

О способе измерения временных вариаций удельной электрической проводимости Земли

77-30569/338840

03, март 2012

Мисеюк О. И.

УДК 550.380.001

МГТУ им. Н.Э. Баумана
omiseyuk@mail.ru

Возмущения электрической и магнитной составляющих естественного электромагнитного поля и вариации электрофизических параметров земной коры составляют группу электромагнитных предвестников землетрясения, являющихся наиболее достоверными для краткосрочных прогнозов. 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.

Удельная электрическая проводимость σ горных пород связана с изменением физического состояния вещества Земли. Она зависит от деформационных процессов, происходящих в земле, от изменений температуры, влажности, проницаемости и пористости среды, от свойств электродов, присутствующих в горной породе. Изучая пространственно – временные вариации σ в комплексе с вариациями других геофизических полей, можно получить представление о динамике напряженно – деформационного состояния Земли. Полученный в ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН экспериментальный материал подтверждает высокие значения коэффициента тензочувствительности горных пород – отношение отно-

сительного изменения удельной электропроводности $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ к величине деформации (отно-

сительному изменению линейных размеров $\frac{\Delta h}{h}$) составляет от трех до шести порядков.

Однако вызванные сейсмическими процессами возмущения электромагнитных параметров наблюдаются на фоне их высоких естественных значений, что затрудняет выделение полезной информации.

Для регистрации изменений электропроводности используются методы разведочной геоэлектрики, а также методы, описанные в работе [1]. Эти методы весьма эффективны для обнаружения и идентификации аномалеобразующих тел, но их возможности ограничены при наблюдении за вариациями электропроводности, которые являются предвестниками землетрясений. 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 [2] и прошел апробацию в натурных испытаниях.

Обоснование метода измерения вариаций электрической проводимости.

Изменение удельного сопротивления или проводимости среды от ее деформаций или от механических воздействий лежит в основе метода электровариометрии. Суть этого метода заключается в непрерывных автоматических измерениях малых пространственно-временных вариаций электрического коэффициента передачи горных пород, в качестве которого выступает кажущееся удельное сопротивление горных пород. В среде внешним источником тока I возбуждается переменное электрическое поле и с помощью измерительного устройства (электровариометра) воспринимается отклик среды на это возмущение. Причем измерительное устройство должно обеспечить максимальную чувствительность к вариациям σ , вызванным изменением напряженно-деформационного состояния среды, и минимальную чувствительность к вариациям σ вследствие появления локальных неоднородностей.

Рассмотрим ситуацию, когда первоначальная структура объекта уже неоднородна. Тогда при заданных и фиксированных параметрах 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 ΔE 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.

Расчетные модели и механизм формирования полезного сигнала.

Описанная в [3] расчетная модель формирования электрического поля 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} друг от друга. На прямой, проходящей через один из питающих электродов A , на расстоянии r_M и r_N от него расположены точки наблюдения M и N . С целью компенсации исходного поля измерительные электроды M и N располагаются на эквипотенциали поля излучающего источника A . Считается, что условие эквипотенциальности выполняется при $r_M = r_N$. Однако подобное расположение измерительных электродов не позволяет скомпенсировать сигнал помехи $U_{II} = E_{II} (r_M + r_N)$, обусловленный наличием однородного поля помехи с напряженностью E_{II} . Кроме того наличие вертикального контакта искажает исходное поле излучателя A и при $r_M = r_N$ возникает дополнительный сигнал помехи, обусловленный несимметрией поля, т.к. при этом нарушается условие расположения электродов на эквипотенциали поля. Как следствие компенсация исходного поля оказывается не полной. Наличие второго излучающего электрода B также вносит искажение в исходную картину поля, т.к. его влиянием можно пренебречь при $l_{AB} \rightarrow \infty$, что на практике трудно реализовать. С целью устранения недостатков, присущих описанной выше модели, предлагается новая расчетная модель формирования электрического поля излучателя. Рассмотрим эту расчетную модель и определим параметры поля излучателей: потенциал φ и напряженность E , функцией которых является полезный сигнал, формируемый первичным преобразователем (ПП) датчиков электрического поля.

На рис.1 показана плоская граница раздела $y - z$ двух сред: воздуха с удельной электрической проводимостью $\sigma_B = 0$ и Земли с $\sigma_3 = \sigma_1$. Вблизи этой границы на расстоянии $l_{AB} = 2l$ друг от друга размещены задающие поле электроды A и B , 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 . В этих точках необходимо определить потенциал и напряженность электрического поля. Система двух излучающих электродов образует фи-

зический диполь с плечом $l_{AB} = 2l$. Если габариты питающих электродов в 10...30 раз меньше минимального из размеров r_M и r_N , то, не нарушая общности рассмотрения, задачу можно упростить, полагая электроды точечными, а точки A, B, M, N, M_1, N_1 , лежащими на границе раздела земля-воздух. С учетом оговоренных допущений, используя метод отражения от границы $y - y$, расчетная модель (рис. 1) преобразуется в модель (рис. 2) с источником тока $2I$, питающим физический диполь AB , находящийся в однородной среде с проводимостью σ_1 .

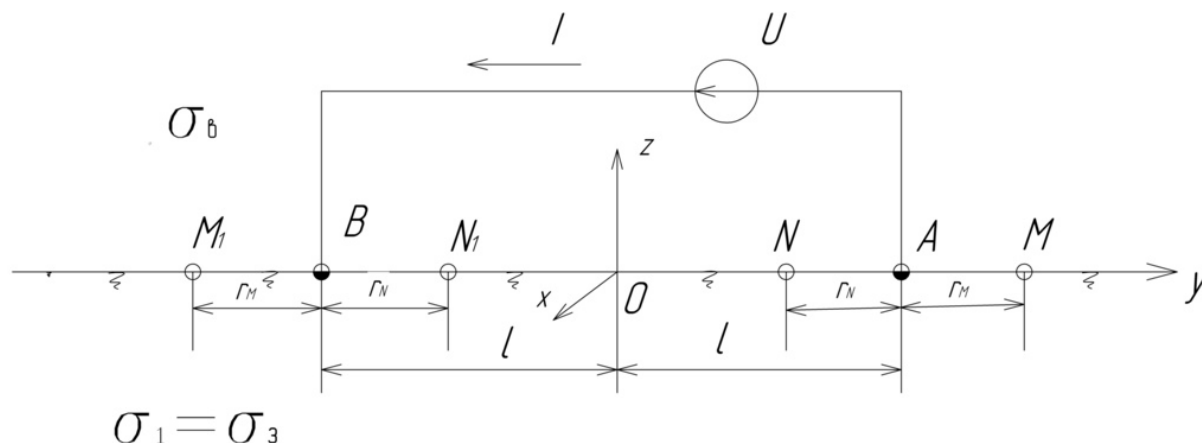


Рис 1 Схема расположения излучающих электродов A, B и точек наблюдения M, N и M_1, N_1

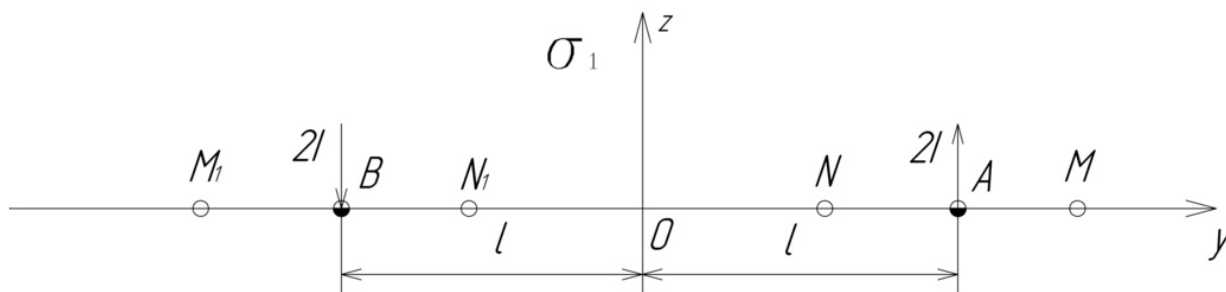


Рис 2 Расчетная модель при расположении физического диполя в однородной среде

Для модели (рис. 2) в случае однородной среды выражения для потенциала и напряженности электрического поля в цилиндрической системе координат имеют вид [2]

$$\varphi = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left\{ [\rho^2 + (y-l)^2]^{-1/2} - [\rho^2 + (y+l)^2]^{-1/2} \right\}, \quad (1)$$

$$E = -\frac{d\varphi}{dy} = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left\{ \left[(y-l)[\rho^2 + (y-l)^2]^{-3/2} - (y+l)[\rho^2 + (y+l)^2]^{-3/2} \right] \right\}, \quad (2)$$

где $\rho^2 = x^2 + z^2$.

На границе раздела сред земля-воздух при $\rho = 0$ выражения упрощаются.

При $|y| > l$, $\rho = 0$,

$$\varphi_Y = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\frac{1}{y-l} - \frac{1}{y+l} \right], \quad (3)$$

$$E_Y = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\frac{1}{(y-l)^2} - \frac{1}{(y+l)^2} \right]. \quad (4)$$

При $|y| < l$, $\rho = 0$, $\varphi = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\frac{1}{l-y} - \frac{1}{l+y} \right]$, а величина напряженности E , как

и в предыдущем случае, определяется по формуле (4). Зависимости $\varphi_Y = f(Y)$ и E_Y при $\rho = 0$ представлены на рис. 3 и 4.

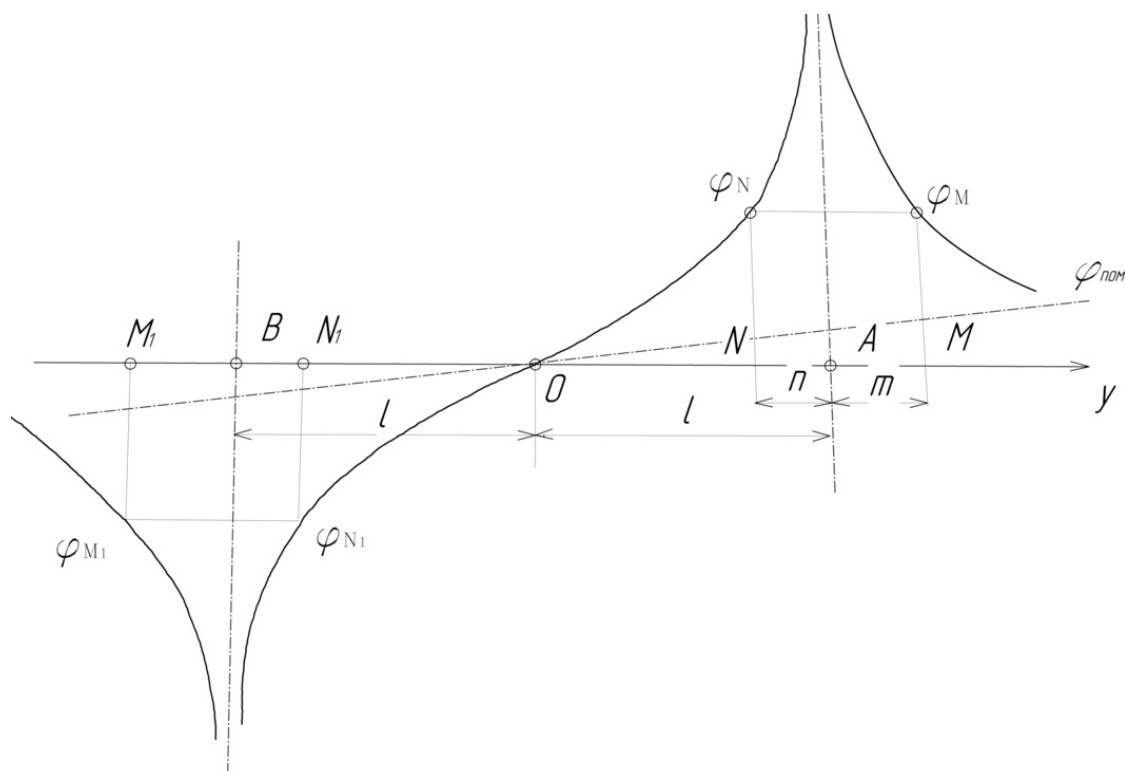


Рис 3 Распределение потенциала φ поля двух точечных источников в однородной среде

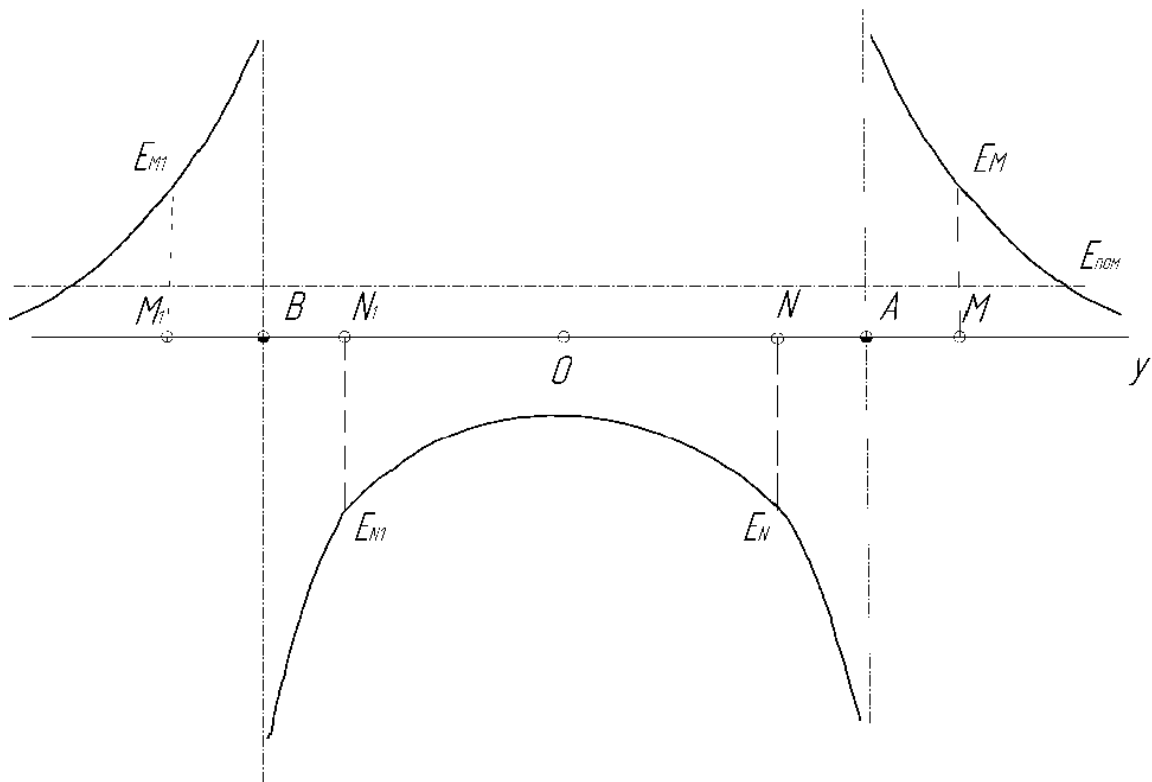


Рис 4 Распределение потенциала E_y поля двух точечных источников в однородной среде

Представим теперь, что на расстоянии d от центра физического диполя под действием механических напряжений возникла вертикальная плоская граница раздела со средой, проводимость которой $\sigma_2 = \sigma_1 + \Delta$. Такая расчетная модель представлена на рис 5 и для нее следует получить новые выражения для определения параметров поля. Используя метод неполного отражения, получим расчетную модель рис.6 для расчета поля в среде с проводимостью σ_1 . Для этой модели, используя принцип суперпозиции, можно вывести искомые расчетные соотношения. Рассмотрим случай, когда граница раздела лежит за точками наблюдения: $d > (l + r_M)$ или $d > (l + r_N)$. При этом с учетом $\sigma_2 = \sigma_1 + \Delta$ для коэффициента отражения будем иметь соотношение

$$K_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} = -\frac{\Delta}{2\sigma_1 + \Delta} = -\frac{\frac{\Delta}{2\sigma_1}}{1 + \frac{\Delta}{2\sigma_1}}. \quad (5)$$

Обозначив $\frac{\Delta}{2\sigma_1} = \delta$, и с учетом того, что $\delta \ll 1$, получим $K_{12} = -\frac{\delta}{1 + \delta} \approx -\delta$.

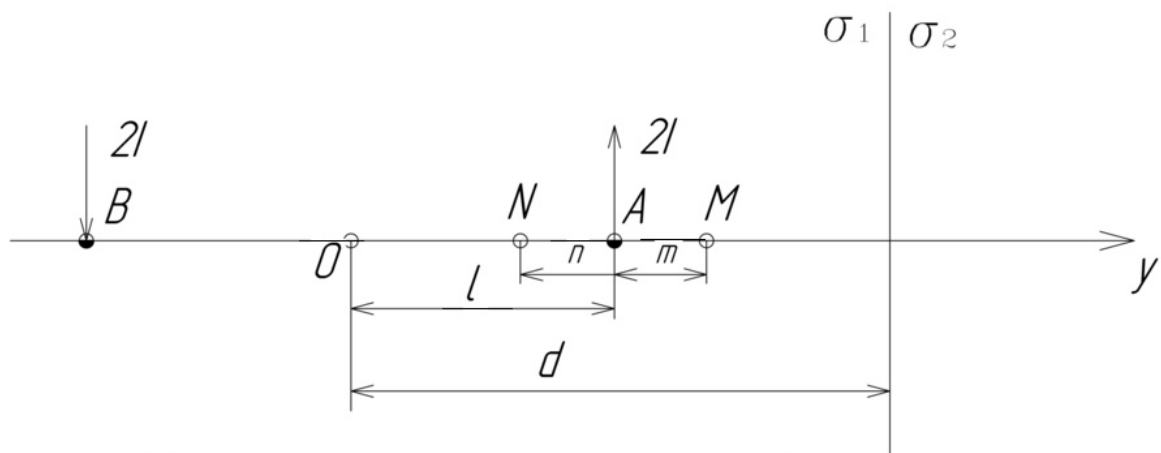


Рис 5 Расчетная модель при наличии вертикальной границы раздела

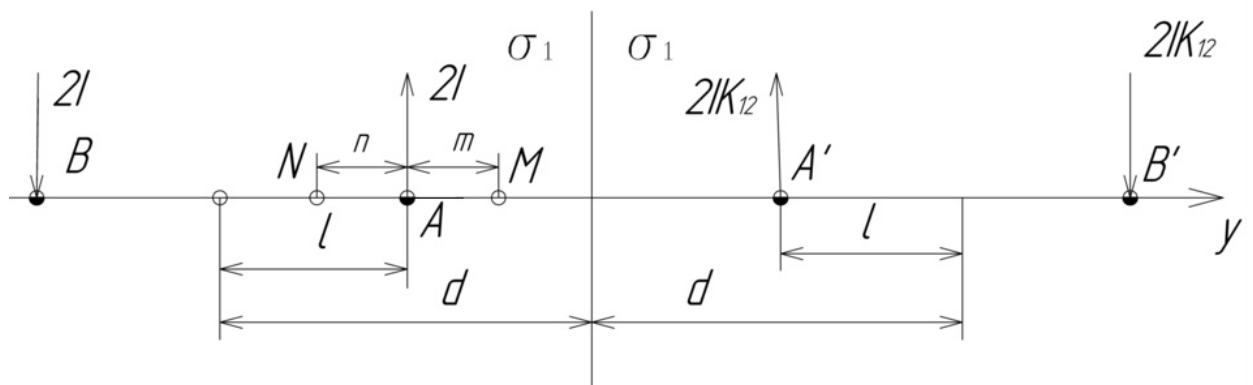


Рис 6 Модель для расчета поля в среде с проводимостью σ_1

Выражения для потенциала поля двух точечных источников в однородном полупространстве при наличии плоского контакта имеет вид:

$$\varphi = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \{ [\rho^2 + (y-l)^2]^{-1/2} - [\rho^2 + (y+l)^2]^{-1/2} + K_{12} \{ [\rho^2 + (2d-y+l)^2]^{-1/2} - [\rho^2 + (2d-y-l)^2]^{-1/2} \} \}. \quad (6)$$

При $\rho = 0$ в точке наблюдения $M (y_M = l + m)$ потенциал будет равен

$$\varphi_M = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{2l+m} \right) + K_{12} \left(\frac{1}{2d-m} - \frac{1}{2d-2l-m} \right) \right]. \quad (7)$$

В точке наблюдения $N (y_N = l - n)$ и при $\rho = 0$ потенциал определится выражением

$$\varphi_N = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{2l-n} \right) + K_{12} \left(\frac{1}{2d+n} - \frac{1}{2d-2l+n} \right) \right]. \quad (8)$$

Напряженность электрического поля двух точечных источников при наличии плоского контакта равна

$$E_y = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \{ (y-l)[\rho^2 + (y-l)^2]^{-3/2} - (y+l)[\rho^2 + (y+l)^2]^{-3/2} - \\ - K_{12} \{ (2d-y+l)[\rho^2 + (2d-y+l)^2]^{-3/2} - (2d-y-l)[\rho^2 + (2d-y-l)^2]^{-3/2} \} \}.$$

При $\rho = 0$ в точке наблюдения M

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

В точке наблюдения N

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

Обоснование выбора первичного преобразователя электрического поля

Пусть исходное состояние среды характеризуется наличием в области измерений неоднородности в виде вертикального контакта, разделяющего среду I с проводимостью σ_1 и среду II, где проводимость равна $\sigma_2 = \sigma_1 \pm \Delta_\sigma$. Индексом «О» обозначены значения величин в исходном состоянии среды. Наиболее распространены интегральные первичные преобразователи (ИПП), выполненные в виде контактных датчиков, у которых размер электродов много меньше размера их измерительной базы l_B - расстояния между электродами. Размеры ИПП соизмеримы с масштабом неоднородности электрического поля двух точечных излучателей и много меньше масштаба неоднородности поля естественной помехи. Напряжение холостого хода такого ПП равно разности потенциалов точек поля, в которых размещены его электроды. В исходном состоянии среды напряжение холостого хода равно $U_{XHO} = U_{MNO} = \varphi'_{MO} - \varphi'_{NO}$ и при выполнении условия компенсации (отсутствии сигнала на выходе ПП) это выражение должно быть равно нулю, т.е. точки наблюдения M и N с измерительными электродами должны располагаться на эквипотенциали исходного поля.

С учетом поля естественной помехи, которое в области расположения первичного преобразователя может быть представлено в виде однородного электрического поля с напряженностью $E_{II} = \text{const}$, потенциалы в точках M и N можно представить в виде суммы потенциала поля излучения и потенциала поля помехи $\varphi'_{MO} = \varphi_{MO} + \varphi_{номM}$, где $\varphi_{номM} = E_{II} m = E_{II} (l+m)$, а $\varphi'_{NO} = \varphi_{NO} + \varphi_{номN}$, где $\varphi_{номN} = E_{II} (l-n)$.

Тогда в случае размещения измерительных электродов на эквипотенциали исходного поля излучателей, когда

$$\varphi_{MO} = \varphi_{NO}, \quad (9)$$

напряжение холостого хода измерительных электродов будет равно

$$U_{XO} = \varphi'_{MO} - \varphi'_{NO} = E_{II}(m + n) \quad (10)$$

и не равно нулю. С целью компенсации поля помехи возле второго излучающего электрода В следует разместить два дополнительных измерительных электрода M_1 и N_1 (рис. 3).

При этом напряжение холостого хода на выходе второй пары электродов будет в соответствии с (7), (8) и рис. 3 равно по величине и противоположно по знаку напряжению на основных измерительных электродах. Это позволит при дальнейшей обработке сигналов с ИПП скомпенсировать сигнал, обусловленный наличием поля естественной помехи.

Определим соотношение между $r_M = m$ и $r_N = n$ для выполнения условия компенсации сигнала на выходе ПП, обусловленного полем излучателей при отсутствии возмущающего воздействия. Для этого подставим в (9) выражения φ_{MO} (7) и φ_{NO} (8). В результате преобразований получим произведение двух полиномов второй степени относительно m :

$$\begin{aligned} [m^2 + 2m(l - 2d) + 4d(d - l)] \{ m^2 [K_{12}l \cdot n(2l - n) - (2d + n)(2d + n - 2l)(l - n) + \\ + 2lm[K_{12}l \cdot n(2l - n) - (2d + n)(2d + n - 2l)(l - n)] + \\ + l \cdot n(2l - n)(2d + n)(2d + n - 2l)] \} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Первый полином в (11) не зависит от n , и поэтому это решение не рассматривается.

Решение уравнения, заключенного в фигурные скобки в (11), имеет вид:

$$m = -l \pm \sqrt{l^2 - \frac{l \cdot n(2l - n)(2d + n)(2d + n - 2l)}{K_{12}l \cdot n(2l - n) - (2d + n)(2d + n - 2l)(l - n)}}. \quad (12)$$

В относительных единицах это выражение представляется следующим образом:

$$M_{\varphi} = -1 \pm \sqrt{1 - N_{\phi} \frac{(2 - N_{\varphi})(2D + N_{\varphi})(2D + N_{\varphi} - 2)}{K_{12}N_{\varphi}(2 - N_{\varphi}) - (2D + N_{\varphi})(2D + N_{\varphi} - 2)(1 - N_{\varphi})}}, \quad (13)$$

где $N_{\varphi} = \frac{n}{l}$; $M_{\varphi} = \frac{m}{l}$; $D = \frac{d}{l}$.

Очевидно, что зависимость (13) может быть аппроксимирована формулой

$$M_{\varphi} = N_{\varphi} + \Delta_{mn} \quad (14)$$

Значения N_{φ} для $\Delta_{mn} = 0,01; 0,02; 0,04$ при различных D и Δ_o представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения N_φ для интегрального ПП

Δ_O	$D \setminus \Delta_{mn}$	0,01	0,02	0,04
0,0	1,5	0,2652683	0,3299291	0,4074923
	3,0	0,2652681	0,3299292	0,4074916
0,01	1,5	0,2670005	0,3322265	0,4106826
	3,0	0,2653290	0,3300054	0,4075877
0,1	1,5	0,2841623	0,3553940	0,4442083
	3,0	0,2658572	0,3306659	0,4084119

Расчеты показали, что при $N_\varphi < 0,2$, $\Delta_{mn} \leq 0,005$ т.е. равенство $M_\varphi = N_\varphi$ выполняется с погрешностью менее 0,5% и практически не зависит от величины D , Δ_O . С увеличением N_φ возрастает Δ_{mn} , следовательно, электрод M для компенсации исходного поля излучающих электродов следует удалить от электрода A на большее расстояние, чем электрод N . При этом возрастает $l_B = r_M + r_N = m + n$, а значит и величина сигнала на выходе ИПП, обусловленного полем однородной помехи. Данные таблицы позволяют заключить: с увеличением Δ_O - скачка проводимости в зоне вертикального контакта при отсутствии возмущающего воздействия, увеличиваются значения r_N при $\Delta_{mn} = \text{const}$. Так увеличение Δ_O с 0,0 до 0,1 приводит к возрастанию N_φ на (6...10)% при $D = 1,5$. При $D = 3$ это возрастание N_φ существенно меньше и составляет (0,2...0,3)%. Таким образом, на основании анализа проведенных расчетов можно сделать заключение, что условие компенсации исходного поля излучателей в присутствии вертикального плоского контакта выполняется

- а) для расположения измерительных электродов вблизи точки A для $r_N < 0,2l$ при $r_M = r_N$ с погрешностью менее 0,5%;
- б) для более удаленных от точки A измерительных электродов ($r_N \geq 0,2l$) $r_M > r_N$.
- Причем последнее неравенство усиливается с увеличением r_N .

Рассмотрим механизм формирования на выходе ИПП сигнала при появлении возмущающего воздействия. В результате возмущающего воздействия, проявляющегося в изменении напряженно-деформационного состояния среды II, происходит изменение удельной электропроводности σ_2 . Она становится равной $\sigma_2 = \sigma_1 + \Delta$, где

$\Delta = \Delta_O + \Delta_{\text{возм}}$, т.е. в месте границы раздела сред, появляется скачок проводимости на расстоянии d от центра излучающего физического диполя. Предполагается, что место расположения вертикального контакта находится за точками наблюдения, т.е. $d > (l + m)$. При этом на выходе основного ИПП, расположенного вблизи излучающего электрода A (ИППА), возникает сигнал

$$U_{xA} = \varphi'_M - \varphi'_N = \varphi_M + \varphi_{\text{ном}M} - \varphi_N - \varphi_{\text{ном}N} = \varphi_M - \varphi_N + E_n(m + n), \quad (15)$$

где $\varphi_{\text{ном}M} = E_n(l + m)$; а $\varphi_{\text{ном}N} = E_n(l - n)$.

Исходя из предположения, что искажение исходного поля, вызванное появлением скачка удельной электропроводности в окрестности второго излучающего электрода B , пренебрежимо мало, можно утверждать, что сигнал на выходе дополнительного ИППВ будет обусловлен только полем естественной помехи с учетом того, что исходное поле скомпенсировано расположением измерительных электродов M, N и M_1, N_1 на его эквипотенциалах:

$$\varphi_{Mo} = \varphi_{No}; \quad \varphi_{M1o} = \varphi_{N1o}. \quad (16)$$

С учетом (16) на выходе ИППВ формируется сигнал (рис.3)

$$U_{xB} = \varphi_{M1} - \varphi_{N1} = -\varphi_{M1o} - E_n(l + m) - (-\varphi_{N1o}) - [-E_n(l - n)] = -E_n(m + n). \quad (17)$$

Как следует из (16) и (17) для компенсации сигнала помехи следует сложить U_{xA} и U_{xB} , при этом на выходе измерительного устройства получим полезный сигнал

$U_x = U_{xA} + U_{xB}$, обусловленный появлением скачка электропроводности $\Delta_{\text{возм}}$. С учетом (7) и (8) напряжение на выходе измерителя изменений удельной электропроводности среды будет определяться выражением

$$U_{xMN} = U_{xA} + U_{xB} = \varphi_M - \varphi_N = \frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{2l+m} - \frac{1}{n} + \frac{1}{2l-n} \right) + K_{12} \left(\frac{1}{2d-m} - \frac{1}{2d-2l-m} - \frac{1}{2d+n} + \frac{1}{2d-2l+n} \right) \right]. \quad (18)$$

Представляется интересным рассмотреть случай, когда $m = n = r_o$. При этом

$$U_{xMN} = \varphi_M - \varphi_N = \frac{Ir_o}{\pi\sigma_1} \left[\frac{1}{4l^2 - r_o^2} - K_{12} \frac{2[(4d^2 - r_o^2) - 2l(2d-l)]}{(4d^2 - r_o^2)[4(d-l)^2 - r_o^2]} \right]. \quad (19)$$

Из (18,19) следует, что сигнал на выходе измерительного устройства зависит от относительного изменения электропроводности, т.к.

$$K_{12} \approx -\delta = \frac{\Delta_o + \Delta_{\text{возм}}}{2\sigma_1}. \quad (20)$$

Для определения величины сигналов на выходе ИППА и ИППВ при появлении возмущающего воздействия $\Delta_{\text{возм}}$ были рассчитаны значения функций $f_{1\varphi} = \frac{U_{xMN}}{2I/4\pi\sigma_1}$ и

$$f_{2\varphi} = \frac{U_{xM_1N_1}}{2I/4\pi\sigma_1}, \text{ где}$$

$$U_{xM_1N_1} = \varphi_{M_1} - \varphi_{N_1} = -\frac{2I}{4\pi\sigma_1} \left[\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{2l+m} + \frac{1}{n} + \frac{1}{2l-n} \right) + K_{12} \left(\frac{1}{2d+2l+m} - \frac{1}{2d+m} + \frac{1}{2d-n} - \frac{1}{2d+2l-n} \right) \right]. \quad (21)$$

Графики зависимостей $f_{\varphi}(\Delta_{\text{возб}})$ представлены на рис.7.

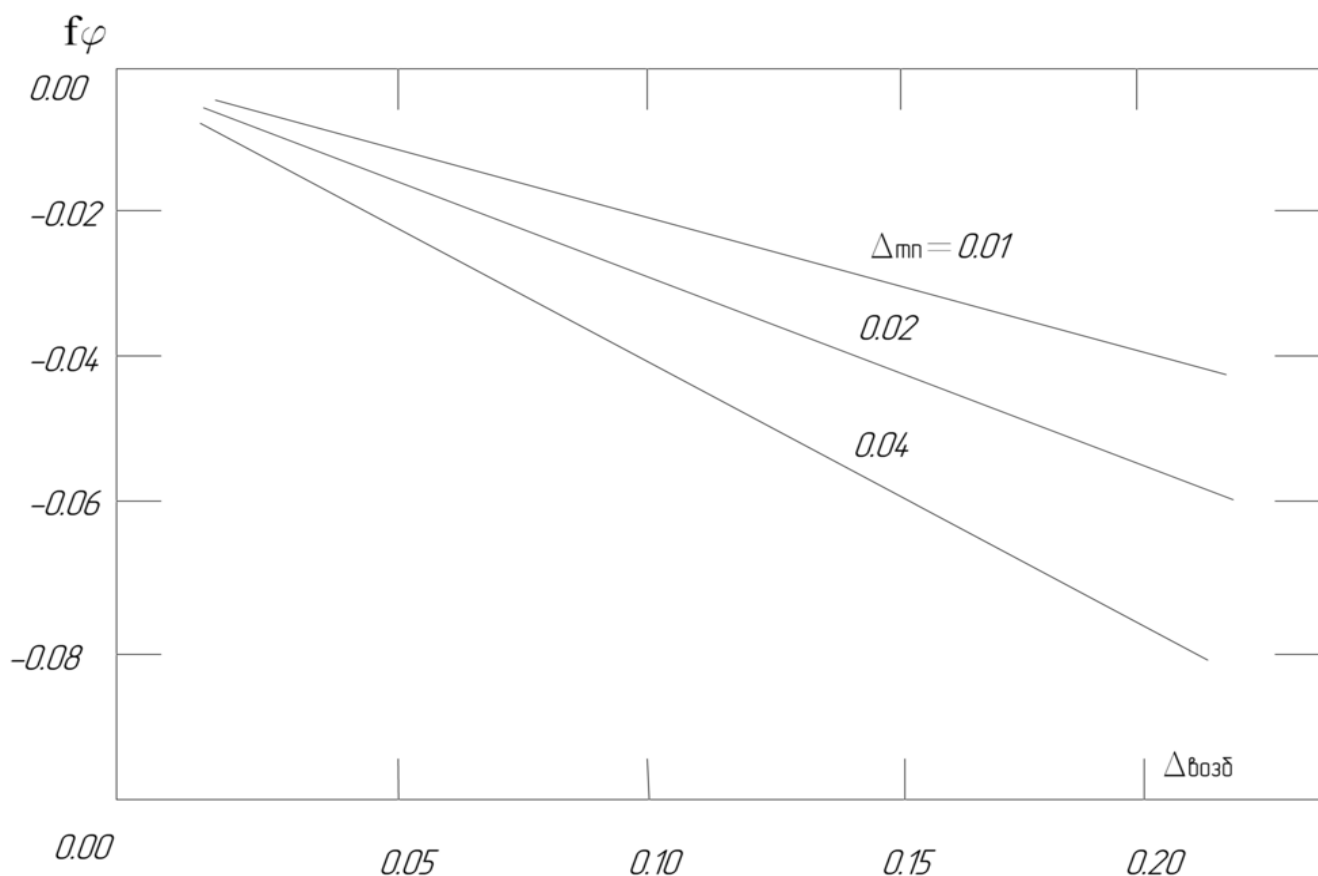


Рис 7 Зависимость $f_{\varphi}(\Delta_{\text{возб}})$ при $\Delta_0 = 0.01$; $D=1.5$

Сравнение величин $f_{1\varphi}$ и $f_{2\varphi}$ для одних и тех же параметров d , Δ_o и $\Delta_{возм}$ показывает превышение в 10 и более раз величины сигнала на выходе ИППА над сигналом на выходе ИППВ.

Расположение электродов в случае использования трехкомпонентных датчиков проанализировано в работе [5].

Функциональная блок-схема датчика, использующего ИПП, представлена на рис.8.

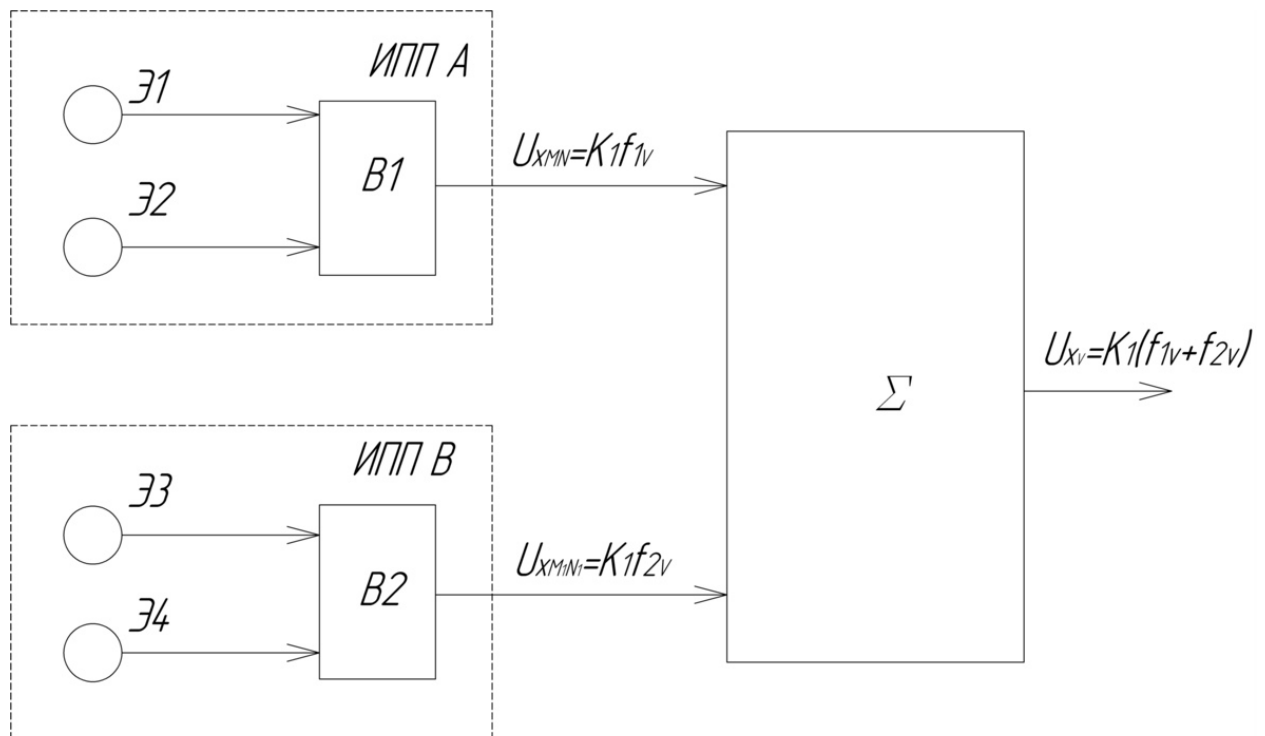


Рис 8 Функциональная блок-схема датчика

Датчик на базе ИПП содержит два первичных преобразователя ИППА и ИППВ, размещенных соответственно в окрестности излучающих электродов A и B и имеющих по два измерительных электрода в точках M и N ($\mathcal{E}1, \mathcal{E}2$) и M_1, N_1 ($\mathcal{E}3, \mathcal{E}4$) [4]. Выходной сигнал каждого ИПП представляет собой разность потенциалов измерительных электродов, и при выполнении условия компенсации поля излучающих электродов, как отмечалось ранее, содержит только составляющую, обусловленную наличием поля естественной помехи. Для ИППА этот сигнал помехи положителен, для ИППВ отрицателен (рис.3). С целью компенсации сигналов помехи сигналы с выхода ИППА и ИППВ поступают на сумматор Σ , на выходе которого формируется сигнал $U_{x\varphi}$, пропорциональный величине $(f_{1\varphi} + f_{2\varphi})$. При расположении излучающих электродов A и B на расстоянии $l_{AB} = 2l$

друг от друга, когда $l_{AB} < r_k$, где r_k - интервал корреляции поля помехи, поле помехи в месте установки датчика можно считать однородным. При этом сигналы помехи на выходе ИППА и ИППВ будут равны по величине и противоположны по знаку, и выходной сигнал датчика $U_{\text{хф}}$ равен нулю. При появлении скачка проводимости, вызванного деформацией среды, изменяется картина поля в месте расположения измерительных электродов и на выходе датчика появляется сигнал, пропорциональный возмущающему воздействию.

Выводы

Приведенный расчет потенциала и 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 ПП 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 ПП, расположенные около второго излучающего электрода. Основные и дополнительные ПП 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 больше r_N на Δ_{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 ПП.

Численными методами были получены значения r_N и r_M , при которых выполняется условие компенсации поля излучателей для различных Δ_{mn} и фиксированных значениях коэффициента отражения. Получены зависимости выходных сигналов основных и дополнительных ПП при различных возмущающих воздействиях и различной геометрии расположения ПП. Эти данные позволяют рассчитать коэффициент преобразования измерителя изменений удельной электропроводности при известном расположении ПП, оценить относительное его изменение при изменении возмущающего воздействия.

Список литературы

1. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах.- М.: Энергоатомиздат, 1985. 255 с.
2. Способ измерения временных вариаций кажущейся удельной электрической проводимости Земли и устройства для его осуществления. .Патент на изобретение № 94025990/25/ Е.Ф. Зимин, О.И.Мисеюк, И.И. Плаксин. Бюллетень изобретений, 1996, № 18.
3. 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.
4. Электроразведка. Справочник геофизика. Кн. 1 М.: Недра, 1989 437 с.
5. Зимин Е.Ф., Мисеюк О.И., Плаксин И.И. Расчет параметров электродных систем многокомпонентных датчиков напряженности электрического поля для проводящих сред.//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Естественные науки». 1998. №1. С.79 – 86.

About the way of measurement of temporal variations of Earth's electric conductivity

77-30569/338840

03, March 2012

Miseyk O.I.

Bauman Moscow State Technical University
omiseyuk@mail.ru

This author considers the design of a tuner of medium electric conductivity mounted in an anthropogenic impact zone. Correlations which allow determining the configuration of the position of primary transducer electrodes compensating the noise signal were obtained. A block scheme of the sensor which measures medium electric conductivity was proposed; compensation of signals of the noise field and the field of the undisturbed medium was implemented in the sensor.

Publications with keywords: [primary converter](#), [the specific electrical conductivity](#), [the disturbance](#), [the measuring electrode](#), [electromagnetic field](#), [the boundary-fence of the media](#)
Publications with words: [primary converter](#), [the specific electrical conductivity](#), [the disturbance](#), [the measuring electrode](#), [electromagnetic field](#), [the boundary-fence of the media](#)

References

1. 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.
2. 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.
3. Gokhberg M.B., Gufel'd I.L., Gershenson 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.
4. *Elektrorazvedka: Spravochnik geofizika* [Electrical exploration: A handbook for geophysicists]. Moscow, Nedra Publ., 1989, book 1. 437 p.

5. Zimin E.F., Miseiuk O.I., Plaksin I.I. Raschet parametrov elektrodnykh sistem mnogokomponentnykh datchikov napriazhennosti elektricheskogo polia dlia provodiashchikh sred [Calculation of the electrode systems of multicomponent sensors of the electric field intensity for conductive media]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennye nauki* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Natural Sciences], 1998, no. 1, pp. 79-86.