

А. М. АСЛАНЯН

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОДАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ ПРИ РАБОТАХ МЕТОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В настоящее время, в связи с развитием промышленных центров, электрификацией железных дорог, шахтного и рудничного транспорта, определенные территории Советского Союза и, в частности, Армянской ССР охвачены нестационарными электрическими полями.

В зависимости от мощности источников электрических помех и конкретных геоэлектрических условий радиус действия этих полей колеблется от нескольких сот метров до 10—15 км. Особенно сильны эти поля в районах действующих рудников и рудных объектов, где интенсивность поля помех достигает сотен милливольт, практически исключая применение в этих районах методов ВП и постоянного тока.

В настоящей работе сделана попытка применить компенсационный способ подавления нестационарных электрических полей, исходя из нижеследующего.

Расположим установку $AM_1N_1M_2N_2B$ (рис. 1) в поле нестационарных электрических помех на некотором расстоянии от источника этого поля Q .

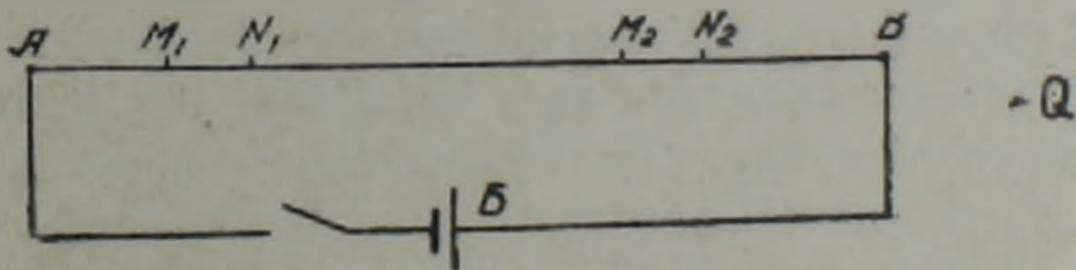


Рис. 1. Расположение питающих и приемных электродов с источником поля помех.

До включения батареи B в питающую цепь AB в приемных линиях M_1N_1 и M_2N_2 возникнут переменные разности потенциалов, ΔU_1 и ΔU_2 , вызванные Э. Д. С. источника переменного поля Q .

Для простоты примем, что источник переменного поля Q вырабатывает гармоническую Э. Д. С. вида

$$\varepsilon = E_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где E_m — наибольшее значение, ε , ω — круговая частота, t — мгновенные значения времени, φ — начальная фаза.

В приемных линиях M_1N_1 и M_2N_2 возникнут переменные разности потенциалов

$$\Delta U_1 = \Delta U_{m_1} \sin(\omega t + \varphi_1) \quad \text{и} \quad \Delta U_2 = \Delta U_{m_2} \sin(\omega t + \varphi_2). \quad (2)$$

Если поле низкочастотное, в удельном сопротивлении пород преобладает омическое сопротивление и разность начальных фаз $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, то отношение

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{\Delta U_{m_1} \sin(\omega t + \varphi_1)}{\Delta U_{m_2} \sin(\omega t + \varphi_2)} = \text{const} \quad (3)$$

в любой момент t .

Если частота поля (ω) не превышает 20 герц, то оно с точностью достаточной для практики, подчиняется законам постоянного тока и для неоднородного полупространства отношение (3) примет вид:

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{\rho_{k_1} \cdot K_2}{\rho_{k_2} \cdot K_1},$$

где ρ_{k_1} и ρ_{k_2} — кажущиеся удельные сопротивления пород между M_1N_1 и M_2N_2 , обусловленные глубиной охвата, которую обеспечивает в данном геоэлектрическом разрезе геометрия установок M_1N_1-Q и M_2N_2-Q ; K_1 и K_2 соответствующие коэффициенты установок.

Когда частота поля помех становится больше 20 герц, но меньше 1 килогерца, ρ_{k_1} и ρ_{k_2} заменяются комплексными величинами $\rho_1(\omega)$ и $\rho_2(\omega)$, зависящими от частоты поля помех, соответствующим условиям выражения (3), т. е.

$$\frac{\Delta U_1(\omega)}{\Delta U_2(\omega)} = \frac{\rho_1(\omega) \cdot K_2}{\rho_2(\omega) \cdot K_1}.$$

В действительности поля нестационарных электрических помех только в частном случае бывают гармоническими. В общем случае они являются результатом наложения ряда гармонических и постоянных полей, суммарное поле которых несинусоидально и имеет довольно сложный характер.

Однако, как показывают наблюдения, выполненные в разных районах Армянской ССР (3), $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \text{const}$ или $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ соблюдается с достаточной для практики строгостью.

На рис. 2а и 2б приводятся осциллографические записи поля электрических помех, выполненные одновременно по двум каналам в случае, когда приемные электроды M_1N_1 неподвижны, а M_2N_2 перемещаются по профилю, удаляясь от M_1N_1 до 1 км.

Кривые показывают, что разности потенциалов неподвижной и подвижной парой электродов, несмотря на значительную удаленность, изменяются во времени синхронно.

Ниже рассматривается схема электрической связи между M_1N_1 и M_2N_2 . Для этого соединим концы приемных линий в мостиковую схему, как показано на рис. 3. При этом величины R и R_1 подберем настолько большими, чтобы можно было пренебречь переходными сопротивлениями приемных электродов. Получим сложную цепь с тремя источниками

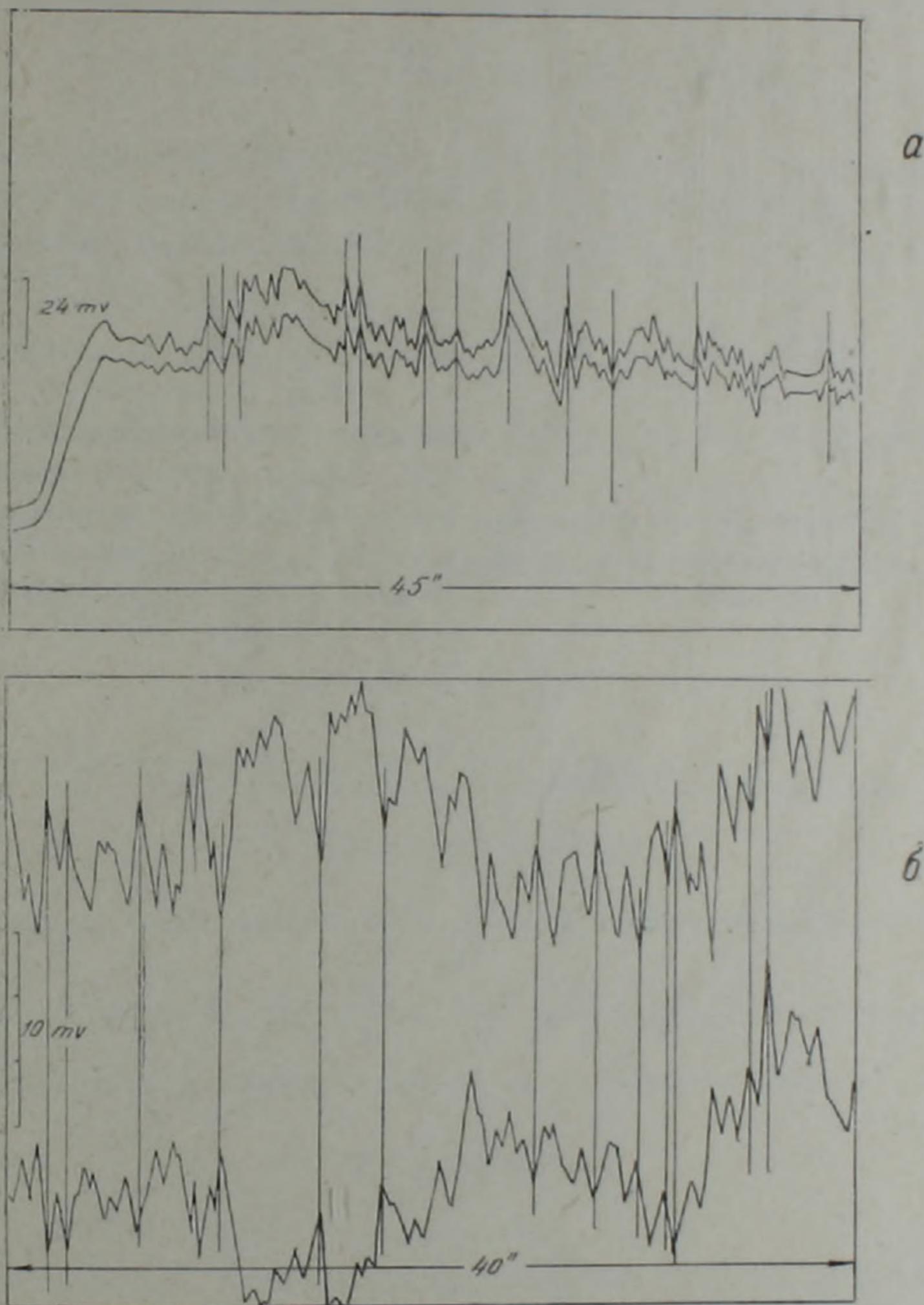


Рис. 2. а) Записи поля электрических помех от электрифицированной железной дороги в районе Алавердского рудного поля.
 б) Записи поля электрических помех от электрифицированного рудничного транспорта и силовых установок Кафанского рудника.

разности потенциалов Δu_1 , Δu_{12} , Δu_2 . Примем положительными те значения Δu и J , которые совпадают с направлением стрелок на рисунке, и составим систему уравнений по трем контурам (I, II, III):

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= J_1 r_1 + J_3 r_3 - J_4 r_4 & J_1 &= J_2 + J_3 \\ \Delta U_{12} &= J_4 r_4 + J_5 r_5 & J_5 &= J_4 + J_3 \\ \Delta U_2 &= J_2 r_2 - J_3 r_3 - J_5 r_5 \end{aligned} \quad (4)$$

решим их относительно ΔU_1 и ΔU_2

$$\begin{aligned} \Delta U_1 r_2 - \Delta U_2 r_1 &= J_3 \cdot (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3 + r_2 r_4) - J_5 (r_2 r_4 - r_1 r_5) = \\ &= \Delta U_3 \left(\frac{r_1 r_2}{r_3} + r_2 + r_1 + \frac{r_2 r_4}{r_3} \right) - J_5 (r_2 r_4 - r_1 r_5) \end{aligned}$$

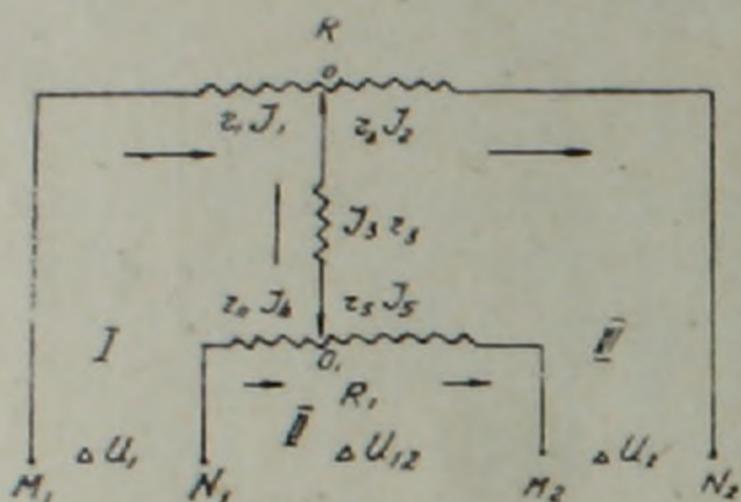


Рис. 3. Компенсационная мостиковая схема соединения приемных линий $M_1 N_1$ и $M_2 N_2$.

Разорвем цепь r_3 , ($r_3 = \infty$), получим

$$\begin{aligned} \Delta U_1 r_2 - \Delta U_2 r_1 &= \Delta U_3 \cdot R - \\ &- J_5 (r_2 r_4 - r_1 r_5), \end{aligned} \quad (5)$$

где ΔU_3 — разность потенциалов между точками $O - O_1$.

Выберем сопротивление $R = r_1 + r_2$ и $R_1 = r_4 + r_5$ равными между собой с синхронно меняющимися плечами r_1, r_2 , и r_4, r_5 так, чтобы постоянно осуществлялось равенство $r_2 \cdot r_4 = r_1 \cdot r_5$, т. е.

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_5} \quad (6)$$

тогда последний член уравнения (5) превратится в нуль.

$$\Delta U_1 r_2 - \Delta U_2 r_1 = \Delta U_3 R \quad (7)$$

Изменяя соотношение плеч $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_5}$, уравновесим мостик, т. е.

добьемся такого соотношения $\frac{r_{1a}}{r_{1b}}$ и $\frac{r_{4a}}{r_{4b}}$, когда разность потенциалов между точками O и O_1 будет равняться нулю ($\Delta U_3 = 0$). Получим

$$\Delta U_1 r_2 - \Delta U_2 r_1 = 0 \quad (8)$$

или

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{r_{1a}}{r_{1b}} \quad (9)$$

Практически подключив измерительный прибор к точкам O и O_1 и добившись положения, когда $\Delta U_3 = 0$, осуществляем компенсацию разности потенциалов поля помех на выходе установки. После компенсации поля помех ($\Delta U_3 = 0$) включим батарею питающей цепи АВ (рис. 1). В приемных линиях $M_1 N_1$ и $M_2 N_2$ возникнут добавочные разности потенциалов $\Delta V_{пр1}$ и $\Delta V_{пр2}$.

В общем случае $\frac{\Delta V_{пр1}}{\Delta V_{пр2}} = \frac{\rho_{k_1 k_2}}{\rho_{k_2 k_1}}$ не равно $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{r_1}{r_2}$,

так как обусловлено иной геометрией установок AM_1N_1B и AM_2N_2B и иным охватом глубин. Следовательно, в общем случае, при выбранных r_1 ; r_2 ; r_4 ; r_5

$$\frac{\Delta V_{пр1}}{\Delta V_{пр2}} \neq \frac{r_1}{r_2}, \text{ тогда как } \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{r_1}{r_2}.$$

Это означает, что для $\Delta V_{пр1}$ и $\Delta V_{пр2}$ имеем неуравновешенный мостик сопротивления, на выходе которого возникнет некомпенсированная разность потенциалов пропускания $\Delta V_{пр1}$, которая (согласно 7) равняется

$$\Delta V_{пр1} = \frac{\Delta V_{пр1} \cdot r_2 - \Delta V_{пр2} \cdot r_1}{R} \quad (10)$$

Аналогичным образом, после выключения тока I в цепи АВ, в приемных линиях M_1N_1 и M_2N_2 возникнут разности потенциалов $\Delta V_{вп1}$ и $\Delta V_{вп2}$, отношение которых в общем случае также не будет удовлетворять равенству (9) и между точками $O-O_1$ возникнет некомпенсированная разность потенциалов $\Delta V_{вп1}$,

$$\Delta V_{вп1} = \frac{\Delta V_{вп1} \cdot r_2 - \Delta V_{вп2} \cdot r_1}{R} \quad (11)$$

Решая совместно равенства (10) и (11) и учитывая, что

$$\frac{\Delta V_{вп1}}{\Delta V_{пр1}} = \gamma_{11} \text{ и } \frac{\Delta V_{вп2}}{\Delta V_{пр2}} = \gamma_{12}$$

получим

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \frac{\Delta V_{вп2} \cdot r_1 + \Delta V_{вп1} \cdot R}{\Delta V_{пр1} \cdot r_1 + \Delta V_{пр2} \cdot R} = \frac{\gamma_{12} \cdot \Delta V_{пр2} \cdot r_1 + \Delta V_{вп1} \cdot R}{\Delta V_{пр1} \cdot r_1 + \Delta V_{пр2} \cdot R} = \\ &= \frac{\gamma_{12} + \frac{\Delta V_{вп1} \cdot R}{\Delta V_{пр1} \cdot r_1}}{1 + \frac{\Delta V_{пр2} \cdot R}{\Delta V_{пр1} \cdot r_1}} \end{aligned} \quad (12)$$

В частном случае, когда мостик сопротивления окажется уравновешенным для

$$\Delta V_{пр1} \text{ и } \Delta V_{пр2} (\Delta V_{пр2} = 0),$$

получим

$$\gamma_{11} = \gamma_{12} + \frac{\Delta V_{вп1} \cdot R}{\Delta V_{пр1} \cdot r_1} \quad (13)$$

а когда

$$\Delta V_{вп1} = 0$$

$$\tau_{11} = \frac{\tau_{12}}{1 + \frac{\Delta V_{\text{пр}_2} \cdot R}{\Delta V_{\text{пр}_2} \cdot r_1}} \quad (14)$$

В случае, когда

$$\Delta V_{\text{вп}_2} = 0 \quad \text{и} \quad \Delta V_{\text{пр}_2} = 0 \quad \tau_{11} = \tau_{12}, \quad (15)$$

значения $\Delta V_{\text{пр}_1}$, $\Delta V_{\text{вп}_2}$ и r_1 измеряются или определяются при каждой перестановке измерительной приемной линии M_1N_1 .

Величина R для мостиковой схемы постоянна.

Работа методом срединных градиентов с компенсационной схемой практически осуществляется следующим образом.

1. Подготавливается питающая линия АВ.

2. Электроды компенсационной линии M_2N_2 располагаются в непосредственной близости от одного из питающих электродов А или В, на прямой, соединяющей А и В. В приэлектродной зоне $\Delta V_{\text{пр}_2}$ и $\Delta V_{\text{вп}_2}$ сильно возрастают согласно

$$\Delta V_2 = \frac{J_{\rho k_2}}{2\pi} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} - \frac{1}{L-x_1} + \frac{1}{L-x_2} \right),$$

где

x_1 —расстояние от А до ближайшего приемного электрода M_2 , x_2 —от А до электрода N_2 ,

L —длина АВ. При $x_1 \rightarrow 0$ $\Delta V_{\text{вп}_2}$ и $\Delta V_{\text{пр}_2} \rightarrow \infty$

Добившись уверенного сигнала от постоянного тока и поля ВП в компенсационной линии M_2N_2 , превышающей на порядок ΔU_2 поля помех, определяем $\Delta V_{\text{вп}_2}$, $\Delta V_{\text{пр}_2}$ и τ_{12} .

3. Компенсационная линия M_2N_2 соединяется с измерительной линией M_1N_1 мостиковой схемой, после чего синхронным перемещением ползунков R и R_1 достигается нулевое показание на измерительном приборе.

Определяются величины r_1 , r_2 и их отношение $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$.

4. Включается ток в цепи АВ и измеряется $\Delta V_{\text{пр}_1}$ со знаком плюс или минус, в соответствии с условно принятой полярностью отброса стрелки прибора.

5. После выключения тока берется отсчет $\Delta V_{\text{вп}_1}$ также с учетом полярности отброса стрелки прибора.

6. Определяется τ_{12} используя в зависимости от полученных результатов одно из выражений (12), (13), (14), (15).

7. M_1N_1 переносится с соблюдением полярности и производится измерение на новой точке.

К сказанному можно добавить, что кроме определения параметров τ_{12} и r_1 , описанный метод позволяет определить и сравнить отношения разности потенциалов помех $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$ и полезного сигнала пропу-

скания $\frac{\Delta V_{\text{пр}_1}}{\Delta V_{\text{пр}_2}}$. Так как источник поля электрических помех в большинстве случаев удален от приемных электродов на большее расстояние, чем питающая диполь установки АВ, очевидно, что ΔU_1 и ΔU_2 будут отражать распределения плотности токовых линий при большей глубине охвата, чем $\Delta V_{\text{пр}_1}$ и $\Delta V_{\text{пр}_2}$. Следовательно, отношение $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$ будет характеризовать поведение исследуемых объектов на большей глубине, чем $\frac{\Delta V_{\text{пр}_1}}{\Delta V_{\text{пр}_2}}$.

Предлагаемый способ подавления электрических помех прост, не требует добавочной сложной аппаратуры и существенных добавочных затрат времени на осуществление измерений.

Управление геологии Армянской ССР

Поступила 30 VII.1975.