УДК 621.316

СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (ПМС)

КЕРИМОВ А.М., АФАНОВ Р.Р.

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия

При исследовании влияния блуждающих токов электрифицированного рельсового транспорта на ПМС и расчете защитных устройств строятся характеристики, связывающие параметры их режимов и цепей тяговых токов . Средние значения параметров, полученные осреднением непродолжительных по времени реализаций случайных процессов их изменения, приводятся к единому значению некоторой базисной величины . Приведение делается при построении потенциальных диаграмм рельсового пути или ПМС, при пересчете тока дренажа на другие режимы тяги или на перспективные нагрузки тяговой подстанции. Иными словами, возникает задача построения моделей связи параметров системы " рельс – земля – подземное сооружение " (РЗПС) , параметров режима защитного устройства и тяговой нагрузки .

В качестве базисной величины может быть принято, например, среднее значение какой – либо величины, характеризующей режим цепи обратных тяговых токов и измерявшейся в течение длительного промежутка времени (сутки и более) или имевшей место в часы пик.

Так, для приведения равновременно и непродолжительно измеренных в различных пунктах потенциалов " сооружение – рельс " $\varphi_с$ и токов дренажа $I_д$ к среднечасовым и среднесуточным значениям, рекомендуют в качестве промежуточной базисной величины использовать потенциал рельсов [1,4]. Задача обработки результатов измерений сводится к отысканию уравнений регрессий

$$\varphi_с = \alpha'_0 + \alpha'_1 \varphi_р \qquad (1)$$

$$I_д = \alpha''_0 + \alpha''_1 \varphi_p \qquad (2)$$

Потенциал " рельс – земля " (промежуточный базис) измеряется на протяжении всего времени измерений $\varphi_с$ и $I_д$, выполняемых в данном районе . Переход к среднесуточным значениям производятся по уравнениям (1) и (2) с использованием среднесуточного значения $\overline{\varphi}_р$, определенного через связь потенциала " рельс – земля " с тяговой нагрузкой подстанции $I_т$ (основной базис) по уравнению

$$\overline{\varphi}_р = \alpha_0 + \alpha_1 \overline{I}_т \qquad (3)$$

Среднесуточные значения потенциала сооружения и тока дренажа рекомендуется получать подстановкой (3) в (1) и (2)

$$\overline{\varphi}_{с} = \alpha'_{0} + \alpha'_{1}\left(\alpha_{0} + \alpha_{1}\overline{I}_{т}\right)$$
$$\overline{I}_{д} = \alpha''_{0} + \alpha''_{1}\left(\alpha_{0} + \alpha_{1}\overline{I}_{т}\right)$$

Получив регрессии (1) и (3) для разных измерительных пунктов по трассе сооружения, строят приведенные потенциальные диаграммы [2]. Приведенную диаграмму распределения разности потенциалов "защищенное электродренажем сооружение – близкая земля " вдоль сооружения строят, используя уравнение регрессии

$$\alpha_{с} = \alpha_{0} + \alpha_{1}I_{д} \qquad (4)$$

связывающее мгновенные значения разности потенциалов для данного пикета сооружения с величиной дренажного тока , измеряемого синхронно с разностью потенциалов $\varphi_с$ (динамическая вольтамперная характеристика дренажа).

Статические вольтамперные характеристики дренажа, связывающие средние во времени значения разности потенциалов "сооружение – земля " в точке дренажа со средними значениями тока дренажа при различных значениях сопротивления дренажной цепи, также представляются уравнениями регрессии

$$\overline{\varphi}_{с} = \alpha_{0} + \alpha_{1}\overline{I}_{д}$$

Построение подобных эмпирических моделей предполагает постулирование некоторой теоретической модели, проведение экспериментов для сбора опытных данных, "подгонку " модели, т.е. вычисление коэффициентов и оценку результатов .

В приведенной выше методике использована регрессионная модель. Однако применение этой модели не всегда оправдано. Чтобы показать это, рассмотрим порядок построения эмпирических моделей и предпосылки, определяющие возможность получения математической модели методами регрессионного анализа .

Для обоснования использования той или иной модели следует выяснить физическую природу исследуемой связи и характер зависимости, лежащей в ее основе – статистический или функциональный.

Все сопротивления схемы замещения системы РЗПС линейны, за исключением переходных сопротивлений на границах фаз "металгрунтовый электролит". Поляризационные сдвиги потенциалов на границах вносят нелинейность в переходные сопротивления . Однако поляризационные сдвиги собственных электродных потенциалов ПМС, как правило, незначительны по сравнению с величинами потенциалов, возникающих при протекании блуждающих токов [3,4]. Поэтому уравнения связи практически линейны и справедлива теорема о линейных соотношениях токов и напряжений ветвей, утверждающая, что если в линейной электрической цепи изменяется э.д.с. или сопротивление в какой – либо одной ветви, то две любые величины (токи и напряжения) двух любых ветвей связаны друг с другом линейными зависимостями вида $y=a+bx$, где x – ток или напряжение одной ветви, y - ток или напряжение любой другой ветви .

Таким образом, с одной стороны можно сказать, что в основе обсуждаемых зависимостей лежат функциональные связи, присущие линейным электрическим цепям . С другой стороны, при наличии нескольких поездов в подстанционной зоне, изменяющих свое токопотребление и местоположение во времени, в результате суперпозиции частичных (от каждого поезда) токов и случайных отклонений токов отдельных поездов будут порождаться статистические совокупности значений величин, варьирующих около линейных зависимостей. Иными словами, изучаемые параметры имеют статистическую природу.

Имея в виду такой характер связи, определим тип модели, подходящий для нашего случая.

На этапе "подгонки" модели – вычисления ее коэффициентов, задача сводится к следующему. Две переменные связаны линейным соотношением $y = \alpha_0 + \alpha_1 x$. Требуется оценить параметры α_0 и α_1. Метод решения определяется характером зависимости, лежащей в основе экспериментально наблюдаемой связи.

Основные типы линейных зависимостей двух величин представлены в таблице 1. В таблице 1 и далее использованы следующие обозначения . Детерминированные переменные обозначены большими буквами X,Y; случайные величины – малыми буквами x.,y ; параметры модели – малыми греческими буквами ; в случае оценок максимального правдоподобия (МП – оценок), буквой, обозначающей параметр, с крышечкой наверху $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$. Случайная ошибка независимой переменной - δ, зависимой переменной - ε.
Наблюдаемые случайные переменные, соответствующие ненаблюдаемым переменным – буквами ξ и η. Через $X_i, Y_i, x_i\ y_i$ обозначены фиксированные значения переменных M(y/x_i) – условное математическое ожидание величины y при фиксированном значении x=x_i.

Для нашего случая первая модель таблицы 1 не представляет интереса.

Если точность, с которой измеряется независимая переменная, велика по сравнению с точностью измерения зависимой переменной, то ошибкой независимой переменной можно пренебречь. Имеет место второй случай. Случайные изменения зависимой переменной связаны со случайной ошибкой измерений; кроме того, они могут быть полностью или частично порождены самой структурой связи между переменными. Независимо от этого, она рассматривается просто как случайная величина. В подобных ситуациях применяются методы регрессионного анализа. Если же независимая и зависимая переменные являются случайными величинами, ошибки измерения которых соизмеримы, оценивание коэффициентов в линейных моделях, указание подходящих критериев проверки гипотез и определение доверительных интервалов существенно усложняются. В такой ситуации различаются два случая: функциональной (случай 3) и структурной (случай 4) связи между переменными.

Если на результаты измерений влияют ошибки эксперимента, мы наблюдаем не истинные значения параметров, а значения, отличающиеся от них на некоторую случайную величину. Таким образом, мы не можем наблюдать значения X, и Y, но можем наблюдать значения случайных величин ξ и η, определенных следующим образом:

$$\xi_i = X_i + \delta_i \qquad i = \overline{1,n} \qquad (5)$$

$$\eta_i = Y_i + \varepsilon_i$$

Требуется оценить параметры α_0 и α_1 линейного соотношения

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 x \qquad (6)$$

Модель описывается соотношениями (5) и (6), в которых предполагается

$$\begin{aligned}
&M(\delta_i) = M(\varepsilon_i) = 0 \\
&\operatorname{var}(\delta_i) = \sigma^2{}_\delta ; \operatorname{var}(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon{}^2 , \\
&\operatorname{cov}(\delta_i, \delta_j) = \operatorname{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 , \qquad i \neq j , \\
&\operatorname{cov}(\delta_i, \delta_j) = 0
\end{aligned} \tag{7}$$

Задача оценивания параметров в (7) похожа на задачу регрессионного анализа, однако в регрессионных задачах изучается зависимость среднего значения $\overline{\eta}$ от переменной X, не подверженной ошибкам; ошибка δ равна нулю или пренебрежимо мала, и следовательно, $\sigma^2{}_\delta = 0$. Регрессионная модель есть частный случай рассматриваемой.

При наличии ошибок в обеих переменных возникает задача, отличная от задачи регрессионного анализа. Подставляя X и Y из (5) в (6), получим соотношения

$$\begin{aligned}
&\eta - \varepsilon = \alpha_0 + \alpha_1 (\xi - \delta), \\
&\eta = \alpha_0 + \alpha_1 \xi + (\varepsilon - \alpha_1 \delta),
\end{aligned} \tag{8}$$

которые не совпадают с обычной постановкой задачи в регрессионном анализе, так как случайная величина ξ коррелированна с ошибкой $(\varepsilon - \alpha_1 \delta)$. Действительно, из (5) и (7) получаем

$$\begin{aligned}
&\operatorname{cov}(\xi, \varepsilon - \alpha_1 \delta) = M\{\xi(\varepsilon - \alpha_1 \delta)\} = M\{(X + \delta)(\varepsilon - \alpha_1 \delta)\} = \\
&M(X\varepsilon) + M(\delta\varepsilon) - M(\delta \cdot \alpha_1 \delta) - M(X \cdot \alpha_1 \delta) = -\alpha_1 \sigma_\delta{}^2 .
\end{aligned} \tag{9}$$

Величина X рассматривается как константа. Последнее выражение обращается в нуль либо при $\sigma^2{}_\delta = 0$, что совпадает с регрессионной ситуацией, либо в тривиальном случае $\alpha_1 = 0$.

Итак, структурные соотношения (8) порождаются функциональным соотношением между детерминированными переменными X,Y.

Когда X и Y являются случайными величинами (обозначаются x и y), функциональное соотношение (6) превращается в структурное соотношение между ненаблюдаемыми величинами (случай 4).

Тогда

$$\begin{aligned}
&y = \alpha_0 + \alpha_1 x, \\
&\xi_i = x_i + \delta_i , \qquad \eta_i = y_i + \varepsilon_i , \qquad i = \overline{1,\ n}
\end{aligned}$$

и выполняются соотношения (7). Отсюда можно снова вывести (8), однако (9) уже не будет выполнено, если не сделать дополнительных предположений, поскольку в (9) величина X рассматривалась как константа. В действительности мы получим

$$\operatorname{cov}(\xi, \varepsilon - \alpha_1 \delta) = M\{(x + \delta)(\varepsilon - \alpha_1 \delta)\} = M(x\varepsilon) - \alpha_1 M(x\delta) - \alpha_1 \sigma_\delta^{\ 2} \quad (10)$$

Сделав дополнительные предположения

$$\operatorname{cov}(x, \delta) = \operatorname{cov}(x, \varepsilon) = \operatorname{cov}(y, \delta) = \operatorname{cov}(y, \varepsilon) = 0 \qquad (11)$$

мы сведем (10) к (9).

Таким образом, рассматриваемая модель записывается в виде

$$\begin{aligned} \xi_1 &= x_i + \delta_i, \\ \eta_i &= y_i + \varepsilon_i, \\ y_i &= \alpha_0 + \alpha_1 x, \end{aligned}$$

причем выполнены (7) и (11), так что, как и раньше, справедливо (8). В итоге функциональное соотношение

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X$$

между детерминированными переменными заменено структурным соотношением

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x,$$

выражающим точную линейную связь между двумя ненаблюдаемыми случайными величинами x и y. Предыдущая модель получается из этой как частный случай, когда x вырождается в константы X. Как и прежде, соотношение (8) между наблюдаемыми переменными ξ и η являются структурным, но, кроме этого, в данном случае структурное соотношение имеется внутри самой модели. Существенно, что кроме ошибок, возникающих при наблюдении x и y, имеют место случайные изменения этих переменных, обусловленные самой их природой.

Для оценивания α_0 и α_1 в (8) нельзя использовать основанный на методе наименьших квадратов регрессионный анализ. В оценивании α_1 существенную роль играют дисперсии ошибок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

При изучении совместного распределения параметров случайных величин возникает задача о статистической зависимости. При этом совместная плотность распределения вероятностей случайных величин предполагается неизвестной. Взамен предполагается получить некоторые экспериментальные данные и на их основе найти наилучшие оценки параметров линейной модели, т.е. произвести оценивание структурного соотношения или выявить зависимость строго функционального вида между величинами, подверженным ошибкам измерения по методу максимального правдоподобия. Ошибки измерения и случайный характер независимой и зависимой переменных в описанных задачах играют существенную роль, поэтому для исследования упомянутых связей следует воспользоваться моделью 4 таблицы 1.

---

1. ВРД 39-0. 10-023-2001 Инструкция по обследованию и ремонту газопроводов, подверженных КРН, в шурфах (Утверждена членом Правления ОАО «Газпром» Б.В.Будзуляком). М: РАО « Газпром», 2001. -58 с.
2. *Фрейман Л. И.* О сопротивлении изоляционного покрытия на подземном трубопроводе. Омическая составляющая // Защита металлов, 2001. Т. 37 ,№1. С. 99-104.
3. Инструкция по контролю состояния изоляции законченных строительством участков трубопроводов катодной поляризацией. М.:РАО «Газпром», 2005.-46с.
4. Инструкция по классификации стресс-коррозионных дефектов по степени их опасности-РАО «Газпром», 1998.

YERALTI METAL QURĞULARIN AZMIŞ CƏRƏYANLARIN PARAMETRLƏRININ ƏLAQƏSI

KƏRİMOV A.M., AFANOV R.R.

Təsadüfi kəmiyyətlərin parametrlərinin paylanmasını öyrənərkən statistik asılılıq məsələsi yaranır.Bu halda təsadüfi kəmiyyətlərin paylanması ehtimalının sıxlığı naməlumqəbul edilir, əvəzində isə bəzi eksperimental kəmiyyətlərin alınması və onların əsasında xətti modelin parametrlərinin ən yaxşı qiymətləndirilməsi nəzərdə tutulur. Bununla da maksimal düzgünlük üsulu ilə aparılan ölçmənin səhvləri ilə təstiq edilmiş kəmiyyətlər arasında ciddi funksional asılılıq aşkar edilir. Qeyri müstəqil və müstəqil dəyişənlərin təsadüfi xarakteri və ölçmənin xətaları göstərilən məsələlərdə vacib rol oynayır.

RELATION OF THE PARAMETERS OF ROAMING CURRENT CIRCUITS OF THE UNDERGROUND STRUCTURES

KERIMOV A.M., AFANOV R.R.

When studying combined distribution of random values the question is raised on static dependence. In the mean time, the combined density of the distribution of random values is considered unknown. In return, it is assumed to acquire empiric values and based on them find optimal values of linear model, i.e. either perform an assessment of structural relation or discover fully functional relation between values, which are subject to errors on the method of maximal similarity. Errors in measuring and random character of independent and dependent variables play crucial part in described issues.