

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 621.512.011.56

Ю. Ф. Рубцов, кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

*Рассматривается метод формализованного представления обработки информации. Представлены критерии оценки суммарной погрешности измерения в системе.*

**Ключевые слова:** погрешность, измерение, аппроксимация, метод, функция, дискретизация.

**Р**ешение сложных вопросов обработки информации при совершенствовании автоматизированных систем испытаний электрических машин (АСИ ЭМ) требует разработки методики на основе канальной декомпозиции системы, математических методов и является актуальной задачей.

Методика предполагает решение трех взаимосвязанных задач:

- 1) выбор и обоснование критерия оптимизации;
- 2) анализ составляющих критерия оптимизации и определение их зависимостей от основных параметров электрических машин;
- 3) разработка процедур оптимизации, обеспечивающих оптимальный выбор аппаратно-программных средств уровней структуры.

В основном в теории рассматриваются методы оптимизации структуры по следующим переменным эффективности функционирования  $W$ : минимум стоимости средств вычислительной техники, каналов связи и минимум времени доставки сообщения.

Исходя из основной функции АСИ главным показателем является качество функционирования  $i$ , которое оценивается ошибками управления [1]. При этом качество функционирования, а в конечном итоге и эффективность функционирования непосредственно связаны с величиной суммарной погрешности преобразования и измерения  $\Delta_\Sigma^c$ . Уменьшение  $\Delta_\Sigma^c$  может быть достигнуто путем сокращения интервала дискретизации, повышения точности измерения за счет снижения чувствительности систем автоматизации к помехам, подавления помех до минимального уровня (экранирование) и т. д.

Для того чтобы связать потери показателя качества функционирования  $\Delta i$  с погрешностью  $\Delta_\Sigma^c$ , оценим роль операции измерения в системе.

Совокупность параметров АСИ и технологического оборудования АСУ ТП представим в виде векторов  $\bar{X}$  и  $\bar{\psi}$ , значения которых определяются значениями этих параметров. При этом одна часть параметров технических средств и систем автомати-

зации ( $\bar{X}$  и  $\bar{\psi}$ ), определяющих критерий  $i(t)$ , доступна для измерения, хотя и с ошибками, а другая ( $\bar{X}'$  и  $\bar{\psi}'$ ) – не доступна для измерения из-за отсутствия средств контроля или из-за того, что вообще неизвестно, какие величины следует измерять для вычисления  $i(t)$ .

Принцип формализации процесса заключается в том, что для каждого конкретного исходного состояния, определяемого векторами  $\bar{X}'$  и  $\bar{\psi}'$ , возмущением  $\bar{\xi}$ , выбирается такое значение  $Y_0$  управляющего воздействия, которое должно обеспечить оптимальное значение  $i(t)$ , равное  $i_0(t)$ . Вектор оптимального управления  $\bar{Y}_0$  поступает на объект испытаний (ЭМ, генератор и др.)  $\bar{Y}_0'$  и технологическое оборудование  $\bar{Y}_0^A$ . Значение векторов состояний и отсутствие ошибок измерения обозначим как

$$Z_0 = \varphi(\bar{X}' \text{ и } \bar{\psi}').$$

Для простой статистической модели теория векторов состояний [1] позволяет выбрать лучшие параметры при заданных характеристиках АСИ и измерительных устройств:

$$\Delta \bar{Z} = \bar{Z}_0 - \bar{Z} = B \cdot \bar{\Delta}_\Sigma,$$

где  $\Delta \bar{Z}$  – ошибка вектора состояния системы;  $Z$  – вектор состояния;  $B = \|b_j\|$  – диагональная матрица коэффициентов;  $Z_0$  – значение векторов состояния.

Таким образом, для АСИ целесообразно выбрать критерий  $\Delta_\Sigma$ , который определяет качество функционирования автоматизированной системы измерений и контроля параметров, в конечном итоге влияет на эффективность функционирования АСУ ТП.

#### Критерий оценки суммарной погрешности измерения

Основной задачей качественного функционирования АСИ является максимально точное отображе-

ние величины суммарной погрешности измерения. Потери, обусловленные погрешностью преобразования и передачи сигналов, определяются как

$$\Delta Z_i = O_{\text{пр}}(\bar{X}_i) - O_{\text{прид}}(\bar{X}_i) + f(\bar{\xi}_j),$$

где  $O_{\text{прид}}$ ,  $O_{\text{пр}}$  – идеальная и реальная функции преобразования входного сигнала  $\bar{X}_i$  в выходной  $\bar{Z}_i$ ;  $\Delta Z_i$  – погрешность преобразования, обусловленная расхождением  $O_{\text{прид}}$  и  $O_{\text{пр}}$  и наличием помех  $\bar{\xi}_j$ .

Для оценки  $\Delta Z_i$  учитываем различные критерии: критерий наибольшего отклонения, среднеквадратический критерий, вероятно-зонный. В дальнейшем в качестве критерия оценки суммарной погрешности преобразования принята среднеквадратическая погрешность преобразования, определяемая в виде

$$\bar{\delta}_{\text{ср.к}}^2 = \frac{1}{\Delta t_j} \cdot \int_0^{\Delta t_j} [Z_i(t) - Z_{i0}(t)]^2 dt,$$

где  $\Delta t_j$  – интервал аппроксимации.

Правомерность выбора среднеквадратического критерия подтверждается исследованиями, проведенными в [2].

Исходя из особенностей модели виртуального измерительного класса (ВИК) [2] и с учетом выбранного критерия оценки погрешности получим:

$$\bar{\delta}^2 = \bar{\delta}_d^2 + \bar{\delta}_{\text{из}}^2,$$

где  $\bar{\delta}_d^2$ ,  $\bar{\delta}_{\text{из}}^2$  – среднеквадратическое значение приведенной погрешности первичного преобразователя и каналов измерения АСИ.

В свою очередь среднеквадратическое значение приведенной погрешности тракта измерения

$$\bar{\delta}_{\text{из}}^2 = \bar{\delta}_{\text{кв}}^2 + \bar{\delta}_{\text{ап}}^2 + \bar{\delta}_n^2 + \bar{\delta}_{\text{мн}}^2,$$

где  $\bar{\delta}_{\text{кв}}^2$ ,  $\bar{\delta}_{\text{ап}}^2$ ,  $\bar{\delta}_n^2$ ,  $\bar{\delta}_{\text{мн}}^2$  – среднеквадратические значения приведенных погрешностей квантования, аппроксимации, от помех при передаче информации по каналам связи между уровнями системы, погрешность многоканальности. Указанные выражения приведены для некоррелированных составляющих погрешностей.

Проанализируем зависимость составляющих  $\bar{\delta}_{\text{из}}^2$  основных параметров системы на основе концепции ВИК.

#### Анализ погрешности аппроксимации

Теоретические и экспериментальные исследования АСИ требует наличия входных сигналов, которые должны максимально приближаться по своим характеристикам к реальным сигналам. Требования, предъявляемые к моделям сигналов, в основном сводятся к следующему: модели сигналов должны с требуемой точностью описывать реальный перечень входных сигналов; в рамках принятых моделей

должны решаться поставленные задачи; модели должны быть просты.

Перечисленные требования достаточно противоречивы, чтобы можно было найти универсальную модель, которая позволит относительно просто и с достаточной точностью теоретически и экспериментально определить основные характеристики системы [2].

Так как рассматриваются АСИ, изменения входных сигналов, то в первую очередь для их анализа необходимо знание характеристик производных сигнала  $M_p - 1(t)$ . Реальные сигналы имеют конечное время, что теоретически приводит к бесконечному спектру. Желательно иметь конечный спектр (финитных), что значительно расширит класс дифференцируемых случайных функций. На участке дискретизации такой сигнал может быть описан полиномом  $p$ -й степени. С достаточной для практики точностью будем аппроксимировать функции реальных сигналов полиномами  $(p + 1)$ -й степени. Такая аппроксимация приводит к неизменности в интервале дискретизации соответствующей производной. Ошибка же при такой идеализации составит очень малую величину. В свою очередь такая модель сигнала приводит к функциональной связи между погрешностью аппроксимации при дискретизации, частотой дискретизации и соответствующей производной, что удобно для анализа систем.

Таким образом, закон распределения погрешности аппроксимации зависит от статистических характеристик производных сигнала. На основании спектрально-корреляционной теории определение характеристик производной по характеристикам сигнала возможно только до второго момента распределения.

Рассмотрим особенности задания многоканального ансамбля сигналов. К рассмотренным уже характеристикам многоканальных сигналов на участке стационарности обычно добавляют матрицы корреляционных функций (функция является частным случаем корреляции). Корреляция в данном случае – понятие, которым отмечают связь между явлениями, и имеются общие причины, воздействующие на эти явления. Однако при анализе системы [2] важны корреляционные функции не самих сигналов, а модулей их  $p + 1$  производных, корреляционные связи которых значительно слабее. Это приводит к возможности использования в качестве достаточно общей модели ансамбля некоррелированных сигналов, так как наличие коррелированных сигналов практически не сказывается на общих показателях эффективности исследуемых систем АСУ ТП.

#### Исследование влияния параметров АСИ на погрешность аппроксимации

Как отмечено ранее, на участке дискретизации исследуемые сигналы аппроксимированы полиномами  $p$ -й степени. В промежуточных точках, не являющихся узлом полинома, получается погрешность (погрешность аппроксимации), которая может быть оценена остаточным членом. Основываясь на выбранном критерии оценки погрешности, с учетом рекомендаций [2] получим:

$$\overline{\delta_{\text{ан}}^2} = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \left( \frac{x(t) - \overline{x(t)}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \right)^2 dt \cong \frac{1}{2p+3} \left( \frac{k_p M_{p+1} \Delta t^{p+1}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \right)^2,$$

где  $\overline{\delta_{\text{ан}}^2}$  – среднее квадратичное значение приведенной погрешности аппроксимации;  $\Delta t$  – интервал аппроксимации;  $k_p$  – коэффициент, зависящий от вида аппроксимации и степени ( $p$ ) аппроксимирующего полинома;  $M_{p+1}$  – состояние входных сигналов;  $x_{\text{max}}$ ,  $x_{\text{min}}$  – наибольшее и наименьшее значения сигналов.

Основные причины для формализации: техническая сложность создания систем при  $p > 1$  и уменьшение их надежности; незначительный выигрыш в эффективности функционирования при переходе с  $p = 1$  к  $p > 1$ ; увеличение сложности защиты аппаратуры от действия помех при увеличении порядка  $p$ ; увеличение времени запаздывания в получении информации.

$$\overline{\delta_{\text{ан}}^2} = \frac{1}{3} \left( \frac{k_0 M_1 \Delta t}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \right)^2.$$

Рассмотрим более подробно составляющие  $\Delta t$  применительно к архитектуре АСИ. Адаптивный измерительный канал позволяет определить основные составляющие  $\Delta t$ . При этом

$$\Delta t = t_{\text{изм}} + t_{\text{опт}} + \sum_{j=1}^2 (t_{\text{npj}} + t_{\text{kj}} + t_{\text{обп}}),$$

где  $t_{\text{изм}} = t_1 q$  – время измерения в условиях поразрядного кодирования;  $t_1$  – открытое время преобразования одного разряда измерительного устройства;  $q$  – разрядность измерительного устройства;  $t_{\text{опт}}$  – время оптимизации системы для входного сигнала;

$$t_{\text{npj}} = C_{kj}^{-1} \left[ \frac{q + m + k}{\sum_{j=1}^{k_j} \mu_k} \right],$$

$t_{\text{npj}}$  – время передачи сообщений в  $j$ -й фазе (передача информации с одного уровня системы на другой);  $C_{kj}$  – пропускная способность  $k$ -го канала  $j$ -й фазы;  $m$  – разрядность адресной части сообщения ( $m = \lceil \log_2 N \rceil$ , где  $N$  – число входных сигналов в АСИ;  $\lceil \cdot \rceil$  – целая часть при округлении в большую сторону от выражения, стоящего в скобках);  $k$  – количество

избыточных символов в сообщении, определяемое типом используемого защищенного кода;  $\mu_k$  – разрядность  $k$ -го канала передачи;  $t_{\text{kj}}$ ,  $t_{\text{dkj}}$  – время помехоустойчивого кодирования и декодирования сообщения при передаче в  $j$ -й фазе.

С учетом

$$t_{\text{kj}} \cong C_{1j} n_j^2, \quad t_{\text{dkj}} \cong C_{2j} n_j^2,$$

где  $C_{1j}$ ,  $C_{2j}$  – постоянные коэффициенты, определяемые алгоритмом реализации операций кодирования и декодирования, числом, разрядностью, производительностью кодеров ( $X_{2j}$ ) и декодеров ( $X_{3j}$ );  $n = q + m + k$  – разрядность передаваемого сообщения:

$$t_{\text{обп}} = f_i(A_i, X_i, P_V, B_V, T_i),$$

где  $t_{\text{обп}}$  – время обработки информации на второй ( $X_4$  – количество связанных процессоров) и первой ( $X_5$  – количество обрабатывающих процессоров) фазах;  $A_i$  – вид алгоритма обработки  $i$ -го сообщения;  $P_V$ ,  $B_V$  – разрядность и быстродействие  $v$ -го обрабатывающего устройства;  $T_i$  – тип организации вычислителя для обработки  $i$ -го сообщения. Вид указанных функций может быть определен в каждом конкретном случае отдельно в зависимости от используемого протокола и функций обработки, состава и объема технических средств.

### Заключение

Таким образом, погрешность аппроксимации непосредственно связана со значением  $M_{p+i}$  и временем пребывания сообщения на обслуживании в системе ( $\Delta t$ ), которая, в свою очередь, зависит от структуры виртуального измерительного канала, параметров и количества используемых технических средств, принятых алгоритмов обработки. Воздействуя на указанные составляющие  $\Delta t$ , можно добиться определенного изменения (уменьшения) погрешности аппроксимации.

Применение формализованного представления обработки информации обеспечивает эффективное исследование и разработку автоматизированных систем испытаний.

### Библиографические ссылки

1. Рубцов Ю. Ф. Исследование влияния параметров нестандартных инструментальных средств на погрешность аппроксимации // Сб. науч. тр. – Пермь, 2005.
2. Рубцов Ю. Ф., Богданов В. Г., Любимов Э. В. Формализация процесса проектирования АСИ электрических машин // Сб. науч. тр. – Пермь, 2004.

Yu. F. Rubtsov, Candidate of Technical Sciences, Perm State National Research University

### Formalization of a Process of Improvement of Information Processing in the Automated Test Systems for Electric Machines

A method of formalized representation of information processing is considered. Criteria of total measurement error assessment in a system are presented.

**Key words:** error, measurement, approximation, method, function, digitization.