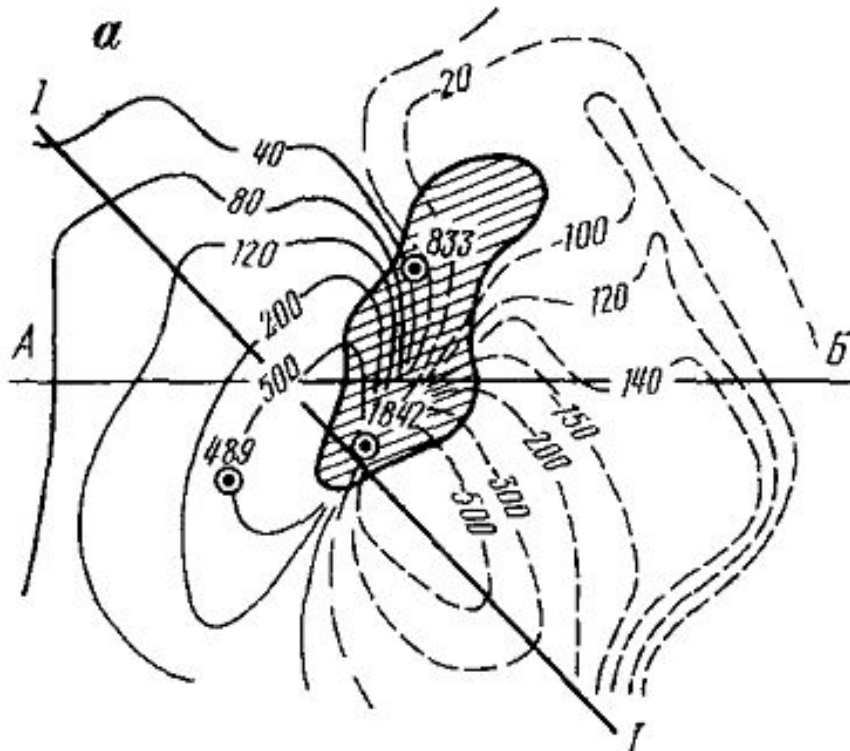
На каждой точке измеряют амплитуды трех ортогональных компонент магнитного поля (B_x — горизонтальная компонента, совпадающая с направлением профиля, B_y — горизонтальная компонента, перпендикулярная к профилю, и B_z — вертикальная компонента). Можно измерять амплитуду полного вектора магнитного поля и его дирекционные углы.

Зрядку объекта осуществляют переменным током, частоту которого выбирают достаточно низкой для того, чтобы в пределах исследуемой площади переменное электромагнитное поле практически совпадало по мгновенным значениям с постоянным полем. При работе в районах с высокоомными вмещающими породами частоту зарядного тока можно повышать до первых сотен герц. При наличии хорошо проводящих вмещающих и покровных отложений эта частота не должна превышать первых десятков герц.

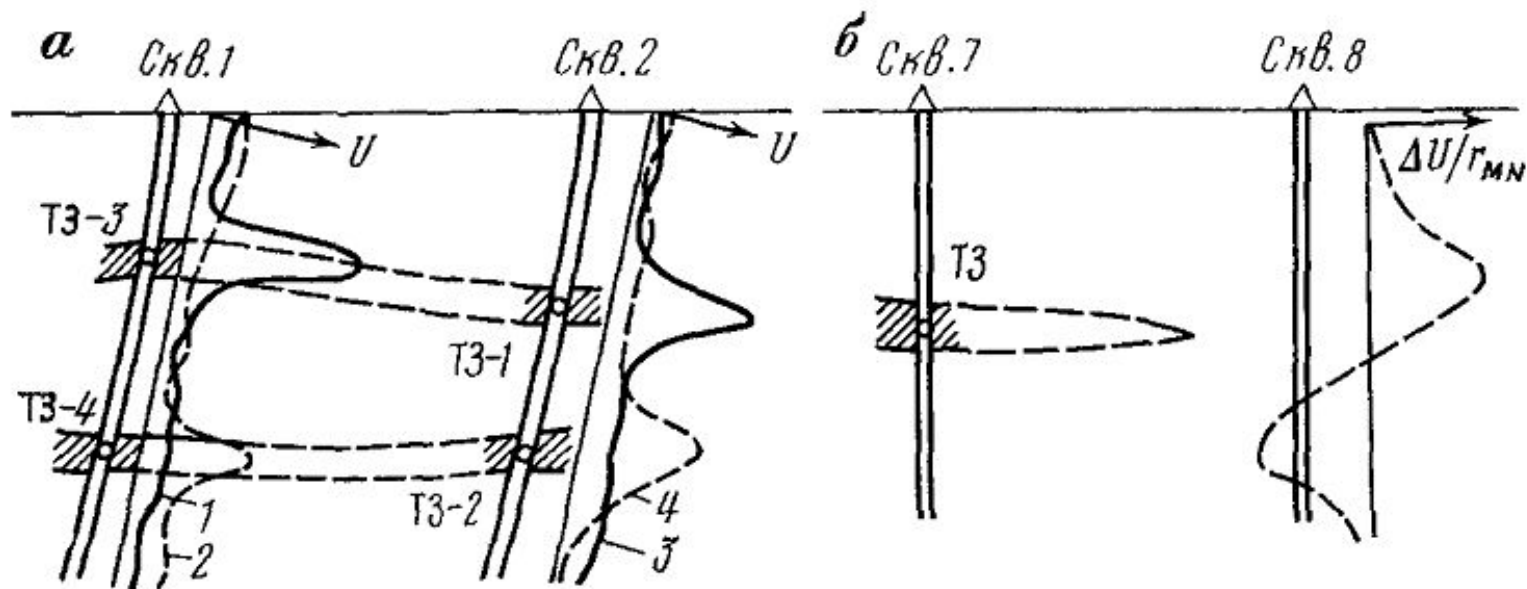
Усложняющее обстоятельство:

наблюдаемое на поверхности магнитное поле складывается из информативной его части, обязанной своим существованием токам, растекающимся в земле от питающего заземления, и магнитного поля токов в проводах, соединяющих заземления A и B с полюсами источника тока

Представление и интерпретация результатов

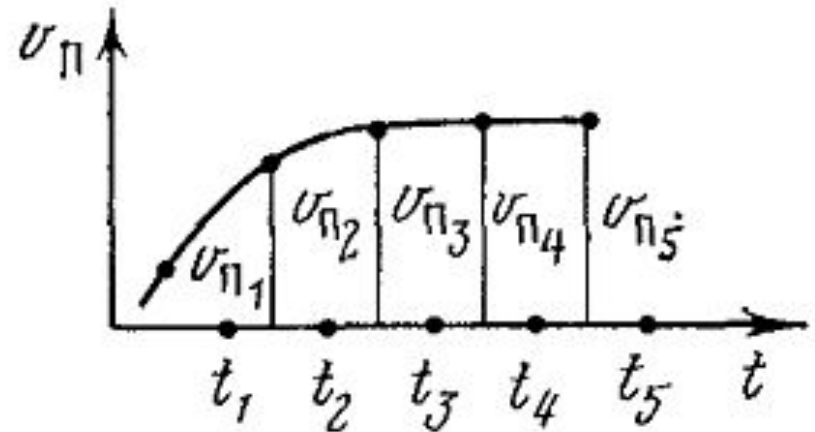
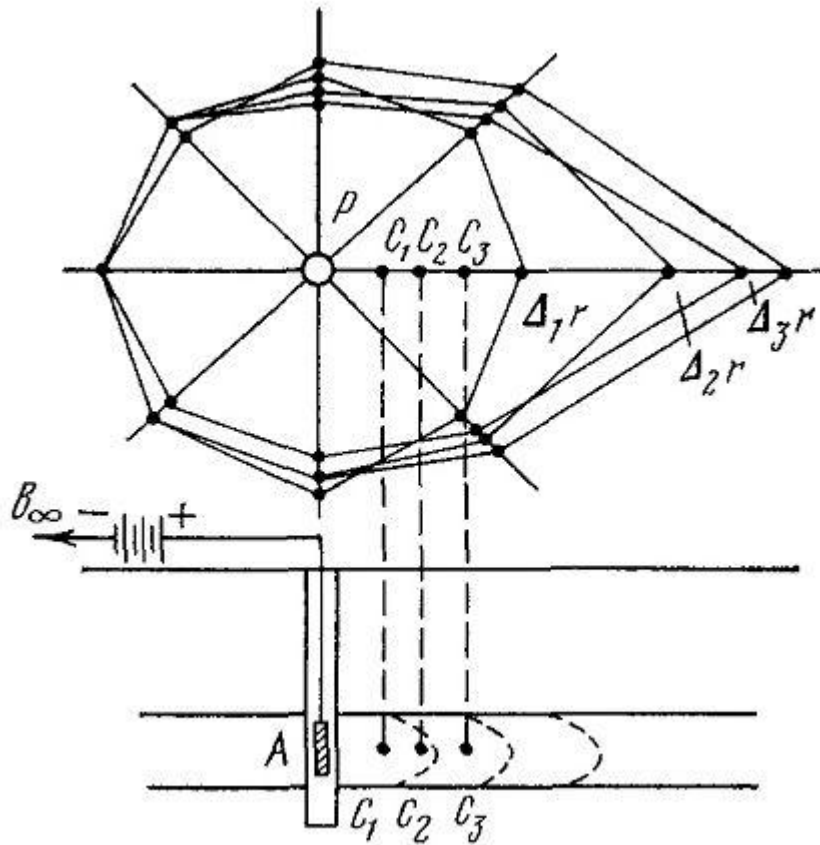


Метод электрокорреляции



Результаты скважинных исследований методом заряда изображают в виде схемы корреляционной увязки. Эта схема представляет собой геологический разрез, на котором показаны скважины, использованные для зарядки и исследования поля, точки зарядки, наблюдаемые кривые потенциала или градиента потенциала, а также оси хорошо проводящих тел по данным метода заряда.

Определение скорости и направления движения подземных вод методом заряженного тела



$$v_{n1} = \Delta_1 r / \Delta_1 t,$$

$$v_{n2} = \Delta_2 r / \Delta_2 t,$$

$$v_{n3} = \Delta_3 r / \Delta_3 t$$

Электромагнитный метод поиска подземных коммуникаций (ЭММПК)

При изучении магистральных трубопроводов геофизическими (электрическими и электромагнитными) методами с поверхности земли решаются несколько задач.

- 1) Нахождение положение трубопровода в плане
- 2) Определение глубины залегания трубы
- 3) Оценка качества изоляции

Теоретические основы метода

Закон Био - Савара - определяет вектор индукции магнитного поля $\vec{B}$, порождаемый электрическим током. Был установлен Био и Саваром в 1820 году.

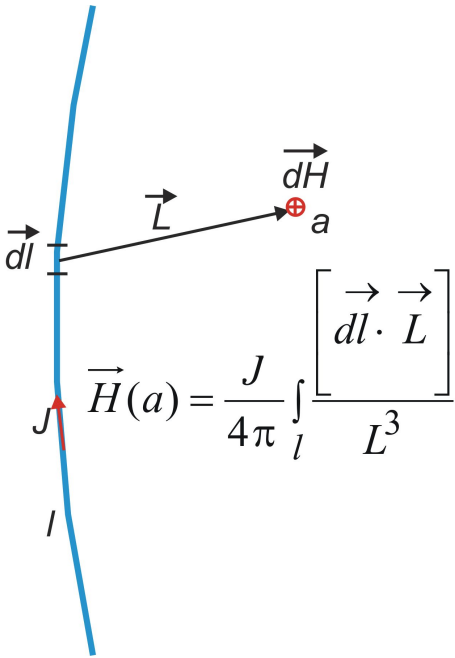
Магнитное поле прямого тока:

$$H = \frac{I}{2\pi R}, \text{ отсюда связь тока } I \text{ и поля } H.$$

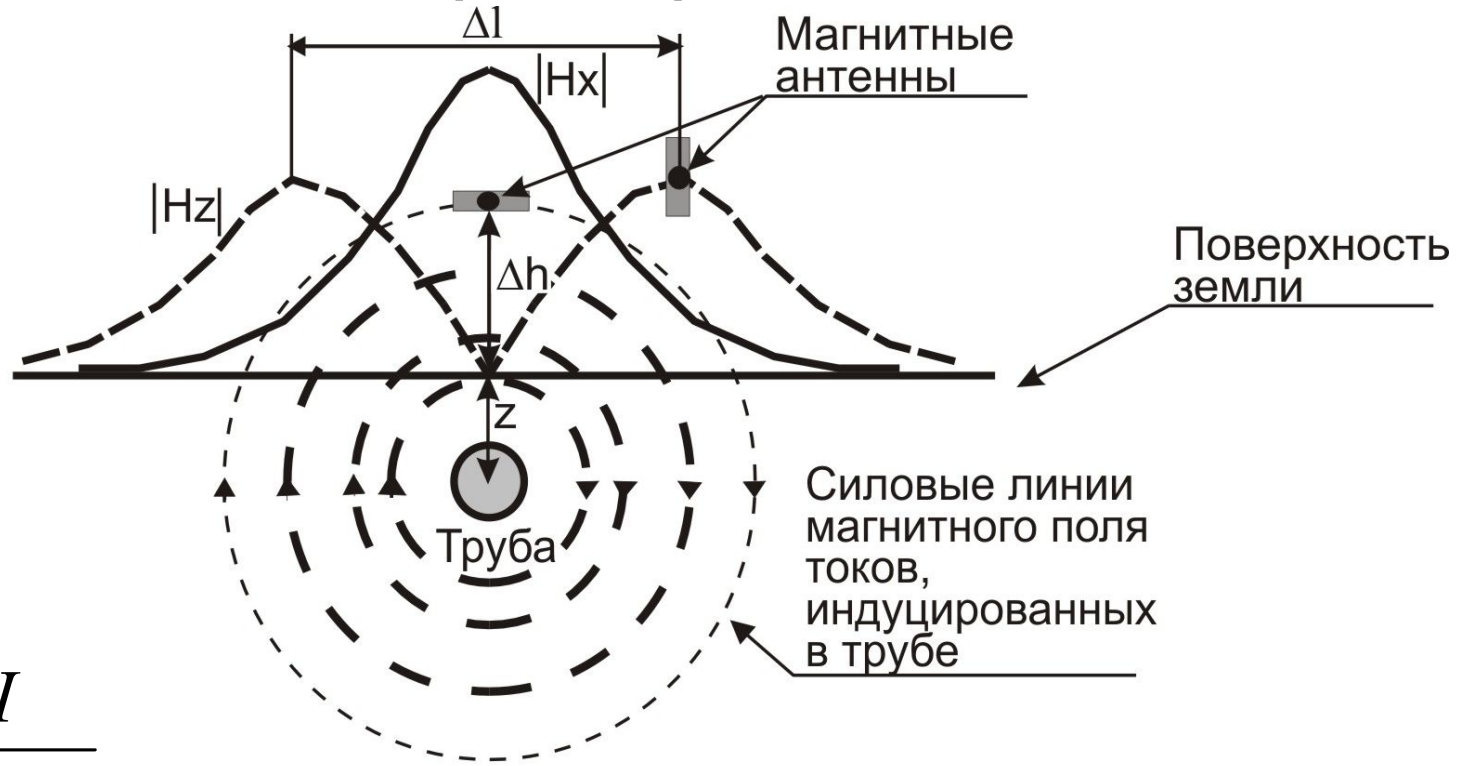
Труба - это проводник, помещенный в другой проводник (в землю), от которой она отделена изоляцией. Когда по трубе течет ток, то вокруг трубы возникает магнитное поле.

$$H_y = \frac{I \cdot z}{2\pi (z^2 + y^2)}$$

Так распределено магнитное поле H_y по профилю вкрест трубы. Поле прямо пропорционально силе тока, физически это очевидно, обратно пропорционально глубине, это хорошо видно точно над трубой ($y=0$)



Оценка глубины залегания трубы метод характерных точек

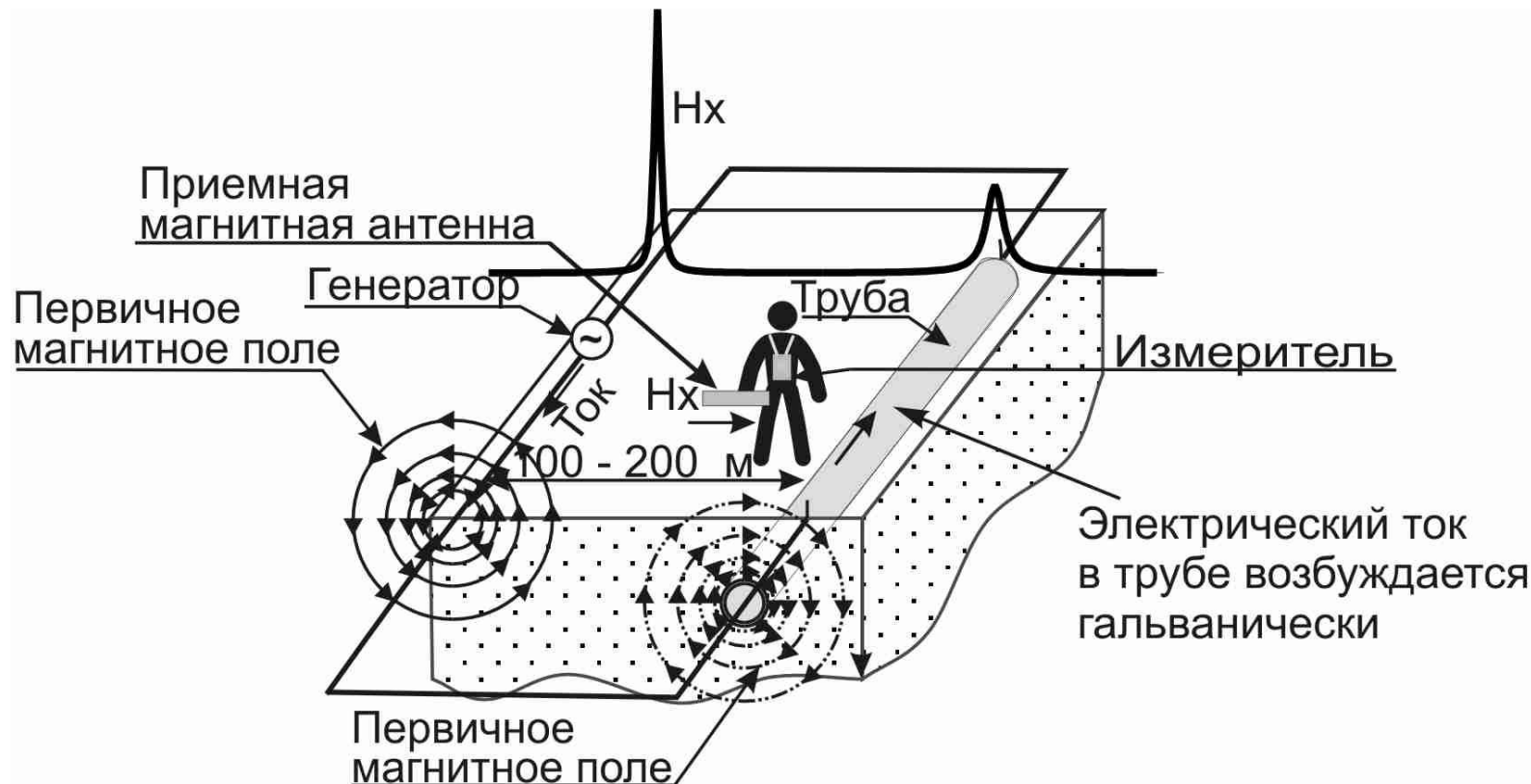


$$H_x = \frac{I}{2\pi \cdot z}$$

$$H_z = \frac{I}{2\pi} \frac{x}{(z^2 + x^2)}$$

Начало координат над трубой. При смене знака x меняется и знак поля. Но мы измеряем поле переменного тока и не чувствуем его знак, поэтому H_z имеет над трубой ноль, а с обеих сторон максимумы. Расстояние между максимумами H_z равно удвоенной глубине трубы. $\Delta l = 2 \cdot z$

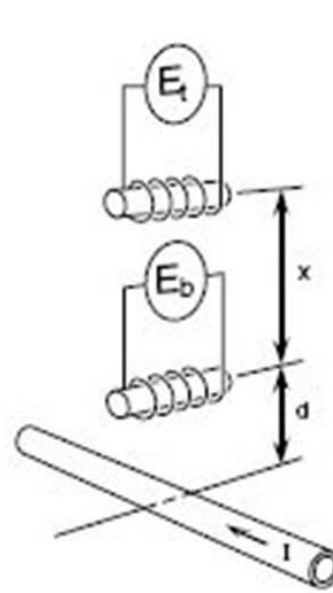
Возбуждение магнитного поля над трубой в методе заряженного тела



PCM – Pipeline current meter (Radiodetection и C-Scan)



PCM – состоит из генератора и измерителя.
Токи до 3 А, измеритель сразу показывает
глубину трубы и ток. Работает на частотах 4
Гц, 98 Гц, 512 Гц. Память для отсчетов.



$$E_t = \frac{I}{x + d}$$

2 неизв. и 2
ур-ния

$$E_b = \frac{I}{d}$$

$$d = \frac{I}{E_b}$$

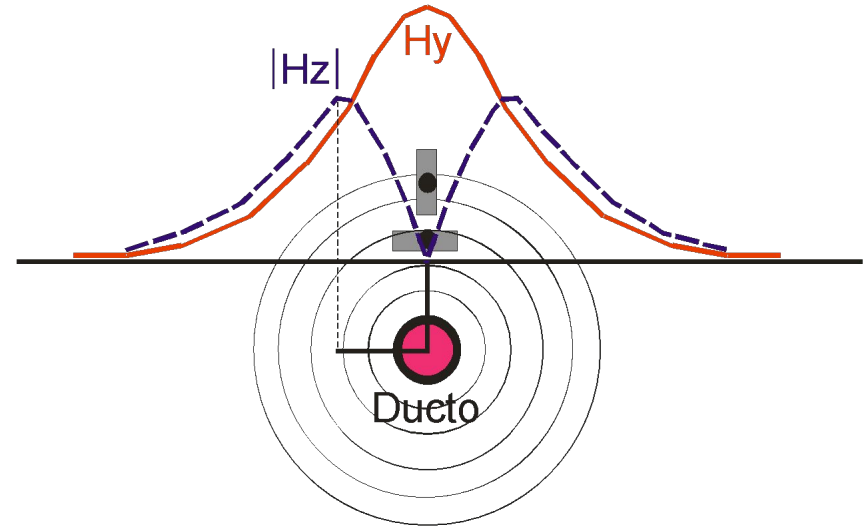
Глубина

$$E_t = \frac{I}{x + \frac{I}{E_b}}$$

$$I = \frac{E_b \cdot E_t \cdot x}{E_b - E_t}$$

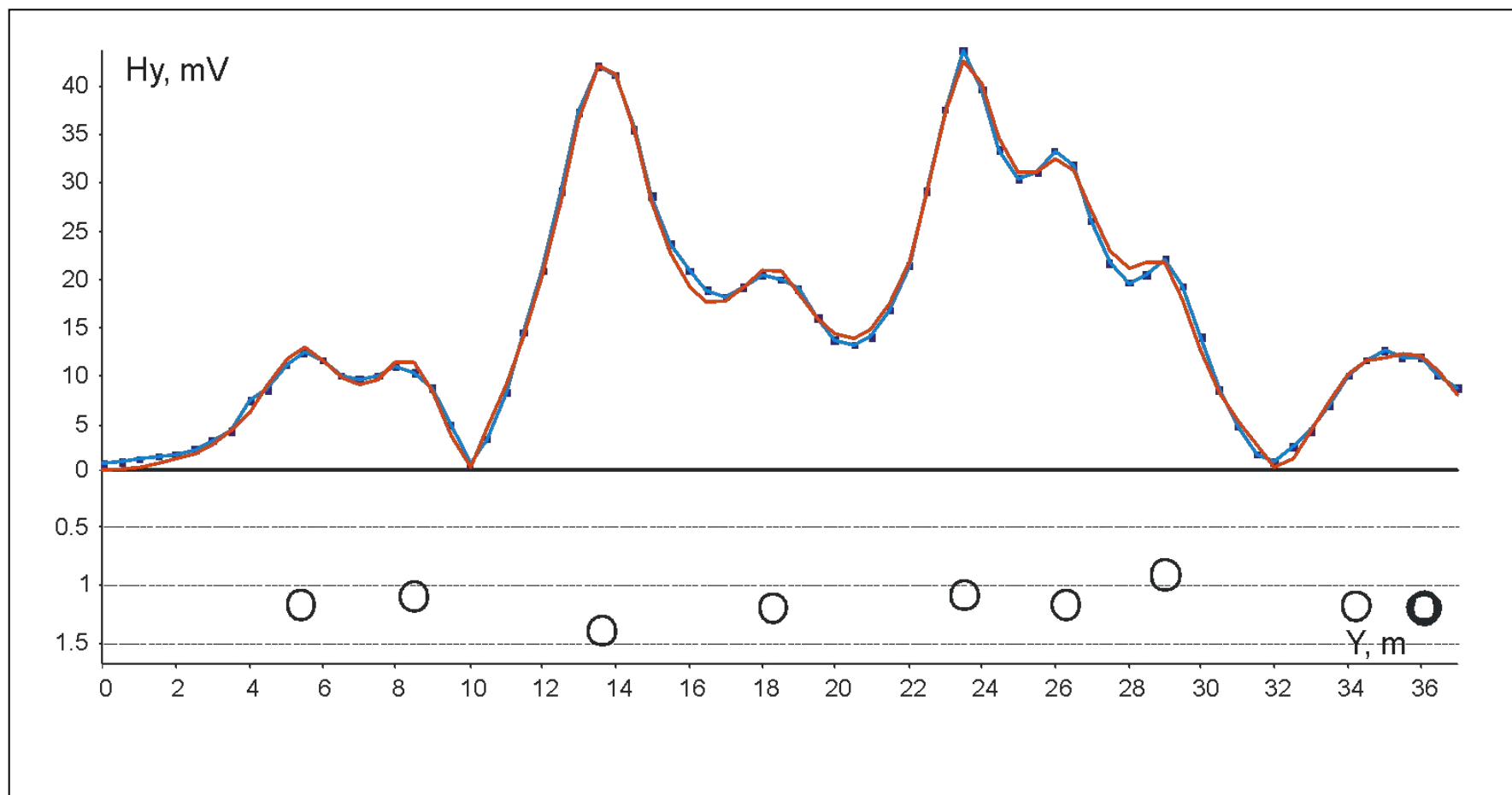
Ток

Измерения с ЭРА и 1-2 магнитными антеннами



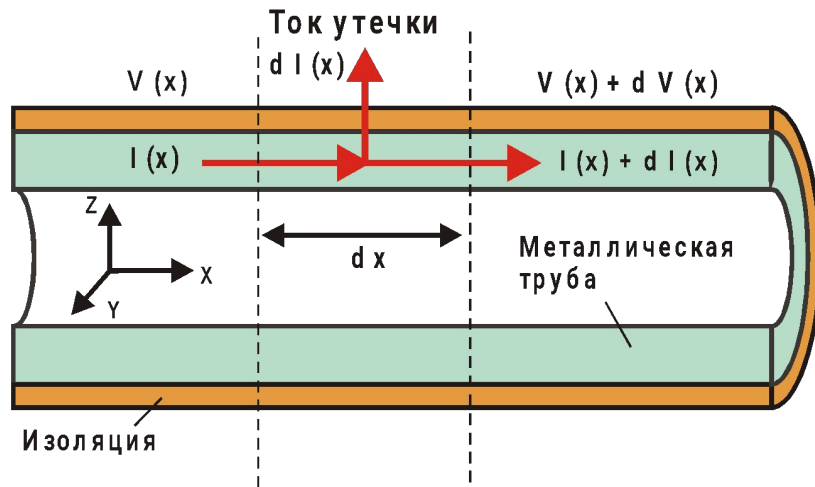
Измерения по профилю вкрест трубе. С двумя антеннами достаточно измерять только над трубой. А потом считать глубину и ток по формулам используя различия сигналов на 2 высотах, это второй способ определения глубины.

Программа Pipes для интерпретации данных с одной антенной по профилю вкрест трубы



Программа Pipes реализует метод подбора - это третий способ определения глубины трубы, одновременно определяется и ток в трубе.

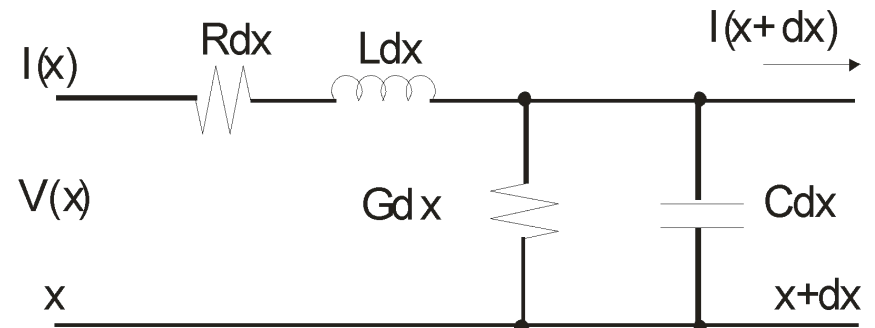
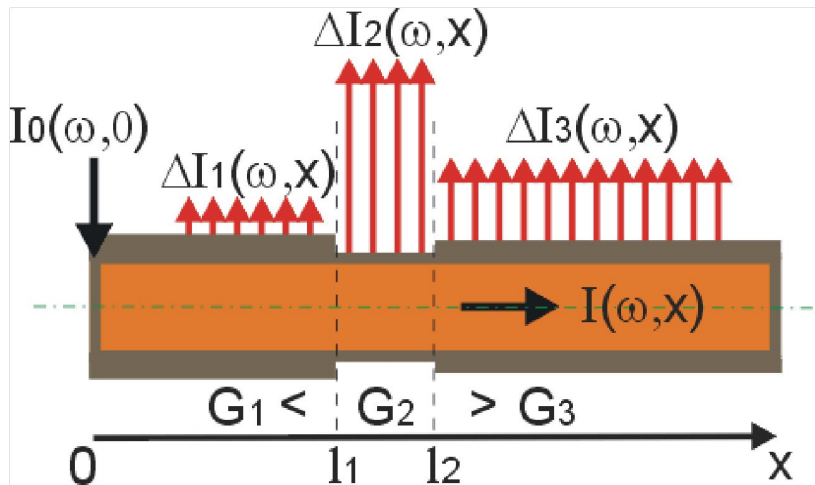
Методика контроля утечки

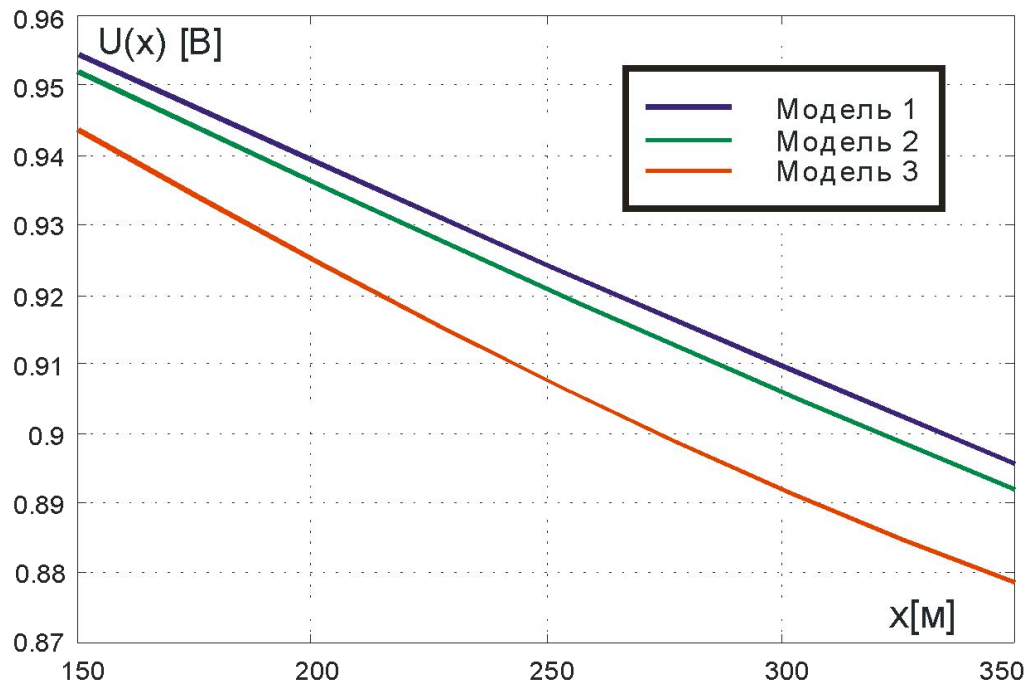


Модель трубы: металл, изоляция и окружающий трубу слой земли.

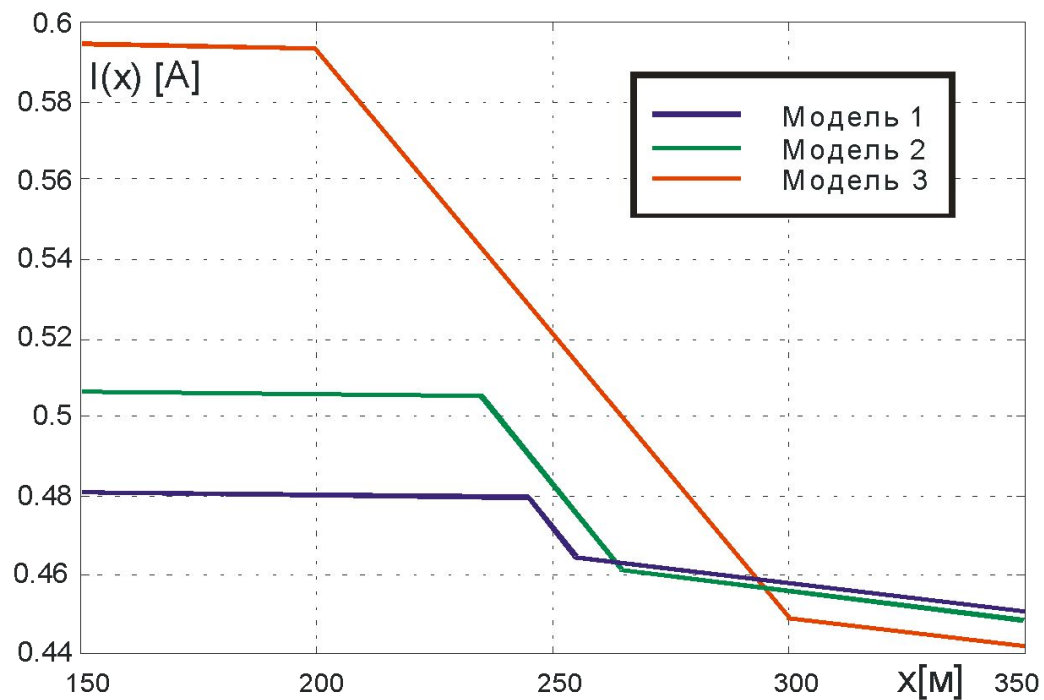
Ток течет в трубе, от него ответвляется ток утечки (в местах повреждения изоляции), ток после повреждения становится меньше на величину тока утечки. Изменяется и потенциал трубы.

Ток мы измеряем по величине магнитного поля (закон Био-Савара-Лапласа) с магнитной антенной (или двумя антеннами), а вот для потенциала нужен контакт с трубой. Такие контакты есть (КИП) каждые 0.5 – 1 км.





Поведение потенциала



Поведение тока

Определение сопротивления изоляции

$$H_y(x, 0, h) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I(x_p) h dx_p}{[h^2 + (x - x_p)^2]^{3/2}} \quad \text{Закон Био-Савара}$$

$$H_y(x, 0, h) = \frac{I_0}{2\pi h} \quad \text{Без интеграла, если ток (и глубина) не изменяется}$$

$$H_y(\omega, x, 0, h) = \frac{I(\omega, x) h}{2\pi(h^2 + y^2)} \quad \text{Измерения по поперечному профилю}$$

Магнитное поле связано с током, измеряя магнитное поле находим ток, а по изменению тока – находим ток утечки.

$$\Delta I_i(x) = \frac{\gamma_i^2}{Z_i} (A_i e^{-\gamma_i x} + B_i e^{\gamma_i x}) \quad \text{где} \quad \frac{\gamma_i^2}{Z_i} = \frac{1}{T_i}.$$

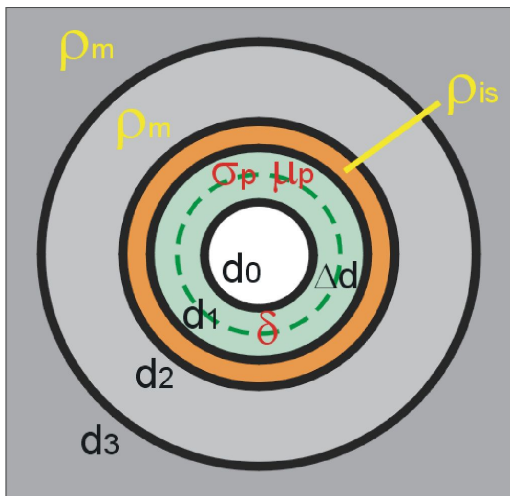
$$T_i(x) = \frac{V_i(x)}{\Delta I_i(x)}$$

Потенциал деленный на ток утечки дает сопротивление утечки, которое есть сумма сопротивления изоляции и грунта. Если знать сопротивление грунта, найдем T изоляции

Сопротивление изоляции и среды

$$T = \frac{\rho_{is}}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{\rho_m}{2\pi} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

сопротивление утечки, есть сумма сопротивлений изоляции и грунта



Все сопротивления в этой формуле - это сопротивления цилиндрических слоев на 1 м длины трубы, а не удельные сопротивления, принятые в электроразведке. ρ входит в эти формулы, но работают именно цилиндры.

Размерность T тоже Ом.м, но смысл другой. А практики трубопроводов имеют дело с другими единицами Ом.м² для изоляции. Это сопротивление одного квадратного метра изоляции, которое считается из T и диаметра трубы. А вот привычное электроразведчикам удельное сопротивление ρ специалистам по трубопроводам непонятно, неудобно и не используется.

Для практики нам надо знать сопротивление грунта. Его измеряют вдоль трубопровода с шагом 10-50 м и используя установку Шлюмберже и аппаратуру метода сопротивлений

$$T_m = \frac{\rho_m}{2\pi} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

$d_3 = 3 \cdot d_2$, тогда $\ln(d_3/d_2)/2\pi = 0.175$ и $T_m = \rho_m \cdot 0.175$

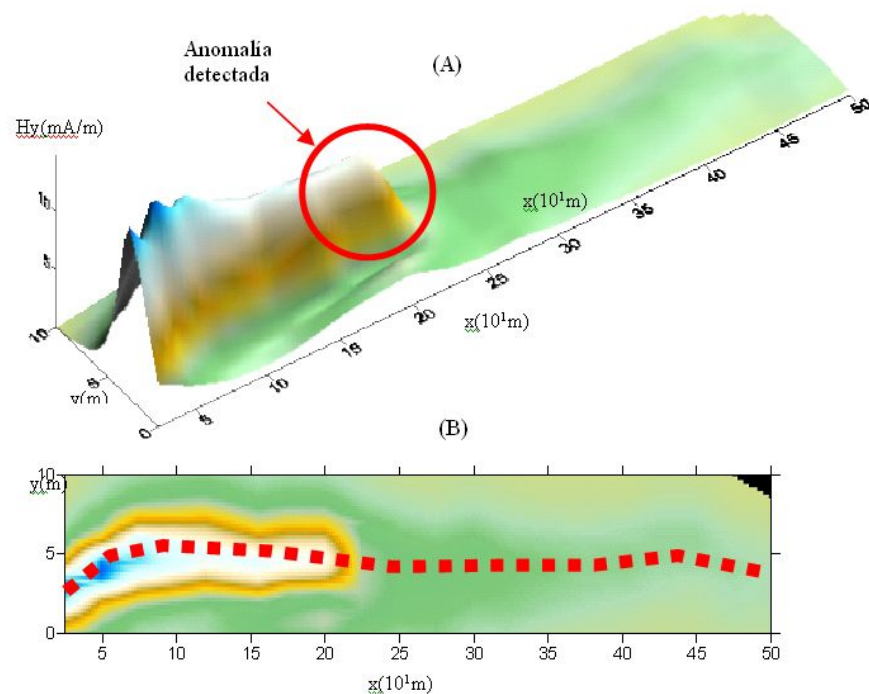
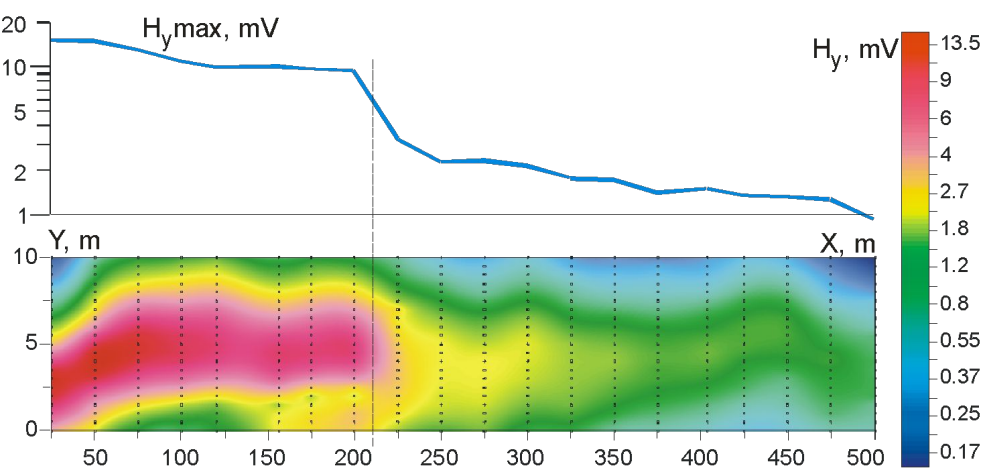
методика работ

1. На участке трубопровода находят место, где можно подключиться к трубе (КИП) и присоединяют генератор одним полюсом к трубе, а другим к заземлению в 20 м от трубы (несколько электродов).
2. Включают ток и проводят измерения магнитного поля. С измерителем ЭРА и одной магнитной антенной – по перпендикулярным трубе профилям. С измерителем РСМ точно над трубой. С измерителем ЭРА и 2 магнитными антеннами тоже точно над трубой. Для этого траектория трубы предварительно размечается на местности с помощью сети профилей вкрест трубы и построения карты поля Ну. Шаг вдоль трубы 10-25 м, в зависимости от многих условий можно удаляться от генератора вдоль трубы на 500-1000-1500 м. В одну сторону и в другую. Иногда измерения производятся на 2 частотах (98-512 Гц).
3. Не снимая и не выключая генератор (при том же токе и частоте) измеряют потенциалы в точке подключения генератора и на других КИП через 500 м – 1 км, так, чтобы измерения тока на интервале изучения оказались перекрыты измерениями потенциала.
4. Этот же интервал трубы изучается методом сопротивлений – чтобы знать ρ грунта.

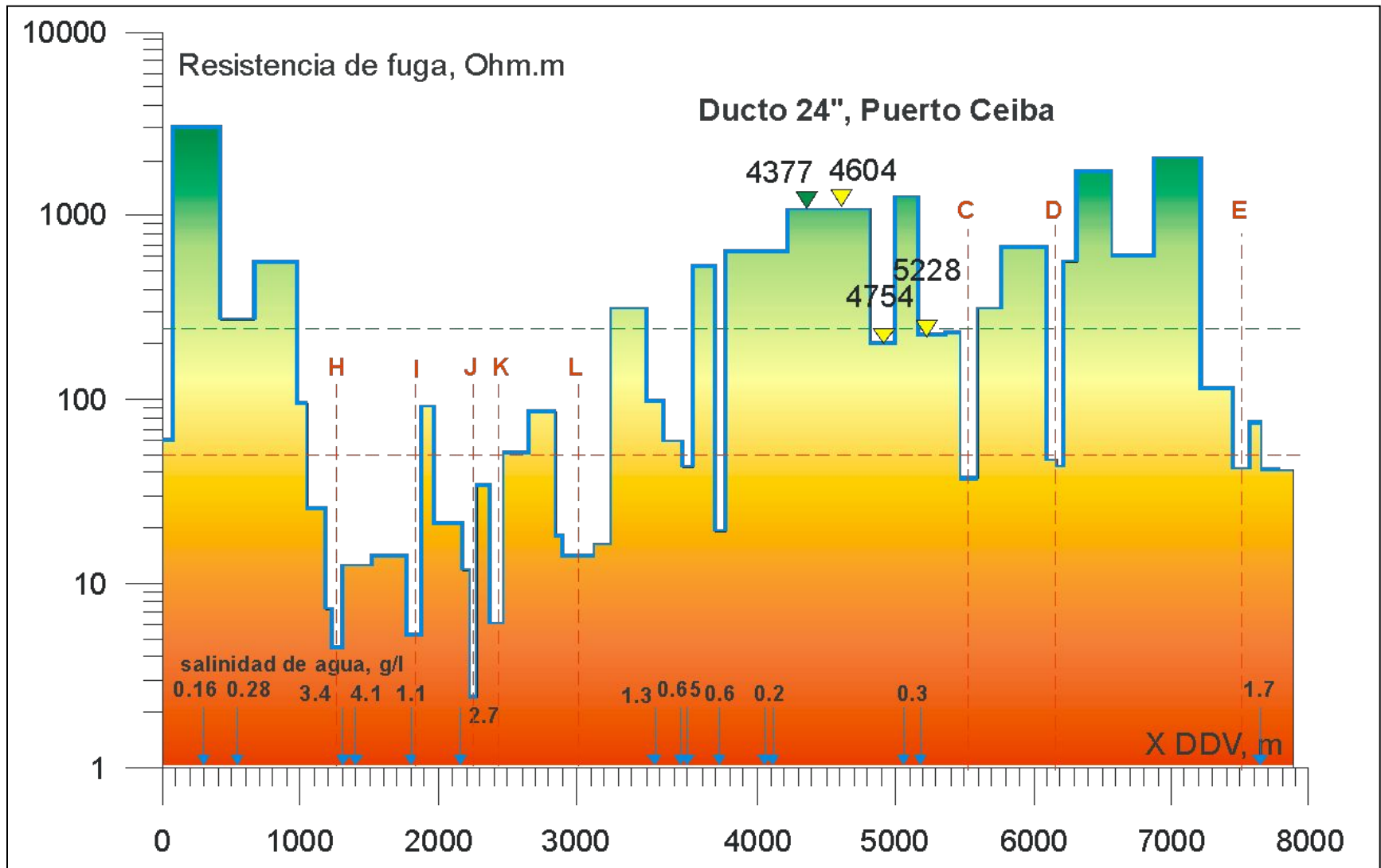
Обработка данных

1. графики потенциала и тока.
2. Теперь рассчитывают ток утечки на 1 м длины. Ток утечки относят к интервалу аппроксимации (от 20 м до первых сотен м), к середине интервала относят потенциал, который надо определить для этой точки.
3. Зная потенциал и ток утечки считают сопротивление утечки.
4. Зная сопротивление грунта вдоль трубы считают сопротивление изоляции, сначала в единицах Ом.м, а потом с учетом диаметра трубы в Ом.м².
Сравнивают график сопротивления изоляции с известными нам значениями для других труб и для идеальных труб, чтобы оценить качество изоляции на уровне семафора (зеленый, желтый, красный).
5. Сопротивление изоляции понятно геофизикам, но малопонятно трубникам. Для них рассчитывают параметр обнаженности трубы. Сколько % трубы обнажено на участке изучения: 1-2%, 5%, 10%, 15%, 50 и более%.
6. Когда найдены аномалии обнаженности или низкого сопротивления изоляции, то проводятся измерения электрического поля на участках с высокой степенью повреждений с шагом 1 м.

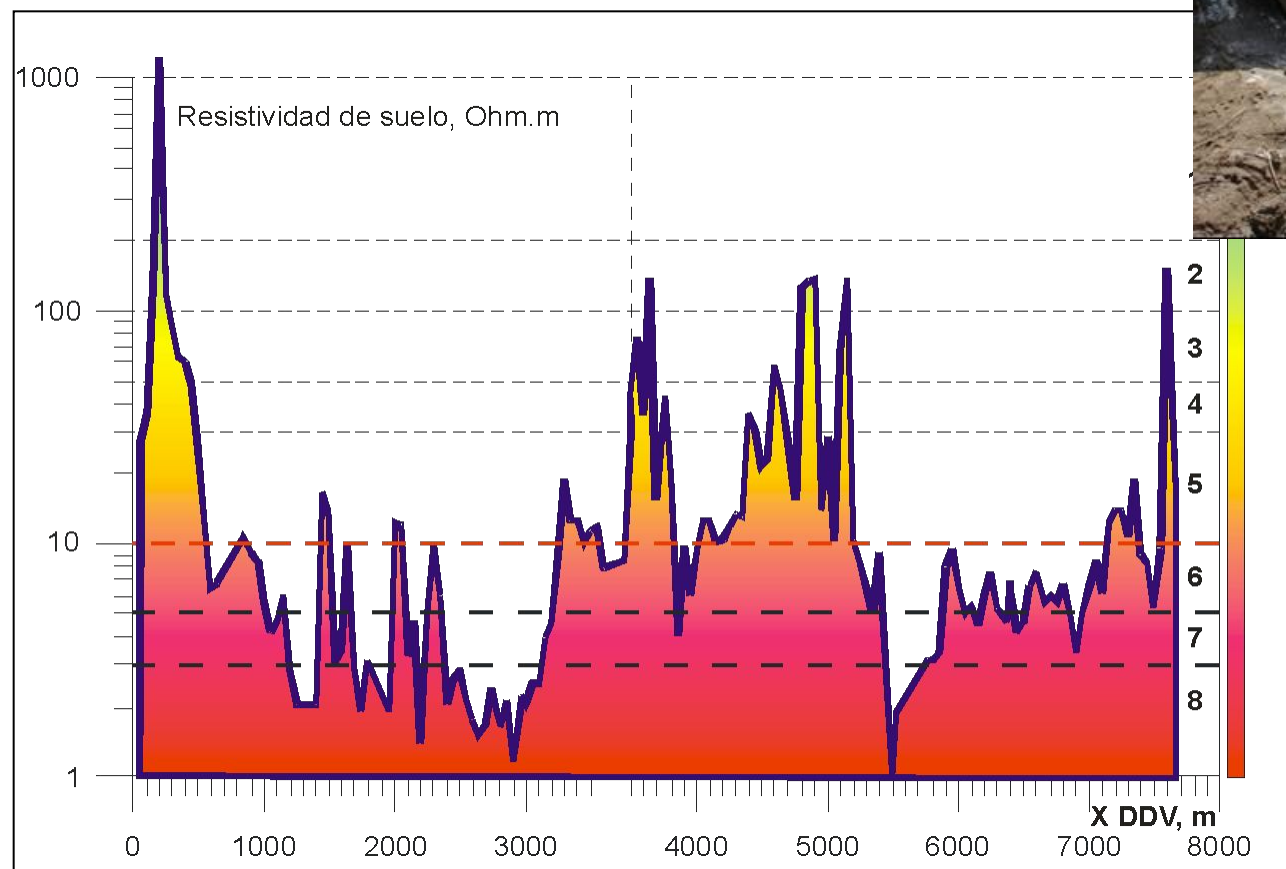
Пример. Измерения с ЭРА и одной МА



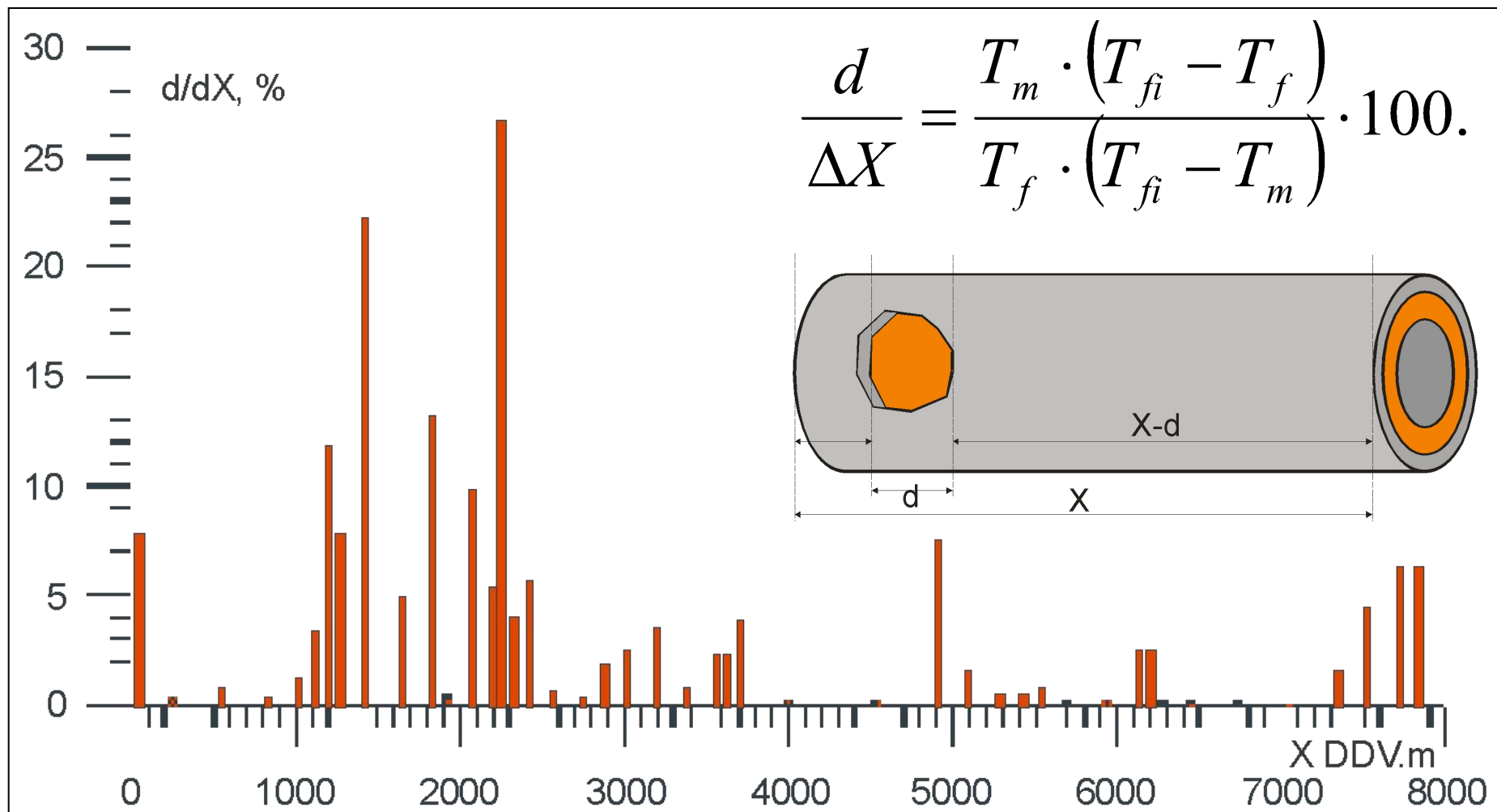
Сопротивление изоляции



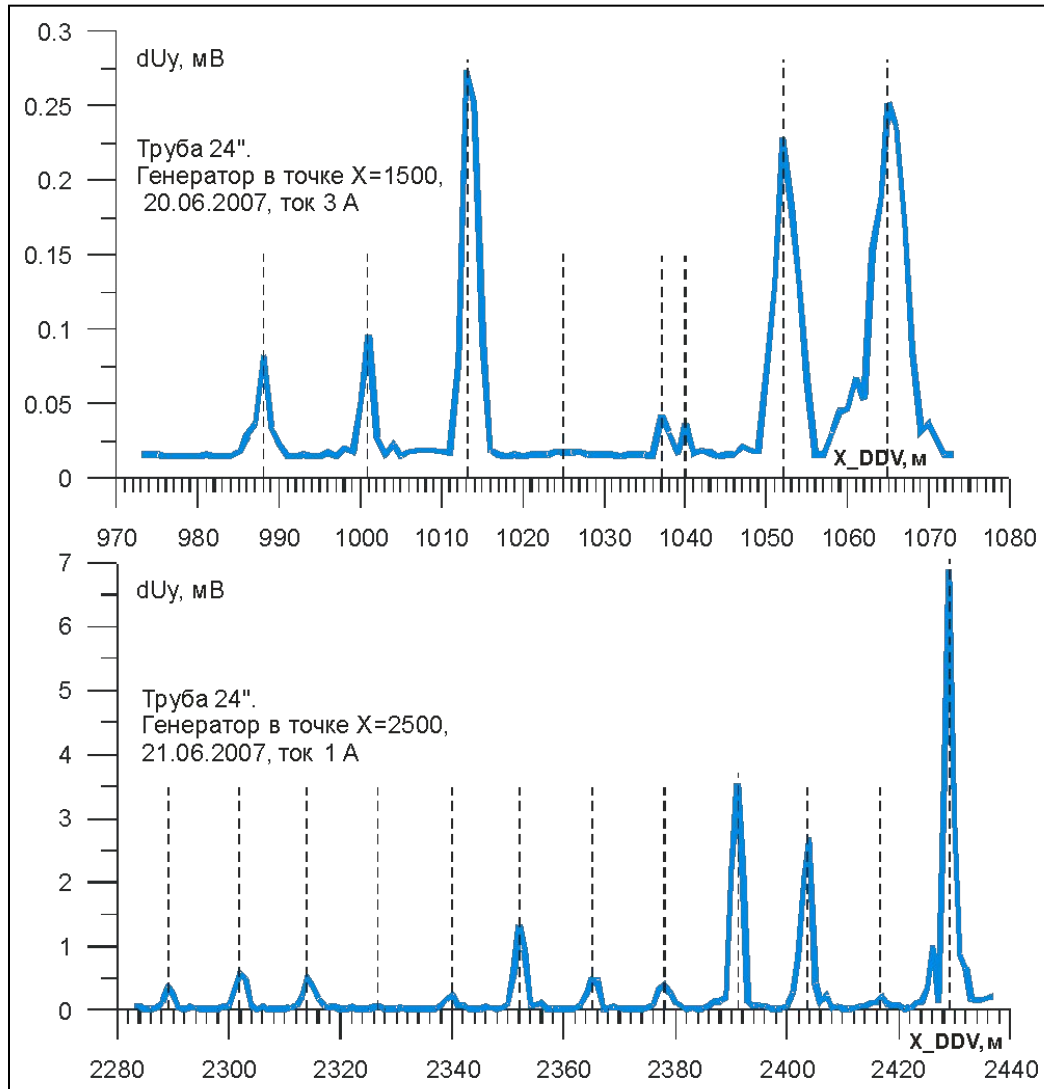
Сопротивление грунта



Обнаженность трубы в %



Практический пример



Периодические аномалии и
их причина

Положение трубы на пересечении реки

