

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРВИЧНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И СПОСОБЫ ЕГО НОРМИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕТОДОМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

© 2004 г. А. К. Матевосян

Институт геологических наук НАН РА
375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения
E-mail: ramelk@sci.am
Поступила в редакцию 16.01.2004 г.

В статье впервые дана классификация первичного электрического поля блуждающих токов (БТ) и представлены способы его нормирования в полевом пункте. Рассмотрены признаки, характеризующие электрическое поле БТ и позволяющие его систематизировать. Они подразделены на временные (признаки стационарности и стабильности), пространственно-временные (признак однородности) и пространственные (признак линейности). Согласно приведенным признакам поле блуждающих токов за весь исследуемый цикл измерений в различных пунктах наблюдений в пределах планшета съемки может проявляться как квазистационарное или вовсе отсутствовать, квазистабильное, нестабильное и нулевое. Квазистабильное и нестабильное поле может быть квазиоднородным или неоднородным. В свою очередь неоднородное поле подразделяется на квазилинейное и нелинейное. Такая классификация поля БТ дает возможность выбрать правильную и оптимальную методику исследований методом блуждающих токов.

Приведены способы нормирования поля БТ в полевом пункте: по одному – ныне используемый, и предлагаемые – по двум, трем и более базисным пунктам, скользящим окном.

Метод блуждающих токов (БТ) (Инструкция по электроразведке, 1984; Скважинная и шахтная рудная геофизика, 1989; Электроразведка, 1989) применяется при решении различных геологоразведочных, инженерно-геологических, эколого-геофизических задач в районах разведываемых и эксплуатируемых месторождений, где зачастую применение традиционных электроразведочных методов (сопротивлений, вызванной поляризации, естественного электрического поля, заряда и др.), основанных на изучении характеристик искусственных или естественных электрических полей, затруднено или практически невозможно.

Однако, до сих пор метод БТ играет второстепенную роль при геофизических исследованиях и не получил должного практического применения из-за плохой воспроизводимости и низкой информативности измерений, что в первую очередь обусловлено отсутствием детальных теоретических и экспериментальных исследований в области изучения пространственно-временных характеристик техногенного электромагнитного поля (ТЭМП) для произвольных типов источников блуждающих токов.

Наиболее полный и всесторонний анализ работ в области исследования первичного электрического поля блуждающих токов выполнен В.Б.Гамояном (1986, 1987, 1989; Гамоян, Геворкян, 1987; Гамоян, Унусян, 1986). Им усовершенствованы различные физико-математические модели источников поля помех на рудниках, аппроксимируя их системой кусочно-однородных или точечных источников тока, и разработаны теоретические основы, методика и аппаратура исследований методом БТ, основанные на определении закона изменения тока утечки в землю из рельсов вдоль железнодорожного полотна и положения электровоза в момент наблюдения. С этих позиций изучено распределение потенциала и напряженности электрического поля помех от

сложных источников БТ в однородно-изотропной, однородно-анизотропной и неоднородных средах при наличии контакта разных пород, пластобразного, сферического, цилиндрического и более сложных геологических неоднородностей.

Таких же научных взглядов придерживаются и ряд других исследователей (Бахирева, Просунцева, 1996; Бобровников, 1996; Вишнев, 1996; Григорьев и др., 1996), считая, что основным недостатком метода БТ является то обстоятельство, что поле электрических помех формируется под воздействием множества нестационарных источников. В связи с этим основные их усилия ориентированы в двух направлениях: во-первых, на разработку способов и приемов ослабления влияния нестабильности источников, позволяющих выделять из совокупности разнообразных аперiodических импульсов техногенного электромагнитного поля тяговой сети железной дороги однотипные по структуре источника полезные сигналы; и, во-вторых, на сборе необходимых сведений о системе энергоснабжения электровозов и попытках их классифицировать для таких исследований. Иными словами, основная задача при разработке и совершенствовании методики исследований БТ сводится к вычислению коэффициента учета взаимного положения точечных источников помех и точек наблюдений, как в методе сопротивлений, с чем и связаны все трудности реализации качественных полевых исследований этим методом.

В конечном итоге эффективность практического использования ныне применяемых способов и приемов весьма низка (сомнительна), поскольку все они основаны на нормировании поля БТ в полевом пункте по результатам наблюдений в одном базисном пункте, независимо от характера его проявления в пределах исследуемого планшета съемки, что не позволяет полноценно исследовать как нестационарное электрическое поле помех, так и составить представление о рас-

пределении удельного электрического сопротивления в изучаемой геоэлектрической среде по особенностям его распространения.

Классификация первичного электрического поля БТ

Сперва рассмотрим признаки, характеризующие электрическое поле блуждающих токов и позволяющие его систематизировать, что необходимо для выбора оптимальной (эффективной) методики исследований. Их за весь цикл измерений (исследуемый интервал времени) на поверхности однородной изотропной геоэлектрической среды (при пренебрежении вторичным электрическим полем БТ) можно разделить на временные (признаки стационарности и стабильности), пространственно-временные (признак однородности) и пространственные (признак линейности).

• *Признак стационарности (постоянства) поля БТ в пункте наблюдений.*

Годограф вектора напряженности поля БТ — точка.

Источник поля БТ:

• один или множество точечных (или линейных) источников, расположенных на поверхности или внутри геоэлектрической среды при условии, что токи, пропускаемые в каждом из них, — постоянны.

Присутствие поля БТ за такой цикл измерений обнаружить невозможно, поскольку оно накладывается на естественное электрическое поле и в процессе исследований с ним отождествляется.

• *Признак стабильности (устойчивости) поля БТ в пункте наблюдений.*

Годограф вектора напряженности поля БТ — прямая линия. Поскольку векторы напряженности поля БТ за произвольные два промежутка времени — коллинеарны, то тензорные параметры ψ (Матевосян, 1987, 1992) — не определены. Коэффициент корреляции между двумя (в частности x - и y -), отличными от нуля, составляющими поля БТ равен ± 1 .

Источник поля БТ:

• один, точечный и неподвижный;
• множество точечных (или линейных) источников, расположенных на дневной поверхности и на одной прямой с данным пунктом;

• множество точечных источников, при условии, что отношение токов, проходящих в каждом из них, к их суммарной величине — постоянно.

Нормирование поля требует использования данных двух и более базисных пунктов, расположенных в пределах планшета (Матевосян, 1987, 1992).

• *Признак однородности (равномерности) поля БТ для произвольных пунктов исследуемого планшета.*

Годографы вектора напряженности поля БТ — идентичны. Тензорные параметры ψ — определены при нестабильности поля БТ: в случае, когда векторы плотности тока за рассматриваемые два промежутка времени — неколлинеарны.

Коэффициент корреляции между соответствующими (в частности x - или y -), отличными от нуля, составляющими вектора плотности тока поля БТ равен ± 1 .

Расстояние до источников поля БТ значительно превышает размеры планшета съемки.

Нормирование поля осуществляется с использованием одного базисного пункта, произвольно расположенного в пределах планшета (Инструкция по электроразведке, 1984; Скважинная и шахтная рудная геофизика, 1989).

• *Признак линейности поля БТ при выбранном способе нормирования в рассматриваемом пункте наблюдений за данный момент (промежуток) времени.*

Годографы непосредственно определенных (измеренных) и полученных (вычисленных) линейным нормированием векторов напряженности поля БТ — идентичны. Изменение любой составляющей вектора напряженности поля БТ вдоль произвольного профиля в пределах планшета съемки подчиняется линейному закону (справедливо двумерное линейное интерполирование и экстраполирование векторного поля) (Матевосян, Геворкян, 1985; Матевосян, 1987, 1992).

Расстояние до источников поля БТ превышает размеры планшета съемки.

Нормирование поля требует использования данных двух и более базисных пунктов, расположенных в пределах планшета.

Согласно приведенным признакам поле БТ за весь исследуемый цикл измерений в различных пунктах наблюдений в пределах планшета съемки проявляется как:

- квазистационарное или вовсе отсутствует;
- квазистабильное:
 - квазиоднородное (нормирование одним базисным пунктом);
 - неоднородное:
 - квазилинейное (нормирование двумя и более базисными пунктами);
 - нелинейное;
- нестабильное:
 - квазиоднородное;
 - неоднородное:
 - квазилинейное;
 - нелинейное;
- нулевое (вектор напряженности поля БТ в полевом пункте равен нулю, в отличие от нормированного вектора).

При нелинейном характере проявления поля БТ, уменьшая межбазисное расстояние, можно добиться его квазилинейности.

Способы нормирования поля БТ в полевом пункте

Приведем способы нормирования поля блуждающих токов в полевом $H(x_n, y_n)$ пункте.

• по одному базисному (B_1) пункту (Инструкция по электроразведке, 1984; Скважинная и шахтная рудная геофизика, 1989):

$$\Delta E_{BT}^{B_1} = [(\Delta E_{BT}^{B_1})^2 + (\Delta E_{BT}^{B_1})^2]^{1/2};$$

• по двум $B1(x_{B1}, y_{B1})$ и $B4(x_{B4}, y_{B4})$ базисным пунктам, расположенным на одной прямой с полевым пунктом $H(x_H, y_H)$ (Матевосян, Геворкян, 1985; Матевосян, 1987):

$$\Delta E_{BT}^{B14} = [(\Delta E_{BT}^{B14})^2 + (\Delta E_{BT}^{B14})^2]^{1/2},$$

где p -составляющая вектора приращения напряженности поля БТ в полевым пункте определяется из выражения (при интерполировании степенной функцией с учетом удельного электрического сопротивления в области базисных пунктов — ρ^{B1}, ρ^{B4}):

$$\Delta E_{BT}^{B14} = [\Delta E_{BT}^{B4}(\rho^{B1}/\rho^{B4}) - \Delta E_{BT}^{B1}]$$

$$\{[(x_H - x_{B1})^2 + (y_H - y_{B1})^2] / [(x_{B4} - x_{B1})^2 + (y_{B4} - y_{B1})^2]\}^{m/2} + \Delta E_{BT}^{B1},$$

где $m > 0$ (в частности при линейном интерполировании $m=1$);

• по трем $B1(x_{B1}, y_{B1})$, $B2(x_{B2}, y_{B2})$ и $B3(x_{B3}, y_{B3})$ базисным пунктам, не расположенным на одной прямой (двумерное линейное интерполирование) (Матевосян, 1992):

$$\Delta E_{BT}^{B123} = [(\Delta E_{BT}^{B123})^2 + (\Delta E_{BT}^{B123})^2]^{1/2},$$

где x - или y -составляющая (произвольная p -составляющая) вектора приращения напряженности поля БТ при линейном интерполировании (с учетом удельного электрического сопротивления в области базисных пунктов — $\rho^{B1}, \rho^{B2}, \rho^{B3}$) определяется из уравнения:

$$\begin{vmatrix} x_H - x_{B1} & y_H - y_{B1} & \Delta E_{BT}^{B123} - \Delta E_{BT}^{B1} \\ x_{B2} - x_{B1} & y_{B2} - y_{B1} & (\Delta E_{BT}^{B2} - \Delta E_{BT}^{B1}) \rho^{B1}/\rho^{B2} \\ x_{B3} - x_{B1} & y_{B3} - y_{B1} & (\Delta E_{BT}^{B3} - \Delta E_{BT}^{B1}) \rho^{B1}/\rho^{B3} \end{vmatrix} = 0$$

• по трем и более базисным пунктам, не расположенным на одной прямой, с использованием различных процедур интерполирования двухмерной функции (в частности *Kriging* (K), *Minimum Curvature* (MC) из пакета программ *SURFER*):

$$\Delta E_{BT}^K = [(\Delta E_{BT}^K)^2 + (\Delta E_{BT}^K)^2]^{1/2};$$

при этом алгоритм проведения расчетов заключается сперва в выборе базисных пунктов в нормальном поле и определении x - и y -составляющих наблюдаемого вектора приращения напряженности поля БТ в них, а затем в получении (определении) x - и y -составляющих нормированного вектора приращения напряженности поля БТ за определяемые моменты времени по данным в базисных пунктах с использованием процедур *Kriging* или *Minimum Curvature* в узлах рассматриваемой правильной сети пунктов наблюдений в требуемом формате выходных данных;

• по скользящему окну (R) — (плавающее нормирование в окне), по усредненным x - и y -составляющим вектора приращения напряжен-

ности поля БТ в пунктах, расположенных в окрестности рассматриваемого полевого пункта:

$$\Delta E_{BT}^R = [(\Delta E_{BT}^R)^2 + (\Delta E_{BT}^R)^2]^{1/2};$$

где x - и y -составляющие (произвольная p -составляющая) вектора приращения напряженности определяются из уравнения:

$$\Delta E_{BT}^R = \sum_{i=M}^M \sum_{j=N}^N \Delta E_{BT}^{R_{pij}} - \sum_{i=m}^m \sum_{j=n}^n \Delta E_{BT}^{R_{pij}} / [(2M+1)(2N+1) - (2m+1)(2n+1)],$$

где M и N — внешние, m и n — внутренние размеры окна усреднения по x и y , соответственно (M, N, m и n — целые положительные числа).

В итоге проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований методом БТ разработана единая (универсальная — не зависящая от типа изучаемой геоэлектрической среды и особенностей источников техногенного электрического поля) методика с возможностью внутриметодного комплексирования, использование которой позволяет повысить разрешающую способность измерений, выделять с высокой точностью и достоверностью неоднородности геологических образований по электропроводности, получать более полную информацию о характере блуждающих токов, что особенно важно не только на стадии детальных геофизических исследований в пределах действующих месторождений, но и при решении многих нарастающих проблем в области экологической ситуации в промышленно развитых районах.

ЛИТЕРАТУРА

- Бахирева Л.В., Просунцова Н.С. Карта опасности электрокоррозионного поражения подземных коммуникаций на территории г.Москвы. Геоэкология, 1996, №2, с.34-43.
- Бобровников Н.В. Использование техногенных электромагнитных полей в комплексе геоэкологического картирования. Геоэлектрические исследования контрастных по электропроводности сред. РАН УрО Ин-т геофизики, Екатеринбург, 1996, с.138-148.
- Вишнев В.С. О возможности использования поля токовой тяговой сети железной дороги в инженерной геофизике. Геоэлектрические исследования контрастных по электропроводности сред. РАН УрО Ин-т геофизики, Екатеринбург, 1996, с.112-127.
- Гамоян В.Б. Временное руководство по методу блуждающих токов. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, 100 с.
- Гамоян В.Б. Способ геоэлектроразведки методом блуждающих токов. Авторское свидетельство СССР № 1330597, 1987, Б.И. 30.
- Гамоян В.Б. Учет особенностей источника поля при работе методом блуждающих токов. ДАН АрмССР, 1989, №1, с.22-25.
- Гамоян В.Б., Геворкян В.М. Способ геоэлектроразведки методом блуждающих токов. Авторское свидетельство СССР № 1303955, 1987, Б.И. 14.
- Гамоян В.Б., Унисян Ф.С. Поле блуждающих токов при

разных положениях электроваза. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1986, №4, с. 41-47.

Григорьев Р.Д., Качесова Л.П., Просунцова Н.С. Разработка математической модели и метода расчета напряженности электрического поля от электрифицированной железной дороги. Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. ВИНТИ, 1996, №2, с.18-26.

Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984, 352 с.

Матевосян А.К., Геворкян В.М. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1193619, 1985, Б.И. 43.

Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1350640, 1987, Б.И. 41.

Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1704120, 1992, Б.И. 1.

Скважинная и шахтная рудная геофизика. Справочник геофизика. Под ред. В.В.Бродового, М.: Недра, 1989, в двух книгах — 320 с. и 440 с.

Электроразведка. Справочник геофизика (под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко). М.: Недра, 1989, в двух книгах — 438 с. и 378 с.

SURFER for WINDOWS. Contouring and 3D Surface Mapping, version 6, User's Guide, Golden Software, 1997.

ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՏԵԽՆՕԳԵՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ ԵՎ ՆՐԱ ՆՈՐՄԱՎՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԵՐԸ ԹԱՓԱՌՈՂ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա. Կ.Մաթևոսյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում առաջին անգամ տրվում է թափառող հոսանքների (ԹՀ) առաջնային էլեկտրական դաշտի դասակարգումն և առաջարկվում է նրա նորմավորման եղանակները դաշտային դիտակետում: Դիտարկվում են նախանշանները, որոնք բնութագրում են ԹՀ-ի էլեկտրական դաշտն և թույլ են տալիս նրան դասակարգել: Ներկայացված են դաշտային դիտակետում ԹՀ-ի նորմավորման եղանակները մեկ, երկու, երեք և ավելի անշարժ դիտակետերի ու “սահող պատուհանի” միջոցով:

CLASSIFICATION OF A PRIMARY MAN-INDUCED ELECTRIC FIELD AND THE WAYS TO NORMALIZE IT IN AN INVESTIGATION CONDUCTED BY THE STRAY CURRENTS METHOD

A. K. Matevosyan

Abstract

This article provides first classification of a primary electric field of stray currents (SC) and presents the ways to normalize it at a basis point. Indicators characteristic of a SC electric field and enabling one to systematize it are considered. These are subdivided into temporal (indicators of time invariance and stability), space-time (homogeneity indicator) and spatial (linearity indicator). According to the indicators described, a SC field observed throughout the studied cycle of measurements at different observation points within the survey plane-table, can manifest itself as a quazi-stationary, or not existing at all, quazistable, unstable, or zero field. Quazistable and unstable fields can be quazi-homogeneous or heterogeneous. Heterogeneous fields, in turn, can be quazilinear or non-linear. Such classification of SC fields allows selection of a correct and optimal technique for research implemented by the strong currents method.

The ways to normalize a SC field at a basis point are suggested. The approach applied now is for one basis point, while the suggested ones permit doing so for two, three, and more basis points through a sliding window.