УДК 621.311:629.1.014:629.391

А.Н.КРАВЧЕНКО, И.Н.БЕЛОГЛАЗОВ, Э.Д.КАДЫРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Описаны пути прохождения сигнала в современных системах управления. Показан путь накопления погрешности в сигнале, приведен пример расчета такой погрешности. Предложены некоторые варианты решения задачи снижения погрешности.

The article describes the way of modern control systems signal. The way of accumulation of an error to a signal is shown, the example of calculation of such error is resulted. Some variants of the decision of a problem of decreasing this error are offered.

Внедрение компьютерных технологий в процесс комплексной переработки медно-никелевой руды и концентрата на предприятиях Кольской горно-металлургической компании затронул практически каждый цех, каждый агрегат этого сложного механизма.

Современные системы управления технологическими процессами включают в себя довольно большое количество подсистем, каждая из которых выполняет ту или иную функцию. Функционирование всей системы в целом описывается определенным алгоритмом и преследует цель поддержания параметров процесса в рамках технологического регламента. Функционирование каждой конкретной подсистемы преследует ту или иную задачу, например, подсистема сбора и передачи данных занимается непосредственно получением данных о тех или иных параметрах с помощью датчиков, передачей этих данных на те или иные устройства, передачей сигналов на исполнительные механизмы, а также необходимые преобразования, например аналого-цифровое и т.д. В свою очередь, эта подсистема является неотъемлемой частью канала управления тем или иным технологическим параметром.*

Канал управления состоит из множества компонентов и устройств, каждое из которых накладывает определенные искажения на тот или иной сигнал. Чем больше приборов на пути следования сигнала, тем больше искажений он получает. Проследим путь сигнала от датчика до алгоритма управления. Для начала будем рассматривать аналоговый электрический сигнал, как наиболее распространенный и подверженный влиянию различных помех.

Первичный сигнал, который выдает датчик, некоторым образом отражает поведение того или иного параметра, у термосопротивления, например, в зависимости от температуры изменяется собственное сопротивление. Для нормализации сигнала датчика обычно используют вторичный прибор, который преобразует сигнал датчика в стандартизированный сигнал, например 4-20 мА. И датчик, и вторичный прибор вносят искажения в исходный сигнал, отражающий значение того или иного параметра. Зависят эти искажения от большого количества факторов, и далеко не в последнюю очередь от точности самого датчика и прибора. Преобразованный сигнал в стандартизированной форме уже не точен, его погрешность может составлять 1-2 %, что в принципе нормально для большинства процессов.

После вторичного прибора сигнал через кабель передается на модуль ввода контрол-

* *Куо Б.* Теория и проектирование цифровых систем управления. М.: Машиностроение, 1986. 447 с; *Анашкин А.С.* Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления / А.С.Анашкин, Э.Д.Кадыров, В.Г.Харазов. СПб: П-2, 2004.

лера. На этом пути возможно появление аддитивных помех от находящихся рядом силовых кабельных трасс, приборов и т.п. Влияние этих помех можно минимизировать, если использовать экранированный кабель. Попадая на УСО или вход модуля аналогового ввода, с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигнал преобразуется в цифровой. Это преобразование тоже происходит не без искажений, возникающие, в первую очередь, из-за ограниченной разрядности самого АЦП. Современные АЦП в модулях ввода наиболее распространенных контроллеров имеют разрядность 12-16 бит и погрешность преобразования в процентах

$$\sigma = 100 / 2^k , \qquad (1)$$

где k – разрядность АЦП.

Сам АЦП тоже вносит некоторые искажения, зависящие от принципа его работы.

Итак, погрешность накапливается по пути следования сигнала, и в конечном итоге управляющее устройство получает сигнал с погрешностью, в некоторых случаях превышающей 5 %. Для большинства технологических процессов такая погрешность не является критичной и позволяет вести процесс в рамках технологического регламента.

Приведем пример расчета погрешности контура регулирования при использовании программируемого логического контроллера «Modicon TSX Micro» компании «Schneider Electric». В контуре регулирования измерительный канал (ИК) состоит из последовательно соединенных приборов: термопреобразователя сопротивления (ТСМ-1088, класс С, диапазон измерений –50 ... + 150 °С, блока преобразования сигналов сопротивлений БПО-32 (датчик ТСМ 100М, выход 4-20 мА) и модуля аналогового ввода контроллера «Modicon TSX Micro».

В канале управления последовательно соединены модуль дискретного вывода контроллера «Modicon TSX Micro», пускатель бесконтактного реверсивного ПБР-2М и исполнительный механизм МЭО-6,3-99.

Проведем оценку допускаемых среднеквадратических отклонений (СКО) погрешности измерительного и управляющего каналов с учетом приборов, входящих в их состав. СКО погрешностей компонентов каналов для нормального закона распределения случайных составляющих погрешности в процентах от нормирующего значения

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} Y_i^2 / N} , \qquad (2)$$

где Y_i – пределы основной приведенной погрешности соответствующего прибора; N – количество приборов.

Пределы основной приведенной погрешности приборов, входящих в состав каналов, согласно документации и руководствам по эксплуатации следующие, %:

Термопреобразователь сопротивления (ТСМ-1088, класс С)	0,6
Блок преобразования сигналов сопротивлений БПО-32	0,25
Аналоговый вход модуля аналогового ввода контроллера «Modicon TSX Micro»	0,4
Исполнительный механизм МЭО-6,3-99	1,0

Погрешностью дискретных приборов в нашем случае можно пренебречь, так как время замыкания дискретных выходов модуля и ПБР-2М пренебрежимо мало.

Таким образом, СКО погрешностей компонентов ИК по формуле (2)

$$\sigma = \sqrt{0{,}6^2 / 3 + 0{,}25^2 / 3 + 0{,}4^2 / 3} = 0{,}76\ \% .$$

Погрешность АЦП модуля аналогового ввода по формуле (1)

$$\sigma = \frac{100}{2^{12}} = \frac{100}{4096} = 0{,}024\ \% ,$$

где k = 12 бит.

По сравнению с погрешностью остальных приборов погрешность АЦП мала и ею можно пренебречь.

Рассчитаем СКО погрешностей компонентов канала управления по формуле (2). Здесь нужно учесть, что сигнал положения с исполнительного механизма также попадает на модуль аналогового ввода, работающего с определенной погрешностью. Тогда

$$\sigma = \sqrt{1^2 / 2 + 0{,}4^2 / 2} = 0{,}76\ \% .$$

Суммарная погрешность каналов

$$\sigma = \sqrt{0{,}76^2/2 + 0{,}76^2/2} = 0{,}76\ \%.$$

Соответственно для диапазона измеряемых температур от –50 до +150 °С СКО погрешностей всей цепочки регулирования

$$\sigma = \frac{(|-50| + 150) \cdot 0{,}76}{100} = 1{,}52\ ^\circ\text{C}.$$

Попытки избавиться от погрешностей измерительных и управляющих каналов могут привести к значительному удорожанию всей системы, к тому же зачастую точность каналов зависит и от культуры производства, и если эта зависимость носит подавляющий характер, то технически здесь что-то сделать практически невозможно.

С другой стороны, экономический эффект работы одной информационной цепочки, погрешность которой мы рассчитали выше, также можно рассчитать. Предположим, что на объекте управляемым параметром является температура, погрешность информационного канала, в который входят и измерительный канал и канал управления, равна 1,52 °С в рабочем диапазоне. Для компенсации отклонения в 1 °С необходимо затратить те или иные энергоресурсы; предположим, изменить подачу топлива на 0,1 кг/с (эта величина зависит от коэффициента усиления объекта по каналу управления – подачи топлива). Значит, для 1,52 °С необходима подача 0,152 кг/с. Допустим, что в течение суток агрегат работает с таким отклонением суммарно 1 ч. За это время из-за погрешности канала на компенсацию «ошибочного» отклонения будет потрачено на 547,2 кг топлива больше, чем того требует процесс. Соответственно получается, что неточность канала «стоит» 200 т топлива в год. А в современных технологических агрегатах таких каналов может быть десятки и даже сотни. И ведь расчет не учитывал погрешности передачи и аналого-цифрового преобразования. Вот и получается, что, экономя на измерительных приборах, на кабелях и другом информационном оборудовании при создании системы управления технологическим процессом, предприятие теряет миллионы рублей в процессе ее эксплуатации.

Внедрение интеллектуальных датчиков, передающих сигнал уже в цифровом виде посредством различных сетевых интерфейсов, снижает погрешность в измерительной цепочке, так как наводки кабельных трасс практически не влияют на точность сигнала. К тому же погрешности таких приборов тоже в большинстве случаев довольно малы. Конечно, возрастет стоимость такой системы (хотя и это тоже спорно), но по сравнению с материальными потерями за счет погрешностей измерительных каналов увеличение стоимости такой системы чрезвычайно мало.