

## Расчет параметров локальных первичных преобразователей для измерения вариаций электропроводности Земли

# 09, сентябрь 2012

DOI: 10.7463/0912.0476222

Мисеюк О. И.

УДК 550.380.001

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[omiseyuk@mail.ru](mailto:omiseyuk@mail.ru)

Теоретически и экспериментально установлено, что удельная электрическая проводимость Земли  $\sigma$  связана с изменением физического состояния грунта. Оно зависит от деформационных процессов, происходящих в Земле, от изменений температуры, влажности, проницаемости и пористости среды. Изучая пространственно-временные вариации электропроводности в комплексе с изменениями других геофизических полей, можно получить представление о динамике напряженно-деформационного состояния среды, составляющей группу предвестников землетрясения, являющихся наиболее достоверными для краткосрочных прогнозов. Однако вызванные сейсмическими процессами возмущения электромагнитных параметров наблюдаются на фоне их высоких естественных значений, что затрудняет выделение полезной информации.

Дальнейшему развитию и широкому практическому внедрению электромагнитных методов прогноза препятствует отсутствие специально разработанных для этих целей способов регистрации и устройств, предназначенных для их осуществления. Решение этого вопроса прежде всего сдерживается отсутствием разработок первичных преобразователей – датчиков электрических полей и процессов, вызванных развитием сейсмических явлений.

Вопросам основ проектирования, расчета и применения новых типов первичных преобразователей, позволяющих измерять слабые электрические поля на фоне естественных помех для различных сред, посвящена данная статья. Предложенный в статье способ измерения вариаций электропроводности был запатентован [1] и прошел апробацию в натурных испытаниях.

Для регистрации изменений электропроводности используются методы разведочной геоэлектрики, а также методы, описанные в работе [2]. Суть метода заключается в том, что в среде с помощью внешнего источника  $I$  возбуждается переменное электрическое поле, а измерительное устройство воспринимает отклик среды на это возмущение. Эти методы весьма эффективны для обнаружения и идентификации аномалеобразующих тел, но их возможности ограничены при

наблюдении за вариациями электропроводности. В работе [3] приведено обоснование метода измерения вариаций электрической проводимости и приведена расчетная модель формирования электрического поля излучателя при наличии вертикального контакта, имитирующего деформацию среды, приводящую к скачку электропроводности. Рассматривается ситуацию, когда первоначальная структура объекта уже неоднородна. Тогда при заданных и фиксированных параметрах внешнего источника поле определяется удельным сопротивлением однородных областей и зависит от свойств и расположения этих областей. Пусть  $E_1$  - поле неоднородного объекта до появления новой неоднородности, а  $E_2$  - поле объекта после появления новой неоднородности. Для обнаружения вариаций электрического состояния среды представляет интерес разностное поле  $\Delta E = E_2 - E_1$ . Разностное поле  $\Delta E$  можно представить как поле некоторого источника, обусловленного и определяемого возникшей неоднородностью. Именно это поле необходимо измерить. При этом исходное поле не должно восприниматься прибором.

Таким образом, измерительная установка должна удовлетворять следующим требованиям:

- максимальная чувствительность к разностной составляющей поля;
- подавление сигнала от исходного поля, которое рассматривается как помеха;
- необходимость оптимизации по отношению  $\Delta E/E_1$ , т.е. по отношению сигнал/помеха.

Расчетная модель исследуемого поля (рис.1) , предложенная в [3], содержала два задающих поле электрода  $A$  и  $B$ , через которые протекает ток  $I$  от источника  $U$ , расположенные вблизи границы раздела земля-воздух на расстоянии  $l_{AB} = 2l$  друг от друга. На расстояниях  $r_N = n$  и  $r_M = m$  от каждого из них расположены точки наблюдения  $N$  и  $M$  возле электрода  $A$  и точки  $N_1, M_1$  около электрода  $B$ . На расстоянии  $d$  от центра диполя расположен плоский вертикальный контакт, имитирующий деформацию среды. В точках наблюдения для однородного полупространства при наличии плоского вертикального контакта были получены выражения потенциала и напряженности электрического поля [3]. Измерение величин напряженности электрического поля в точках наблюдения осуществляется с помощью локальных первичных преобразователей (ЛПП).

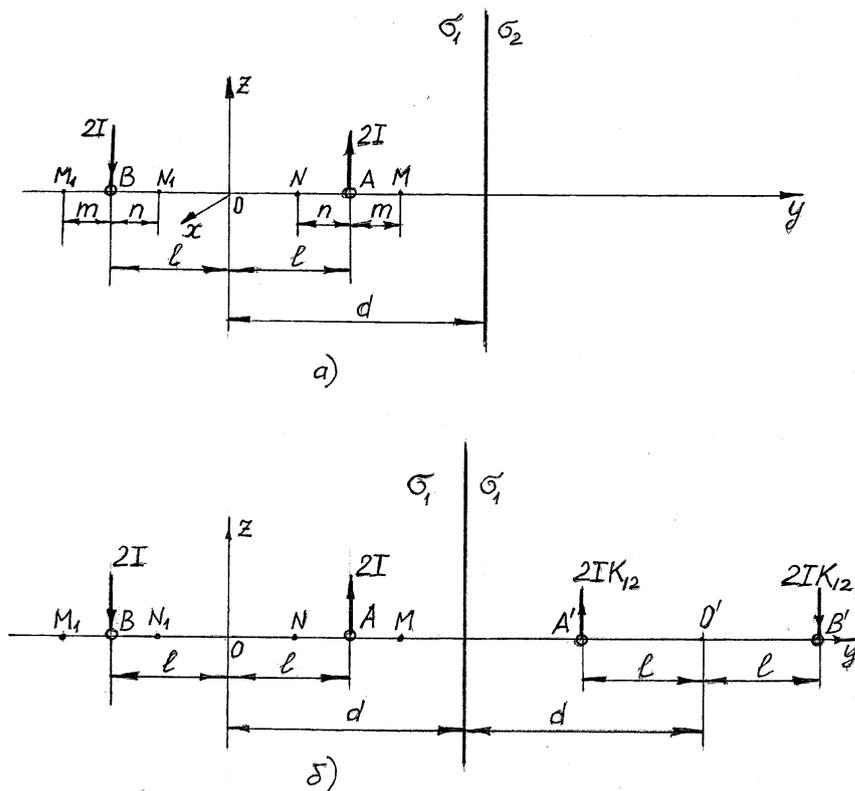


Рис. 1. Расчетная модель исследуемого поля при наличии вертикального контакта

Вопросы основ проектирования датчиков для регистрации вариаций удельной электропроводности Земли, использующих ЛПП, рассмотрены в данной статье.

### Локальный первичный преобразователь

Пусть исходное состояние среды характеризуется наличием в области измерений неоднородности в виде вертикального контакта (рис.1), разделяющего среду I с проводимостью  $\sigma_1$  и среду II, где проводимость равна  $\sigma_2 = \sigma_1 \pm \Delta_0$ . Индексом «O» обозначены значения величин в исходном состоянии среды.

Размеры локального ПП много меньше масштаба неоднородности исследуемого поля, поэтому входным воздействием для такого ПП является напряженность электрического поля. Исследуемое электрическое поле из-за размеров ПП можно считать однородным в области осреднения (измерения) ПП. Поле помехи также однородно.

Напряженность исследуемого поля в точках M и N при наличии плоского контакта равна [3]

$$E_y = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \{ (y-l)[\rho^2 + (y-l)^2]^{-3/2} - (y+l)[\rho^2 + (y+l)^2]^{-3/2} -$$

$$- K_{12} \{ (2d-y+l)[\rho^2 + (2d-y+l)^2]^{-3/2} - (2d-y-l)[\rho^2 + (2d-y-l)^2]^{-3/2} \} \quad (1)$$

$\rho = \sqrt{x^2 + z^2}$ , коэффициент отражения

$$K_{12} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)} = -\frac{\Delta}{(2\sigma_1 + \Delta)} = -\frac{\frac{\Delta}{2\sigma_1}}{\left(1 + \frac{\Delta}{2\sigma_1}\right)}, \quad \sigma_1 - \text{удельная электрическая проводимость}$$

Земли;

$\sigma_2 = \sigma_1 + \Delta$  - удельная проводимость среды после появления новой неоднородности.

Обозначив относительное изменение электропроводности  $\frac{\Delta}{2\sigma_1} = \delta$ , и с учетом того, что

$\delta \ll 1$ , получим  $K_{12} = -\frac{\delta}{1 + \delta} \approx -\delta$ . Распределение напряженности электрического поля

при наличии вертикального контакта представлено на рис.2.

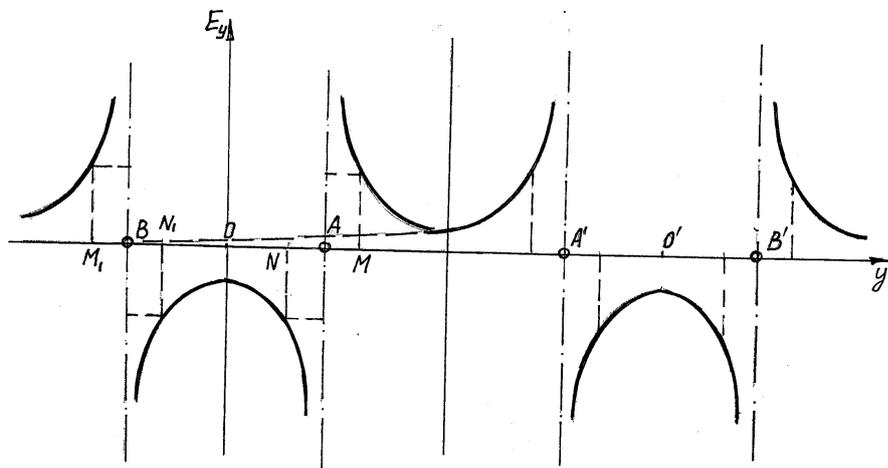


Рис. 2 Распределение напряженности электрического поля двух точечных источников при наличии вертикального контакта

При  $\rho = 0$  в точке наблюдения  $M$

$$E_{yM} = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[ \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{(2l+m)^2} \right) - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d-m)^2} - \frac{1}{(2d-2l-m)^2} \right] \right]. \quad (2)$$

В точке наблюдения  $N$

$$E_{yN} = -\frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left\{ \left[ \frac{1}{n^2} + \frac{1}{(2l-n)^2} \right] - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d+n)^2} + \frac{1}{(2d-2l+n)^2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Тогда, обозначив коэффициент преобразования локального ПП-  $l_{\Sigma}$  ( эквивалентная база);  $U_X$ -напряжение холостого хода на выходе первичного преобразователя;  $E_M$ ,  $E_N$  – напряженность исследуемого поля, получим выражения для сигналов на выходе ЛПП, расположенных в точках  $M$  и  $N$ , при наличии плоского контакта при отсутствии возмущающего воздействия

$$U_{MO} = E_M \cdot l_{\Sigma M} = \frac{2I \cdot l_{\Sigma M}}{4\pi\sigma_1} \left\{ \left[ \frac{1}{m^2} - \frac{1}{(2l+m)^2} \right] - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d-m)^2} - \frac{1}{(2d-2l-m)^2} \right] \right\}, \quad (4)$$

$$U_{NO} = E_N \cdot l_{\Sigma N} = -\frac{2I \cdot l_{\Sigma N}}{4\pi\sigma_1} \left\{ \left[ \frac{1}{n^2} + \frac{1}{(2l-n)^2} \right] - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d+n)^2} + \frac{1}{(2d-2l+n)^2} \right] \right\}. \quad (5)$$

Вследствие различных знаков напряжений  $U_{MO}$  и  $U_{NO}$  условие компенсации исходного поля в этом случае запишется  $U_{XMN} = U_{MO} + U_{NO} = 0$ .

С учетом поля помехи сигнал ЛПП в точке  $M$  будет равен  $U'_{MO} = U_{MO} + U_{\Pi O} = (E_M + E_{\Pi}) \cdot l_{\Sigma M}$ ,

а в точке  $N$   $U'_{NO} = U_{NO} + U_{\Pi N} = (-E_N + E_{\Pi}) \cdot l_{\Sigma N}$ .

Напряжение холостого хода на выходе двух ЛПП, расположенных в точках  $M$  и  $N$ , при выполнении условия компенсации составит  $U_X = U'_{MO} + U'_{NO} = E_{\Pi} \cdot l_{\Sigma M} + E_{\Pi} \cdot l_{\Sigma N}$ .

С целью компенсации сигнала помехи на выходе измерителя при отсутствии возмущающего воздействия следует дополнительно к основным использовать еще два ЛПП и разместить их вблизи излучающего электрода  $B$  в точках  $M_1$  и  $N_1$ , расположенных на расстоянии  $r_{M1}=m$  и  $r_{N1}=n$  соответственно от электрода  $B$  на линии, соединяющей электроды  $A$  и  $B$ . Размещение измерительных электродов в точках  $M$ ,  $N$  и  $M_1, N_1$ , где

напряженности равны по величине, но противоположны по знаку, компенсирует поле излучающих электродов на выходе каждой пары ЛПП, но удваивает сигнал помехи при условии  $l_{ЭN}=l_{ЭM}$ . Для компенсации сигнала помехи сигналы с основного и дополнительного датчиков должны вычитаться при дальнейшей обработке сигнала. При появлении возмущающего скачка проводимости, возникающего на расстоянии  $d$  от центра излучающего физического диполя на границе вертикального контакта, в точках наблюдения изменяются величины напряженности  $E_M$  и  $E_N$ . Как следует из рис 2 величина  $E_M$  увеличивается, а  $E_N$  уменьшается, что приводит к появлению сигнала на выходе датчика, образованного ЛППМ и ЛППН. Предположив  $l_{ЭM}=l_{ЭN}=l_{Э}$ , получим

$$U_{XMN} =$$

$$E_M \cdot l_{ЭM} + E_N \cdot l_{ЭN} = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \cdot l_{Э} \left\{ \left[ \frac{1}{m^2} - \frac{1}{(2l+m)^2} - \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(2l-n)^2} \right] - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d-m)^2} - \frac{1}{(2d-2l-m)^2} - \frac{1}{(2d+n)^2} - \frac{1}{(2d-2l+n)^2} \right] \right\} \quad (6)$$

При этом на выходе датчика, образованного ЛПП, расположенными в точках  $M_1$  и  $N_1$ , напряжение холостого хода будет равно

$$U_{XM1N1} =$$

$$\frac{2I}{4\pi\sigma_1} \cdot l_{Э} \left\{ \left[ \frac{1}{m^2} - \frac{1}{(2l+m)^2} + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(2l-n)^2} \right] - K_{12} \left[ \frac{1}{(2d+m)^2} - \frac{1}{(2d+2l+m)^2} + \frac{1}{(2d-n)^2} - \frac{1}{(2d+2l-n)^2} \right] \right\} \quad (7)$$

Для определения соотношений между  $m, n$  и  $l_{Э}$ , которые обеспечили бы выполнение условий компенсации исходного поля излучателей, были рассчитаны зависимости  $N_e = f(\Delta_{mn})$  при фиксированных значениях параметров  $d$  и  $\Delta_0$ . Причем в случае использования локальных ПП соотношение  $M_e$  и  $N_e$  определяется формулой

$$M_e = N_e - \Delta_{mn}, \quad (8)$$

где  $M_e = \frac{m}{l}$ ;  $N_e = \frac{n}{l}$ ;  $D = \frac{d}{l}$ . Для компенсации исходного поля при измерении напряженности с помощью локальных ПП расстояние  $M_e$  от датчика, расположенного в точке  $M$ , до излучающего электрода  $A$  должно быть меньше расстояния  $N_e$ , отделяющего датчик в точке  $N$  от того же электрода, в отличие от измерителя на основе ИПП, где с той же целью должно выполняться соотношение  $M_{\varphi} = N_{\varphi} + \Delta_{mn}$ . В таблице 1 приведены значения  $N_e$  для фиксированных  $\Delta_{mn}$ ,  $D$  и  $\Delta_0$  и при отсутствии возмущающего воздействия  $\Delta_{возм} = 0$ . Из зависимости  $N_e(\Delta_{mn})$  видно, что при  $N_e \leq 0,2$   $\Delta_{mn} < 0,005$  т.е. равенство  $M_e = N_e$  выполняется с погрешностью менее 5 % и не зависит от значений  $D$  и  $\Delta_0$ . При  $N_e > 0,2$   $\Delta_{mn}$  возрастает, и при выборе места расположения ЛПП следует пользоваться соотношением (8) и данными таблицы 1.

Значения  $N_e$  для локального ЛПП

$\Delta_0$	$D \setminus \Delta_{mn}$	0,01	0,02	0,04
0,0	1,5	0,3370986	0,4214993	0,5253700
	3,0	0,3370988	0,4214990	0,5253707
0,01	1,5	0,3395692	0,4249140	0,5302380
	3,0	0,3371667	0,4215783	0,5254575
0,1	1,5	0,3659744	0,4645886	0,5262067
	3,0	0,3377527	0,4222564	0,5062067

При появлении возмущающего воздействия  $\Delta_{\text{возм}} \neq 0$  на выходе ЛПП в точках М и N и  $M_1, N_1$  появляются сигналы, пропорциональные соответственно

$$f_{1e} = \frac{U_{xMN}}{2\pi_3/4\pi\sigma_1}$$

$$\text{и } f_{2e} = \frac{U_{xM_1N_1}}{2\pi_3/4\pi\sigma_1}.$$

Сравнительный анализ данных расчета  $f_{1e}(\Delta_{mn})$  и  $f_{2e}(\Delta_{mn})$  для  $D = 1,5$  и для  $D= 3$  при  $\Delta_0 = 0,0; 0,01; 0,1$  позволяет сделать вывод, что изменение  $\Delta_0$  в указанных пределах слабо влияет на величину  $f_{1e}$ . Удаление вертикального контакта от центра физического диполя приводит к уменьшению сигнала на выходе датчика. Сигнал с дополнительных ЛПП, расположенных в точках  $M_1$  и  $N_1$ , пропорциональный величине  $f_{2e}$ , на порядок меньше сигнала с основных ЛПП в точках М и N при прочих равных условиях. Величина  $f_{1e}$  монотонно возрастает с увеличением  $\Delta_{mn}$  и  $\Delta_{\text{возм}}$ .  $f_{2e}$  также возрастает с увеличением  $\Delta_{mn}$  и  $\Delta_{\text{возм}}$  при  $\Delta_0=0,0$  и  $D=1,5 \dots 3$ , а при  $\Delta_0= 0,01$  и  $D=1,5$   $f_{2e}(\Delta_{mn})$  уменьшается и меняет знак.

#### Сопоставительный анализ датчиков на основе интегрального и локального первичных преобразователей

Функциональная блок-схема датчиков на основе ЛПП представлена на рис. 3. Датчик на базе ЛПП содержит четыре ЛПП, размещенных в точках М и N (ЛПП1 и ЛПП2) и  $M_1, N_1$  (ЛПП3 и

ЛПП4). С целью компенсации поля излучающих электродов при отсутствии возмущающего воздействия первичные преобразователи должны быть установлены в точках, где напряженность исходного поля имеет одинаковые значения. Как видно из рис. 2 в точках М и N, как и в М<sub>1</sub> и N<sub>1</sub>, напряженность поля имеет противоположные по знаку и равные по величине значения. Это позволяет, подав сигнал с ЛПП1 и ЛПП2 через усилители У1 и У2 на сумматор С1, скомпенсировать поле излучающих электродов при отсутствии возмущающего воздействия. Однако сигнал однородной помехи при суммировании U<sub>М</sub> и U<sub>N</sub> удваивается. Для компенсации сигнала помехи используются два дополнительных ПП – ЛПП3 и ЛПП4, расположенные вблизи излучающего электрода В идентично ЛПП1 и ЛПП2. После суммирования их сигналов на сумматоре С2 на выходе этого сумматора будет сформирован удвоенный сигнал помехи, равный по величине и одинакового знака с сигналом на выходе сумматора С1. Для компенсации сигналов помехи в устройстве используется вычитатель В. На выходе датчика при этом формируется сигнал, пропорциональный разности (f<sub>1e</sub> – f<sub>2e</sub>). При отсутствии возмущающего воздействия этот сигнал равен 0. При появлении скачка проводимости, вызванного деформацией среды, изменяется картина поля в месте расположения измерительных электродов и на выходе датчика появляется полезный сигнал, пропорциональный возмущающему воздействию.

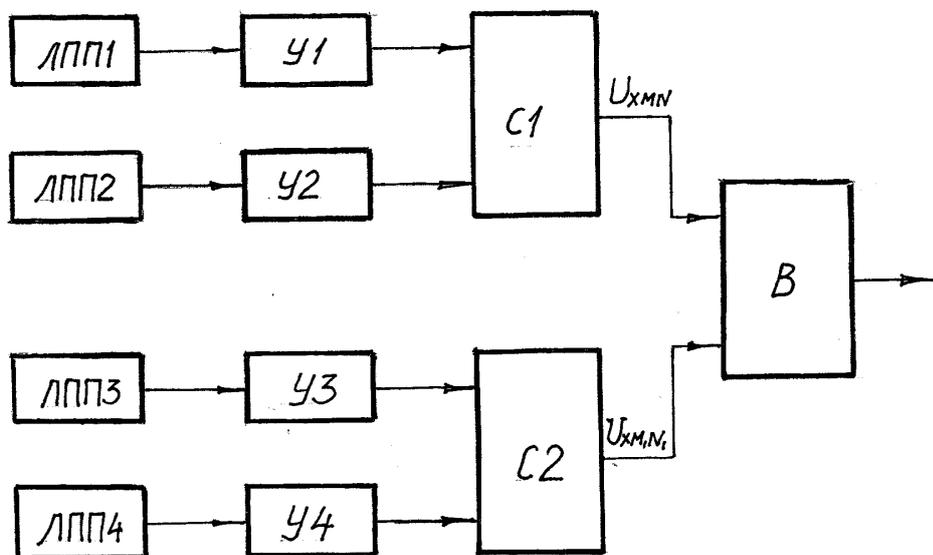


Рис.3. Функциональная блок-схема датчика на основе ЛПП

С целью проведения сравнительного анализа датчиков на основе ИПП и ЛПП были построены зависимости

$$f_{\varphi} = \frac{U_{x\varphi}}{2l/4\pi\sigma_1} = f_{1\varphi} + f_{2\varphi} = f_{\varphi}(\Delta_0 + \Delta_{\text{ВОЗМ}})$$

и

$$f_e = U_{xe} / 2Il_z / 4\pi\sigma_1 = f_{1e} - f_{2e} = f_e((\Delta_0 + \Delta_{\text{возм}}))$$

при фиксированных  $D$ ,  $\Delta_0$  и  $\Delta_{mn}$ . Графики этих зависимостей приведены на рис. 4, 5, где  $D$  принималось равным 1,5 и 3;  $\Delta_0 = 0,0; 0,01; 0,1$ . На каждом графике приведено семейство  $f_\varphi(\Delta_0 + \Delta_{\text{возм}})$  либо  $f_e((\Delta_0 + \Delta_{\text{возм}}))$ , параметром семейства является величина  $\Delta_{mn}$ , однозначно определяющая расположение электродов в точках М и N, при котором выполняется условие компенсации поля излучателей, когда возмущающее воздействие отсутствует.  $\Delta_{mn}$  задавалось равным 0,01; 0,02 и 0,04. Приведенные зависимости характеризуют изменение коэффициента преобразования измерителей при возрастании возмущающего воздействия  $\Delta_{\text{возм}}$ . На графиках наблюдается линейное возрастание сигнала на выходе датчика при увеличении  $\Delta_{\text{возм}}$ . В таблице 2 приведены значения коэффициентов преобразования измерителей на основе ИПП и ЛПП соответственно  $K_\varphi = f_\varphi / (\Delta_0 + \Delta_{\text{возм}})$  и  $K_e = f_e / (\Delta_0 + \Delta_{\text{возм}})$ , их относительного изменения  $\Delta K_\varphi = \frac{\Delta f_\varphi}{\Delta(\Delta_{\text{возм}})}$ ;  $\Delta K_e = \frac{\Delta f_e}{\Delta(\Delta_{\text{возм}})}$  и отношение  $K_e / K_\varphi$  при  $D = 1,5$  и 3;  $\Delta_0 = 0,0; 0,01; 0,1$  и  $\Delta_{mn} = 0,01; 0,02; 0,04$ . Расчеты проведены при  $\Delta_{\text{возм}} = 0,1$  и при  $\Delta(\Delta_{\text{возм}}) = 0,04$ . Приведенные численные данные подтверждают преимущество использования ЛПП в измерителях изменений электропроводности среды. Наряду с отмеченными в [2] достоинствами ЛПП, такими как меньший, чем у ИПП уровень собственных шумов и большая предельная чувствительность, в ЛПП появляется возможность компенсации исходного поля излучателей не только за счет геометрии установки, как у интегральных ПП, но и за счет возможности регулировки коэффициентов усиления в каналах ЛПП. Этим же путем устраняется не идентичность каналов измерения. Следует отметить превышение коэффициента преобразования  $K_e$  над  $K_\varphi$  более чем в 4 раза при расположении вертикального контакта на расстоянии  $d = 1,5l$ , и в 3,6–2,3 раза при  $d = 3l$ .

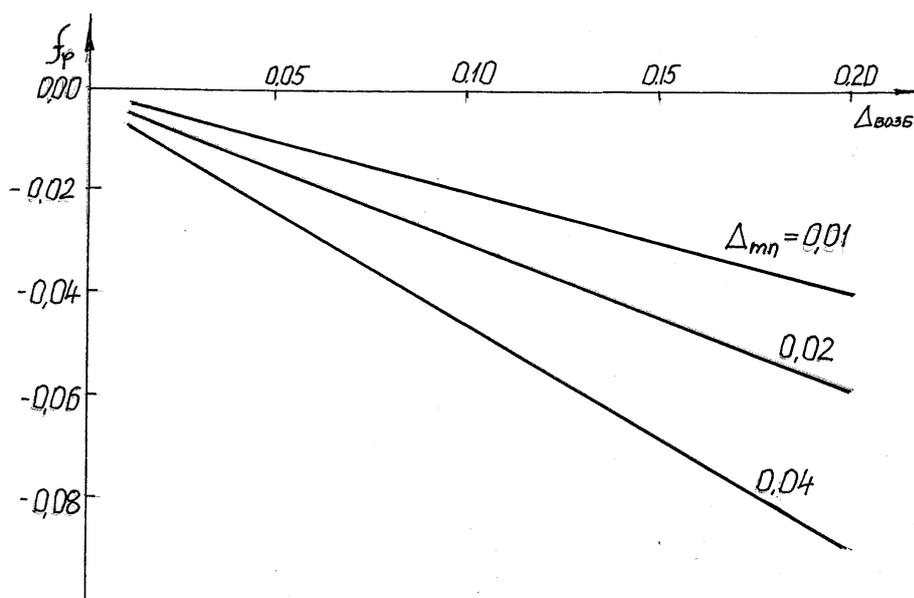


Рис. 4. Зависимость  $f_\varphi(\Delta_{\text{возм}})$  при  $\Delta_0 = 0,01$ ;

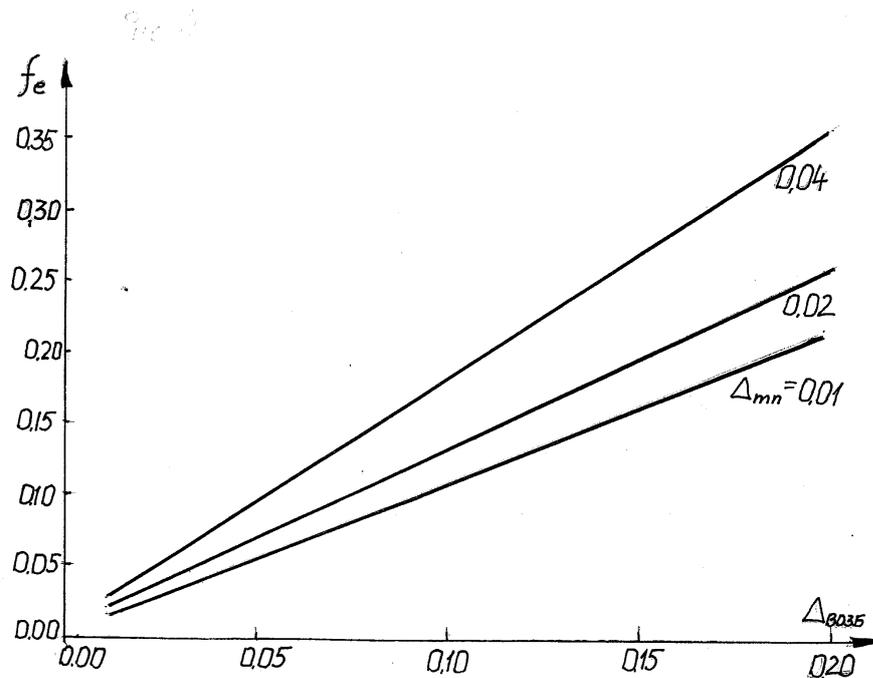


Рис. 5. Зависимость  $f_e(\Delta_{\text{возб}})$  при  $\Delta_0=0,01$ ;  $D=1,5$

На основании полученных данных и с учетом данных, приведенных в [2], можно оценить порог разрешения измерительной системы по относительному изменению удельной электрической проводимости при использовании локальных ПП

$$\Delta_{\text{возм min}} = \frac{\sqrt{2\bar{U}_{\text{ш}}^2}}{K_e \frac{I_0 I_2}{2\pi\sigma_1}}$$

Если принять  $I_0=0,1 \dots 0,2$  А,  $\sigma_1 = 10^{-2}$  См/м;  $\bar{U}_{\text{ш}}^2 = 8 \cdot 10^{-15}$  В<sup>2</sup> [4], то

$$\Delta_{\text{возм min}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 8 \cdot 10^{-15} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-2}}}{1,16 \cdot 0,2 \cdot 0,234 \cdot 0,25} = 0,585 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, измеритель способен реагировать на скачки удельной электропроводности порядка  $10^{-4}\%$ .

Коэффициенты преобразования измерителей на базе ИПП ( $K_\varphi$ ) и ЛПП ( $K_e$ )

1,5	0,00	$K_\varphi$	0,235	0,315	0,445
		$\Delta K_\varphi$	0,2	0,3125	0,4375
		$K_e$	1,16	1,393	1,84
		$\Delta K_e$	1,03	1,25	1,65
		$K_e/K_\varphi$	4,936	4,42	4,13
	0,01	$K_\varphi$	0,23	0,31	0,445
		$\Delta K_\varphi$	0,22	0,3	0,43
		$K_e$	1,125	1,38	1,83
		$\Delta K_e$	1,04	1,36	1,76
		$K_e/K_\varphi$	4,89	4,45	4,11
	0,1	$K_\varphi$	0,238	0,334	0,49
		$\Delta K_\varphi$	0,188	0,281	0,434
		$K_e$	1,17	1,5	1,82
		$\Delta K_e$	0,95	1,3625	1,77
		$K_e/K_\varphi$	4,93	4,49	4,10
3,0	0,00	$K_\varphi$	0,006	0,0076	0,0097
		$\Delta K_\varphi$	0,005	0,007	0,00875
		$K_e$	0,02182	0,02227	0,02318
		$\Delta K_e$	0,02045	0,02103	0,02046
		$K_e/K_\varphi$	3,637	2,93	2,3896
	0,01	$K_\varphi$	0,0006	0,0076	0,0098
		$\Delta K_\varphi$	0,0054	0,0068	0,0084
		$K_e$	0,022	0,0225	0,023
		$\Delta K_e$	0,021	0,021	0,022
		$K_e/K_\varphi$	3,67	2,96	2,347
	0,1	$K_\varphi$	0,0056	0,00726	0,00917
		$\Delta K_\varphi$	0,00446	0,00565	0,00804
		$K_e$	0,02125	0,0215	0,022
		$\Delta K_e$	0,01875	0,01875	0,018
		$K_e/K_\varphi$	3,795	2,96	2,4

### Выводы

Приведенный расчет напряженности электрического поля, создаваемого двумя точечными источниками (физическим диполем) в среде при наличии неоднородности в виде вертикальной границы раздела сред с различной электропроводностью, позволяет определить геометрию расположения ЛПП относительно излучающих электродов, а также

расстояние до вертикального контакта для получения максимальной чувствительности к изменению удельной электропроводности при наибольшем соотношении сигнал/помеха.

Показано, что с целью компенсации поля однородной помехи следует использовать дополнительные ЛПП, расположенные около второго излучающего электрода. Основные и дополнительные ЛПП следует располагать на прямой, проходящей через излучающие электроды. Если измерительные ПП расположены на расстоянии  $r_{M(N)} \leq 0,1l$  от излучающих электродов, то условие компенсации исходного поля выполняется при  $r_M = r_N$ , т.е. измерительные ПП расположены на одинаковом расстоянии от излучающих электродов. При увеличении этого расстояния т.е. при  $r_{M(N)} > 0,2l$   $r_M$  должно быть меньше  $r_N$  на  $\Delta_{mn}$  для того, чтобы выполнялось условие компенсации исходного поля. Дополнительные электроды располагаются идентично основным около второго излучающего электрода. Сигнал помехи, сформированный на всех измерительных ПП, компенсируется при дальнейшей обработке сигналов с ЛПП.

Были получены значения  $r_N$  и  $r_M$ , при которых выполняется условие компенсации поля излучателей для различных  $\Delta_{mn}$  и фиксированных значениях коэффициента отражения. Получены зависимости выходных сигналов основных и дополнительных ЛПП при различных возмущающих воздействиях и различной геометрии расположения ЛПП.

Рассчитаны коэффициенты преобразования измерителя изменений удельной электропроводности при известном расположении ИПП и ЛПП, произведена оценка его относительного изменения при изменении возмущающего воздействия. На основании расчетных данных проведен сравнительный анализ измерителей на основе ИПП и ЛПП, который показал преимущество использования ЛПП с точки зрения повышения помехозащищенности и снижения порога реагирования по относительному изменению удельной электрической проводимости измерительной системы.

### Список литературы

1. Зимин Е.Ф., Мисеюк О.И., И.И. Плаксин И.И. Способ измерения временных вариаций кажущейся удельной электрической проводимости Земли и устройства для его осуществления: пат. 94025990/25 Российская Федерация. 1996. Бюл. № 18. 4 с.
2. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах. М.: Энергоатомиздат, 1985. 255 с.
3. Мисеюк О.И. О способе измерения временных вариаций удельной электрической проводимости Земли // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э.Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/338840.html> (дата обращения 18.03.2012).
4. Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Гершензон Н.И., Пилипенко В.А. Электромагнитные эффекты при разрушении земной коры // Известия АН СССР. Физика Земли. 1985. № 1. С. 72 - 87.

## Calculation of parameters of local transducers for measuring electrical conductivity variations of Earth

# 09, September 2012

DOI: 10.7463/0912.0476222

Miseyk O.I.

Russia, Bauman Moscow State Technical University  
[omiseyuk@mail.ru](mailto:omiseyuk@mail.ru)

The author considers problems of designing local transducers of specific electric conduction which are mounted in industrial impact zones. The author obtained the ratio for determining configuration of electrodes in local transducers which provide signal interference compensation. The author proposes a flowchart for transducers measuring electrical conductivity of the medium, on the basis of local transducers which have compensation of signal interference fields and fields of unperturbed medium. A comparative analysis of sensors based on local and integral transducers is given in the article.

**Publications with keywords:** [potential](#), [intensity of electric field](#), [primary converter](#), [the specific electrical conductivity](#), [the disturbance](#), [the measuring electrode](#), [electromagnetic field](#), [the boundary-fence of the media](#), [signal interference](#)

**Publications with words:** [potential](#), [intensity of electric field](#), [primary converter](#), [the specific electrical conductivity](#), [the disturbance](#), [the measuring electrode](#), [electromagnetic field](#), [the boundary-fence of the media](#), [signal interference](#)

### References

1. Zimin E.F., Miseiuk O.I., Plaksin I.I. *Sposob izmereniia vremennykh variatsii kazhushcheisia udel'noi elektricheskoi provodimosti Zemli i ustroistva dlia ego osushchestvleniia* [Method for measuring the temporal variations of the apparent electrical conductivity of the Earth and devices for its implementation]. Patent RF, no. 94025990/25/, 1996.
2. Zimin E.F., Kochanov E.S. *Izmerenie parametrov elektricheskikh i magnitnykh polei v provodiashchikh sredakh* [Measurement of electric and magnetic fields parameters in conducting media]. Moscow, Energoatomizdat, 1985. 255 p.
3. Miseiuk O.I. O sposobe izmereniia vremennykh variatsii udel'noi elektricheskoi provodimosti Zemli [About the way of measurement of temporal variations of Earth's electric conductivity]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 3. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/338840.html>, accessed 18.03.2012.

4. Gokhberg M.B., Gufel'd I.L., Gershenzon N.I., Pilipenko V.A. Elektromagnitnye efekty pri razrushenii zemnoi kory [Electromagnetic effects in the destruction of the Earth's crust]. *Izvestiia AN SSSR. Fizika Zemli* [Journal of the USSR Academy of Sciences. Physics of the Earth], 1985, no. 1, pp. 72-87.