УДК 550.837

КРИВЫЕ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ БЛУЖДАЮЩИМИ ТОКАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА

Вишнев В.С. – Институт геофизики УрО РАН

Аннотация. Выполнены расчеты значений кажущегося сопротивления при различных параметрах модели источника полезного сигнала, выделяемого из помех от тяговой сети электрической железной дороги. Установлены участки земной поверхности, благоприятные для трансформации этих сигналов в кривые кажущегося сопротивления.

Железная дорога, помехи, полезный сигнал, модель, кривые кажущегося сопротивления, параметры.

THE CURVES OF APPARENT RESISTANCE BY METHOD OF ELECTRICAL EXPLORATION BY STRAY CURRENT OF ELECTRICAL RAILWAY FOR DIFFERENT PARAMETERS OF SOURCE NODEL

Vishnev V.S. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The calculations of apparent resistance for different parameters of model the useful source signal, allocated from the interference of traction net of electrical railway are produced. The profiles of research appropriated for transformation this signals in considered curves are established.

The railways, noise, friendly signal, model, the apparent resistance curves, parameters.

Введение

В качестве модели источника в методе электроразведки, основанной на использовании техногенного поля электрической железной дороги (МЭПЖД), как известно, хорошо подходит обособленная, бесконечно длинная железнодорожная ветка с одним неподвижным, но многократно изменяющим свой режим энергопотребления, локомотивом, питаемым одной (при односторонней) или одновременно двумя соседними (при двухсторонней схеме энергоснабжения электровозов) тяговыми подстанциями. Модель предельно проста и, если принять, что соответствующий участок рельсового пути прямолинейный, неветвящийся и равномерно заземленный, а поле установившееся, легко поддается алгоритмизации. Использование этой модели позволяет преобразовывать полезные сигналы, выделяемые из помех от ЭЖД, в кривые кажущегося сопротивления $\rho_{к,тс}$ (тс – тяговая сеть) и интерпретировать их как на качественном, так и на количественном уровне (Вишнев, 2012).

Представление полевых материалов в виде кривых $\rho_к$, например в методе ВЭЗ или МТЗ, весьма полезно. Они имеют точки перегиба, экстремумы и асимптоты, по которым можно визуально определять некоторые характеристики геологического разреза. То же, очевидно в какой-то степени, присуще и профильным распределениям параметра $\rho_{к,тс}$. Однако источник полезных сигналов, применяемых в МЭПЖД, имеет существенные отличия от источников методов ВЭЗ и МТЗ. Он сильно вытянут примерно в одном направлении и, чтобы получать пригодные для количественной интерпретации кривые $\rho_{к,тс}$, наблюдение поля ЭЖД желательно осуществлять по перпендикулярным к рельсовому пути профилям. Но между тяговыми подстанциями, питающими электровозы, инициирующие соответствующие полезные сигналы, можно расположить не один, а несколько таких профилей. Кроме того, координаты пунктов вынужденного изменения тяговой нагрузки локомотивов (l_0), входящие в формулу расчета $\rho_{к,тс}$, при тех или иных обстоятельствах (как и удаления друг от друга (L) подстанций, а также параметр k, равный корню квадратному из отношения погонного сопротивления рельсов к погонному сопротивлению перехода рельс–земля), могут быть различными. В

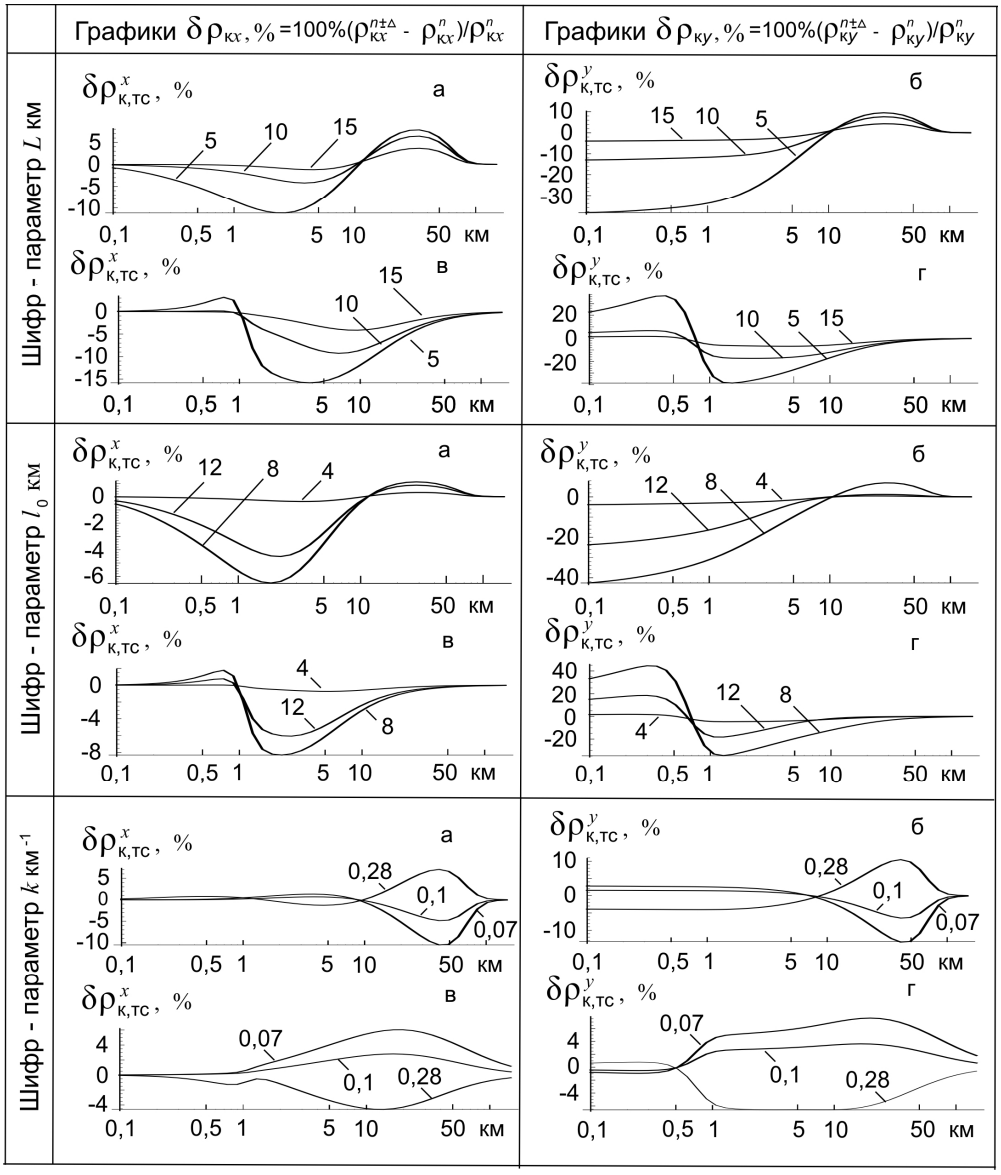

Рис. 1. Графики отклонений ($\delta\rho_{к,тс}$, %) кривых $\rho_{к,тс}$ с различными значениями параметров L, l_0, k от кривых (соответственно) под шифрами L = 20 км (при l_0 = 4 км, k = 0,14 км$^{-1}$, y = 2,5 км); l_0 = 15 км (при L = 20 км, k = 0,14 км$^{-1}$, y = 9,5 км); k = 0,14 км$^{-1}$ (при L = 20 км. l_0 = 12 км, y = 9,5 км); n – шифры исходных, $n+\Delta n$ (или $n-\Delta n$) – отклоняющихся кривых; **а**, **б** – геоэлектрический разрез типа K (ρ_1 = 1 Ом·м, h_1 = 0,2 км, ρ_2 = 1000 Ом·м, h_2 = 0,5 км, ρ_3 = 1 Ом·м, h_3 = ∞), **в**, **г** – типа H (ρ_1 = = 1 Ом·м, h_1 = 0,2 км, ρ_2 = 0,001 Ом·м, h_2 = 0,5 км, ρ_3 = 1 Ом·м, h_3 = ∞)

этой связи важно знать отличаются ли и как сильно кривые $\rho_{к,тс}$ на профилях с координатами y_i и y_{i+1} (ось y – вдоль преимущественного направления дороги), если модельные параметры источника полезного сигнала, выделяемого из помех от ЭЖД, по тем или иным причинам изменяются или корректируются.

Статья посвящена анализу нормальных кривых $\rho_{к,тс}$, рассчитанных при различных сочетаниях величин l_0, L, y_i, k в присутствии ряда трехслойных геоэлектрических разрезов.

Ее результаты могут быть использованы в процессе проектирования и организации электроразведочных работ на участках, прилегающих к электрической железной дороге.

Кривые $\rho_{к,тс}$ при различных значениях параметров l_0, L, k

Примеры расчета взаимных отклонений кривых $\rho_{к,тс}$ в случаях изменения параметров l_0, L, k изображены на рис. 1. Оказывается, что при разных значениях того

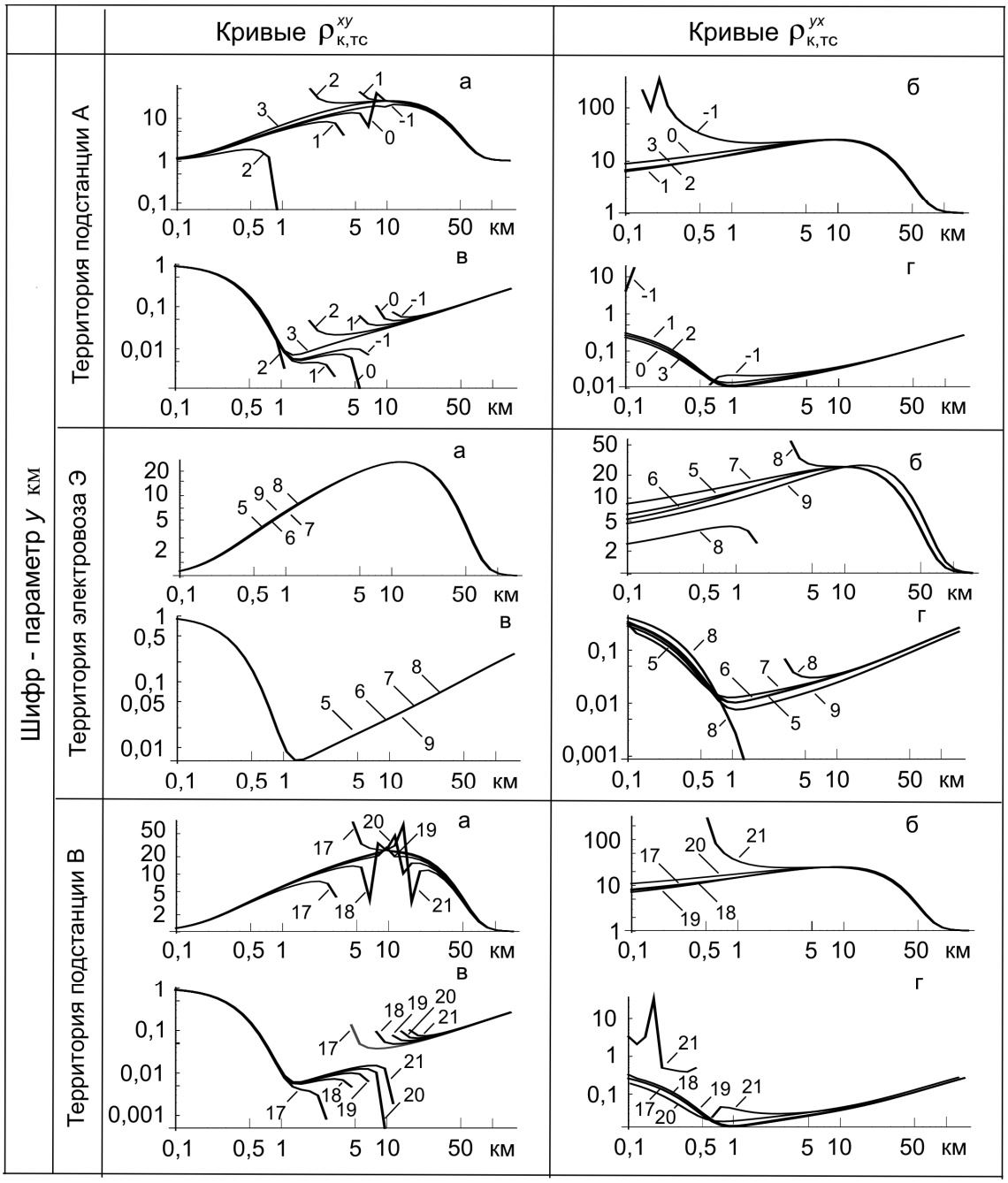

Рис. 2. Кривые $\rho_{к,тс}$ при различных величинах координаты y = constant расчетного профиля. Шифр – значение y (при L = 20 км, k = 0,14 км$^{-1}$, l_0 = 7,0 км); **а**, **б**, **в**, **г** – параметры геоэлектрических разрезов те же, что и на рис. 1

или иного модельного параметра, общий вид кривых (рис. 2), как правило, остается одинаковым, но на каких-то участках появляются расхождения.

Иногда несовпадения значений $\rho_{к,тс}$ достигают 40 и более процентов (см. рис. 1, кривые 8 б, г шифр l_0). Это свидетельствует о том, что при каждом конкретном сочетании параметров l_0, L, k есть области земной поверхности благоприятные для представления данных измерения помех от ЭЖД в виде кривых $\rho_{к,тс}$ и неблагоприятные. Из общих соображений следует: к благоприятным областям относятся, вероятно, те из них, которые соответствуют экстремальным значениям используемых при расчетах $\rho_{к,тс}$ декартовых составляющих E_i, H_j ($i = x, y$, $j = y, x$) поля ЭЖД, к особо неблагоприятным – те, которые соответствуют промежуткам между упомя-

нутыми экстремумами. Там рассматриваемые составляющие меняют арифметический знак, их величины (из-за стремления к 0) рассчитываются и измеряются с большими погрешностями, координаты точек перехода через нуль у той или иной пары составляющих могут не совпадать, и профильные распределения $\rho_{к,тс}$, построенные в двойном логарифмическом масштабе, должны претерпевать разрыв. Проверим эти предположения путем расчетов.

Кривые $\rho_{к,тс}$ на разных участках наблюдения поля токов ЭЖД

В случае двухсторонней схемы питания электровозов, как известно (Вишнев, 2007), экстремальные значения составляющих E_x и H_y поля ЭЖД сосредоточены на площадях, прилегающих к тяговым подстанциям и к выбранному месту изменения режима энергопотребления электровозов, а E_y и H_x – между данными площадями.

Результаты расчета (см. рис. 2) показывают, что не все три области экстремальных значений составляющих E_x и H_y являются благоприятными для получения кривых $\rho^x_{к,тс}$, а только одна из них (кривые под шифрами y_i = 5–9 км), которая соответствует положению места изменения тяговой нагрузки электровоза. Благоприятными же для построения кривых $\rho^y_{к,тс}$ являются территории между электровозом и той или другой тяговой подстанцией, питающей электровоз, если профили y_i = constant пролегают примерно на равных расстояниях от электровоза и подстанции (кривые 1–3 и 17–20). Как следует из рассмотрения рис. 3, их общий ход одинаков для одного и того же типа разреза, но отклонения от кривой профиля, взятого за основу, по мере удаления от него постепенно нарастают.

В этой связи важно оценить размеры участков земной поверхности, где погрешности определения значений $\rho_{к,тс}$ не превышают (согласно требованиям инструкция по проведению полевых электроразведочных работ) 5–10%. Особенно это актуально при площадных работах.

Из расчетов вытекает, если измерения вести в области экстремальных значений составляющих поля E_x, H_y (или E_y, H_x), то с точностью 5–10%, используя один и тот же пункт вынужденного изменения тяговой нагрузки электровозов, кривые $\rho^x_{к,тс}$ ($\rho^y_{к,тс}$) можно получать на площади со стороной Δy не менее сотни метров – первые единицы километров, рис. 3. Причем конкретная величина Δy в первую очередь зависит от значения параметра L. Чем больше L (при прочих равных условиях), тем больше Δy. Такая же зависимость наблюдается и от параметра l_0, если l_0 находится в первой половине отрезка L (во второй половине зависимость обратная). Кроме того, величина Δy зависит и от значений параметра k и значений параметров геоэлектрического разреза, но эти зависимости более высоких порядков малости и ими при ее оценке можно пренебречь.

Следовательно, пункт вынужденного изменения тяговой нагрузки электровозов (координата l_0), инициирующих используемые импульсы поля-помех при постановке метода ЭПЖД, должен быть выбран так, чтобы упомянутые разрывы кривых $\rho_{к,тс}$ оказались вне участка полевых электроразведочных работ. Если это проблематично и не выбран другой отрезок ЭЖД, где электровозы вынуждены изменять свою тяговую нагрузку, то вместо кривых $\rho^x_{к,тс}$, $\rho^y_{к,тс}$ можно использовать кривые $\rho^г_{к,тс}$, где г – символ проекции векторов E и H на горизонтальную плоскость. Величины $E_г = (E_x^2 + E_y^2)^{1/2}$ и $H_г = (H_x^2 + H_y^2)^{1/2}$ точек перехода через 0 не имеют, и кривые $\rho^г_{к,тс}$ нигде не терпят разрыв, однако информативность данных метода ЭПЖД в рассматриваемом случае заметно ухудшается.

Выводы

Представление данных измерения поля ЭЖД в виде площадных и профильных распределений параметра $\rho_{к,тс}$ является полезным и продуктивным методическим приемом, но может оказаться, что при одном и том же выбранном месте вынужденного изменения режима энергопотребления электровозов не все площади участка полевых электроразведочных работ будут подходящими для применения обсуждаемой процедуры. В таких случаях лучше

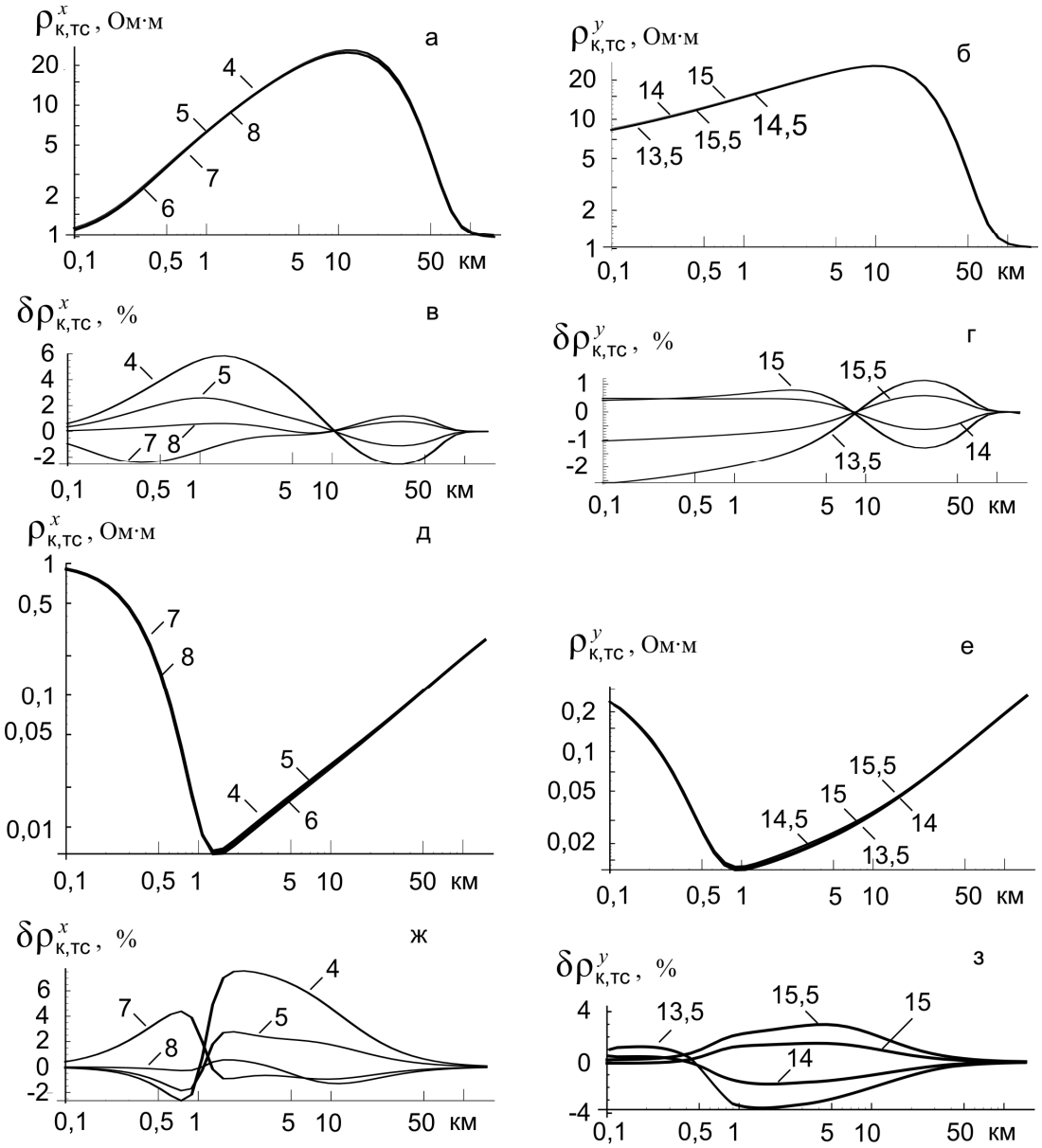

Рис. 3. Кривые кажущегося сопротивления (**а**, **б**, **д**, **е**) и графики их отклонений от кривых под шифрами: **в**, **ж** – y = 6 км, **г**, **з** – y = 14,5 км (при L = 20 км, k = 0,14 км$^{-1}$, l_0 = 7,0 км). Параметры геоэлектрических разрезов те же, что на рис. 1

всего использовать не одно, а несколько мест вынужденного изменения тяговой нагрузки электровозов.

Работа выполнена (*частично*) *при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7 (№ 15-18-5-54).*

Литература

Вишнев В.С. Приемы полевых и камеральных работ в методе электроразведки блуждающими токами тяговой сети железной дороги // Уральский геофизический вестник. 2012. № 2 (20). С. 14–30.

Вишнев В.С. Результаты математического моделирования электроразведочного сигнала, выделяемого из импульсных помех от тяговой сети железной дороги // Уральский геофизический вестник. 2007. №. 2–3 (11–12). С. 35–47.