Солнцем и создает так называемый парниковый эффект. По данным Минэнерго США в 2003 году общий объем таких выбросов составил 25 млрд. т, в 2015 году он превысит 33 млрд. т, а в 2030 году – 43,7 млрд. т.

УДК 621.311.019.3

СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕДОСТОВЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ АНАЛОГОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Северин Н.А.
Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

При наличии взаимных связей между технологическими переменными достоверность измерений последних можно контролировать на основе сравнительного анализа фактических и допустимых невязок уравнений связи.

Исходная система уравнений имеет вид:

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i = 0, \; j = 1, ..., r, \tag{1}$$

где x_i – неизвестные истинные значения переменных;

a_{ij} – коэффициенты при неизвестных, принимающие значения +1, –1, 0;

m – число переменных;

r – суммарное число независимых и зависимых уравнений связи.

Условия отсутствия недостоверных результатов измерений записывают следующим образом:

$$\left|\delta_{j\,\text{факт}}\right| \le \delta_{j\,\text{доп}}, \; j = 1, ..., r, \tag{2}$$

где фактические невязки уравнений связи определяются подстановкой в систему (1) результатов измерений переменных $\bar{x}_i$;

$$\delta_{j\,\text{факт}} = \sum_{i=1}^{m} a_{ij} \bar{x}_i, \; j = 1, ..., r,$$

а допустимые невязки уравнений зависят от точности измерительной аппаратуры:

$$\delta_{j\,\text{доп}} = \rho_{\Sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij} \delta_i^2}, \; j = 1, ..., r, \tag{3}$$

где ρ_{Σ} – квантиль;

δ_i – среднеквадратичная погрешность измерительных приборов, определяется

$$\delta_i = \frac{1}{\rho_i} a_i A_i, \; i = 1, ..., m, \tag{4}$$

где ρ_i – квантиль;

a_i – класс погрешности измерительных приборов;

A_i – диапазон шкал измерений приборов.

Квантили ρ_{Σ} и ρ_i в формулах (3) и (4) определяют доли отбрасываемых «хвостов», т. е. степень усечённости кривых вероятностей распределения соответственно допустимых невязок уравнений связи и измерений переменных.

Несоблюдение условий (2) является признакам наличия недостоверных результатов измерений. В [1] предложено идентифицировать (локализовать) недостоверные измерения на основе логического анализа присутствия (отсутствия) одних и тех же переменных в уравнениях, удовлетворяющих или же неудовлетворяющим условиям системы уравнений (2). Однако реализация такого подхода в ряде случаев сильно затруднена, поскольку оценки переменных, вводящие в допустимые границы невязки одних уравнений, могут приводить к возникновению новых недопустимо больших невязок в других уравнениях.

Исходя из предположения, что имеют место лишь одиночные отказы датчиков измерений, т. е. наиболее вероятно ошибочное измерение одного датчика, идентифицируем недостоверную переменную по критерию минимума максимального превышения допустимых невязок фактическими при поочередном замещении результатов измерений их оценками:

$$\Phi = \min\max \Delta\delta_{kj} \text{ при } 1 \le j \le r,\ 1 \le k \le m, \tag{5}$$

где $\Delta\delta_{kj}$ – превышение допустимых невязок, определяемое как:

$$\Delta\delta_{kj} = \begin{cases} \left|\delta^*_{kj\,\text{факт}}\right| - \delta_{j\,\text{доп}}, & \text{если } \delta^*_{kj\,\text{факт}} > \delta_{j\,\text{доп}}; \\ 0, & \text{если } \delta^*_{kj\,\text{факт}} \le \delta_{j\,\text{доп}}. \end{cases}$$

Фактические невязки с учетом поочередного замещения результатов измерений $\bar{x}_k$ их оценками $\hat{x}_k$ формируются согласно выражению.

$$\delta^*_{kj\,\text{факт}} = a_{ij}\hat{x}_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i\ne k}}^{m} a_{ij}\bar{x}_i,\ j = 1, \ldots, r,\ k = 1, \ldots, m.$$

Недостоверными признаются результаты измерений, удовлетворяющие критерию (5). Если выявлены несколько таких переменных, то при предположении о равномерном законе распределения анормально больших (грубых) погрешностей измерений недостоверные результаты полагаются равновероятными. В случае нормального распределения грубых погрешностей недостоверные измерения ранжируются по степени возрастания модулей разностей оценок и измерений переменных $|\hat{x}_k + \bar{x}_k|$, что позволит уменьшить затраты времени на поиск и устранение неисправностей в измерительном комплексе.

Отличительной особенностью измерительных систем с взаимосвязанными переменными является то, что независимых уравнений меньше числа измеряемых величин, поэтому система (1) кроме независимых уравнений содержит зависимые. Последние уравнения облегчают локализацию грубой ошибки в измерениях. Но для измерительных систем большой размерности составление всех возможных зависимых и независимых уравнения является сложной задачей. Для того чтобы точно знать, что в составленной системе уравнений учтены все возможные уравнения, наметим алгоритм их формирования для определения общего числа уравнений в системе. Известно, что зависимые уравнения выражаются через независимые, т. е. перебрав все возможные сочетания независимых уравнений, мы определяем все искомые уравнения.

Общее число уравнений в системе (1) определяется по формуле:

$$r = n_{\text{н}} + n_{\text{з}}, \tag{6}$$

где $n_{\text{н}}$ – число исходных независимых уравнений;

$n_{\text{з}}$ – число зависимых уравнений.

Выразим число зависимых уравнений через число исходных независимых уравнений:

$$n_з = \sum_{i=2}^{n_н} C_{n_н}^{i},$$

где S – число уравнений в системе;

$C_{n_н}^{i}$ – число возможных сочетаний из $n_н$ по i, которое определяется по [2], как

$$C_{n_н}^{i} = \frac{n_н!}{i!(n_н - i)!}.$$

Покажем справедливость этой формулы на примере схемы, которая представлена на рисунке 1.

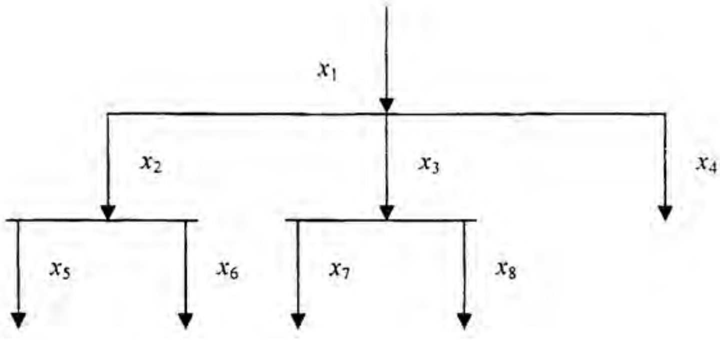

Рисунок 1. Схема функциональных связей

Составим исходную систему независимых уравнений для данной схемы, включив в нее лишь независимые уравнения:

$$\begin{cases} x_1 - x_2 - x_3 - x_4 = 0; \\ x_2 - x_5 - x_6; \\ x_3 - x_7 - x_8 = 0. \end{cases}$$

Путем ручного перебора всех возможных вариантов составим исходную систему, включающую как независимые, так и зависимые уравнения связи:

$$\begin{cases} x_1 - x_2 - x_3 - x_4 = 0; \\ x_2 - x_5 - x_6 = 0; \\ x_3 - x_7 - x_8 = 0; \\ x_1 - x_5 - x_6 - x_3 - x_4 = 0; \\ x_1 - x_2 - x_7 - x_8 - x_4 = 0; \\ x_1 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8 - x_4 = 0; \\ x_2 + x_3 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8 = 0. \end{cases}$$

Число сформированных таким образом уравнений совпадает с аналитическим, полученным из формуле (6):

$$r = n_н + n_з = n_н + C_3^2 + C_3^3 = 3 + \frac{3!}{2! \cdot 1!} + \frac{3!}{3!} = 3 + 3 + 1 = 7.$$

Литература

1. Анищенко, В.А. Надежность измерительной информации в системах электроснабжения. – Минск: БГПА, 2000. – 128 с.
2. Бронштейн, И.Н., Семендяев, К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1986. – 138 с.