УДК 621.311.22:658.012.001.24

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ НЕДОСТОВЕРНОЙ АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В АСУ ТП ТЭС И АЭС

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И., асп. ПРОНКЕВИЧ Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Программно-технический комплекс АСУ ТП ТЭС и АЭС обеспечивает на нижнем уровне сбор и обработку аналоговой информации, полученной от средств измерения.

При сборе и первичной обработке аналоговых сигналов производится:

- опрос датчиков и других источников информации;
- проверка достоверности информации и сглаживание измеренных значений в соответствии с требованиями технологических алгоритмов;
- формирование признаков недостоверности информации;
- формирование массивов достоверности аналоговой информации;
- проверка выхода достоверных значений параметров за технологические уставки;
- формирование признаков существенных изменений значений аналоговых параметров (±(1–5) % по отношению к значению параметра в предыдущем цикле опроса).

Существующие алгоритмы контроля достоверности [1, 2] в большинстве своем являются «жесткими», неспособными к адаптации, что повышает вероятность отбраковки достоверной информации.

Авторами предложены адаптационные алгоритмы фильтрации недостоверной аналоговой информации в АСУ ТП ТЭС и АЭС, которые легко реализуются в подсистемы контроля достоверности в режиме реального времени.

Алгоритм статистической фильтрации аналоговой информации. Алгоритмический модуль статистической фильтрации разработан на основе распределения Стьюдента [3] с использованием критерия В. И. Романовского [4].

Данный алгоритм основан на рекуррентной (итерационной) процедуре расчета, которая включает в себя:

1. Расчет оценки математического ожидания $\hat{M}_n$ измеряемого сигнала $X(n)$

$$\hat{M}_n = \frac{n-1}{n}\hat{M}_{n-1} + \frac{1}{n}X(n), \tag{1}$$

где n – номер итерации или номер опроса устройством связи с объектом измерительного канала; $X(n)$ – значение измеряемой величины при n-м опросе измерительного канала; $\hat{M}_{n-1}$ – оценка математического ожидания параметра $X(n - 1)$ при $(n - 1)$-м опросе измерительного канала (при $n = 1$ $\hat{M}_1 = X(1)$).

2. Определение оценки среднего квадратичного отклонения $\hat{G}_n$ измеряемого сигнала

$$\hat{G}_n^2 = \frac{n-2}{n-1}\hat{G}_{n-1}^2 + \frac{1}{n-1}\left(X(n) - \hat{M}_n\right)^2. \tag{2}$$

Здесь $\hat{G}_n^2$ – оценка дисперсии измеряемого сигнала при n-м опросе измерительного канала; $\hat{G}_{n-1}^2$ – то же при $(n - 1)$ (при $n = 1$ $\hat{G}_1^2 = 0$).

3. Определение коэффициента λ_n, значение которого с вероятностью $p = 0{,}05$ не превышает разность $[X(n + 1) - \hat{M}_n]$:

$$\lambda_n = t_n\sqrt{\hat{G}_n^2}. \tag{3}$$

Здесь

$$t_n = \begin{cases} 36{,}74 - 10{,}59n \text{ при } 2 \le n \le 3; \\ \dfrac{8{,}426}{n^{0{,}6245}} \text{ при } 4 \le n \le 6; \\ \dfrac{3{,}7}{n^{0{,}184}} \text{ при } 7 \le n \le 30; \\ 1{,}96 \text{ при } 30 < n \le \infty, \end{cases} \tag{4}$$

где t_n – квантиль распределения Стьюдента при заданной доверительной вероятности.

Если $\lambda_n < \left| X(n+1) - \hat{M}_n \right|$, то ($n$ + 1) значение сигнала $X(n + 1)$ подлежит исключению из ряда как не заслуживающее доверия с вероятностью 95 %. Номер опроса (n + 1) измерительного канала также исключается из рекуррентной процедуры.

Вывод формулы (4) осуществлялся методом аппроксимации сплайнами [5] табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	t_n	$\ln t_n(T)$	$\ln n(T)$
2	15,56	2,744	0,693
3	4,97	1,603	1,0986
4	3,56	1,27	1,386
5	3,04	1,112	1,609
6	2,78	1,022	1,792
7	2,62	0,963	1,946
8	2,51	0,92	2,08
9	2,43	0,888	2,197
10	2,37	0,863	2,303
12	2,29	0,828	2,485
14	2,24	0,806	2,64
16	2,2	0,788	2,773
18	2,17	0,775	2,89
20	2,145	0,763	3
∞	1,96	0,673	∞

Со 2-й по 3-ю точку: точки аппроксимации осуществлялись сплайном вида

$$t_n = a + bn. \tag{5}$$

Коэффициенты a и b определяем следующим образом:

$$\frac{y - t_2}{t_3 - t_2} = \frac{n-2}{3-2}$$

и, подставив значения t_2 = 15,56; t_3 = 4,97, получим

$$\frac{y - 15{,}56}{4{,}97 - 15{,}56} = \frac{n-2}{1}.$$

Откуда $y = -10{,}59n + 36{,}74$; $a = 36{,}74$; $b = -10{,}59$.

С 4-й по 6-ю точку аппроксимируем сплайном вида

$$t_n = \frac{a}{n^b} = an^{-b}. \tag{6}$$

Логарифмируя формулу (6), получим:

$$\ln t_n = \ln a - b \ln n = A - b \ln n;$$

$$T = A - bN, \quad \text{где } A = \ln a,\ N = \ln n,\ T = \ln t_n.$$

Определяем коэффициенты A и b:

$$\begin{cases} nA - b\sum \ln n(T) = \sum \ln t_n(T); \\ A\sum \ln n(T) - b\sum \ln^2 t_n(T) = \sum(\ln t_n(T)\ln n(T)) \end{cases}$$

и далее:

$$\begin{cases} 3A - 4{,}7876b = 3{,}404; \\ 4{,}7876A - 7{,}7211b = 5{,}3808. \end{cases}$$

Откуда имеем:

$$A = 2{,}131;\ \ b = 0{,}6245;$$

$$A = \ln a.$$

Откуда $a = 8{,}426$.

Затем, подставив в (6) значения a и b, получим

$$t_n = \frac{a}{n^b} = \frac{8{,}426}{n^{0{,}6245}}.$$

С 7-й по 20-ю точку аппроксимируем сплайном

$$t_n = \frac{a}{n^b} = an^{-b}. \qquad (7)$$

Логарифмируя формулу (7), получим: $\ln t_n = \ln a - b\ln n = A - b\ln n$;

$$T = A - bN,\ \text{где}\ A = \ln a,\ \ N = \ln n,\ \ T = \ln t_n.$$

Коэффициенты A и b определяем из системы:

$$\begin{cases} nA - b\sum \ln n(T) = \sum \ln t_n(T); \\ A\sum \ln n(T) - b\sum \ln^2 t_n(T) = \sum(\ln t_n(T)\ln n(T)), \end{cases}$$

и далее:

$$\begin{cases} 9A - 22{,}314b = 7{,}594; \\ 22{,}314A - 56{,}43b = 18{,}625. \end{cases}$$

Откуда:

$$A = 1{,}3;\ \ b = 0{,}184;\ \text{при}\ \ A = \ln a\ \ a = 3{,}7.$$

Тогда, подставив в формулу (7) значения a и b, получим

$$t_n = \frac{a}{n^b} = \frac{3{,}7}{n^{0{,}184}}.$$

Пример 1. Рассмотрим измерение давления пара в 3-м нерегулируемом отборе турбины Т-110/120-130 (табл. 2).

Таблица 2

№ отбора	Подогреватель	p_i, МПа
III	ПВД 5	1,25
		1,23
		1,26
		1,27
		1,22
		1,30
		1,24

Ниже приведена рекурсивная процедура расчета:

1) для p_1:

$$\hat{M}_1 = X(1) = p_1 = 1{,}25;$$

$$G_1^2 = 0;$$

2) для p_2:

$$\hat{M}_2 = \frac{1}{2}\hat{M}_1 + \frac{1}{2}p_2 = 1{,}24;$$

$$G_2^2 = \left(p_2 - \hat{M}_2\right)^2 = 0{,}0001;$$

$$\lambda_2 = 0{,}1556;\ \ \lambda_2 > \left|p_3 - \hat{M}_2\right| = 0{,}02;$$

3) для p_3:

$$\hat{M}_3 = \frac{2}{3}\hat{M}_2 + \frac{1}{3}p_3 = 1{,}2466;$$

$$G_3^2 = \frac{1}{2}G_2^2 + \frac{1}{2}\left(p_3 - \hat{M}_3\right)^2 = 0{,}00008889;$$

$$\lambda_3 = 0{,}146705;\ \lambda_3 > \left|p_4 - \hat{M}_3\right| = 0{,}0233;$$

4) для p_4:

$$\hat{M}_4 = \frac{3}{4}\hat{M}_3 + \frac{1}{4}p_4 = 1{,}2525;$$

$$G_4^2 = \frac{2}{3}G_3^2 + \frac{1}{3}\left(p_4 - \hat{M}_4\right)^2 = 0{,}0001;$$

$$\lambda_4 = 0{,}03582;\ \lambda_4 > \left|p_5 - \hat{M}_4\right| = 0{,}0325;$$

5) для p_5:

$$\hat{M}_5 = \frac{4}{5}\hat{M}_4 + \frac{1}{5}p_5 = 1{,}246;$$

$$G_5^2 = \frac{3}{4}G_4^2 + \frac{1}{4}\left(p_5 - \hat{M}_5\right)^2 = 0{,}000169;$$

$$\lambda_5 = 0{,}046088;\ \lambda_5 < \left|p_6 - \hat{M}_5\right| = 0{,}054;$$

6) для p_6:

$$\hat{M}_6 = \frac{5}{6}\hat{M}_5 + \frac{1}{6}p_6 = 1{,}255;$$

$$G_6^2 = \frac{4}{5}G_5^2 + \frac{1}{5}\left(p_6 - \hat{M}_6\right)^2 = 0{,}000405;$$

$$\lambda_6 = 0{,}071347;\ \lambda_6 > \left|p_7 - \hat{M}_6\right| = 0{,}015.$$

Откуда следует, что p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 не подлежат исключению из ряда как заслуживающие доверия с вероятностью 95 %, p_6 подлежит исключению из ряда как не заслуживающее доверия с вероятностью 95 %.

Алгоритм контроля достоверности аналоговой информации по «следящим» уставкам. Пусть имеем значение аналогового сигнала A, которое находится в диапазоне уставок, т. е. $AH \leq A \leq AB$, где AH, AB – соответственно нижняя и верхняя уставки (рис. 1).

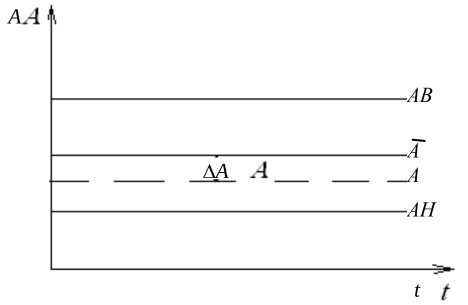

Рис. 1

$$\overline{A} = \frac{AH + AB}{2};$$
$$\Delta A = \overline{A} - A.$$

При запуске ключа (к = 0) нижняя и верхняя уставки AH и AB находятся в допустимых пределах.

Далее проверяем условия определения ΔA в зоне $G\overline{A}$, $G = 0{,}05$–$0{,}1$:

1) если $|\Delta A| \leq G\overline{A}$, то к = 1 и в последующем осуществляется корректировка значений AB и AH на величину ΔA;

2) если же $|\Delta A| > G\overline{A}$, то должны выполняться следующие условия:

$$\begin{cases} \text{если } \Delta A < 0, & \text{то} \quad AH = AH - \Delta A; \\ \text{если } \Delta A \geq 0, & \text{то} \quad AB = AB - \Delta A, \end{cases}$$

т. е. осуществляется корректировка AB или AH с таким расчетом, чтобы привести $\overline{A}$ к A.

Пример 2. Рассмотрим измерения давления пара в 3-м нерегулируемом отборе турбины Т-110/120-130 (табл. 3).

Таблица 3

№ п/п	p_i, МПа	AH	AB	$\overline{A}$	$\Delta A = \overline{A} - A$	Результат
1	1,25	0	1,6	0,8	–0,45	AH = 0,45
2	1,23	0,45	1,6	1,025	–0,21	AH = 0,66
3	1,26	0,66	1,6	1,1275	–0,13	AH = 0,79
4	1,27	0,79	1,6	1,19375	–0,08	AH = 0,86
5	1,22	0,86	1,6	1,231875	0,01	AH = 0,85 AB = 1,59 к = 1
6	1,30	0,85	1,59	1,220938	–0,08	AH = 0,93

Для давления p_5 выполняется неравенство $|\Delta A| \le G\overline{A}$, и если $|\Delta A| = 0{,}01$, $G\overline{A} = 0{,}06159$, то к = 1.

Для давлений p_1, p_2, p_3, p_4, p_6 выполняется неравенство $|\Delta A| > G\overline{A}$, и если $\Delta A < 0$, то $AH = AH - \Delta A$.

Из табл. 3 видно, что значения давлений p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, которые находятся в пределах уставок *AH* и *AB*, являются достоверными аналоговой информации по «следящим» уставкам.

ВЫВОД

Разработаны алгоритмы фильтрации недостоверной аналоговой информации в АСУ ТП ТЭС и АЭС: алгоритм статистической фильтрации на основе распределения Стьюдента и алгоритм контроля достоверности аналоговой информации по «следящим» уставкам. Данные алгоритмы являются самоадаптирующимися, что позволяет существенно повысить эффективность фильтрации недостоверной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей конденсационных энергоблоков мощностью 300, 500, 800 и 1200 МВт. – М.: Союзтехэнерго, 1988.

2. Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей мощных теплофикационных энергоблоков. – М.: Союзтехэнерго, 1985.

3. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

4. Кочетков, А. П. Краткий курс по теории вероятностей и математической статистики: учеб. пособие / П. А. Кочетков. – М.: МГИУ, 1999. – 51 с.

5. Демидович, Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова / под ред. Б. П. Демидовича. – М., 1967. – 368 с.

Представлена кафедрой ТЭС Поступила 25.11.2010