

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

УДК 681.3.02

В. А. Виттих, В. П. Дерябкин, Г. Н. Томников.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СТРУКТУР
СИСТЕМ СБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Задача сравнительного анализа вариантов структур систем сбора данных (ССД) возникает на разных этапах проектирования и внедрения любой системы автоматизации экспериментальных исследований. Обычно ССД в составе системы автоматизации являются многоканальными специализированными информационно-измерительными системами, предназначенными для выполнения функций нормализации, коммутации и преобразования сигналов датчиков в цифровую форму, удобную для последующей обработки на ЭВМ или хранения данных [1,3]. Вопросам анализа и проектирования ССД посвящено большое количество работ [1,2,3], из которых следует, что один и тот же набор главных функций (целей) при заданных ограничениях по качеству функционирования может быть реализован множеством разнообразных конструктивных структур (наборов модулей, реализующих частные функции на различной технической базе, по-разному соединенных между собой). Выбор той или иной структуры представляет большую трудность даже для разработанных ССД с жесткой (неизменяемой) структурой из-за многочисленности частных критериев оценок эффектив-

ности, предъявляющих противоречивые требования к структуре, отсутствия достаточно эффективных моделей.

В данной работе предлагается модель сравнительного анализа различных вариантов структур ССД с жесткой структурой (заранее заданной) по обобщенному критерию, специально формализуемая для реализации на ЭВМ. Модель ССД может быть различной степени сложности в зависимости от требований к точности расчетов и включения дополнительных факторов, влияющих на основные параметры модулей и системы, при этом общая схема анализа не меняется.

Пусть структура ССД задана в виде некоторого набора функциональных модулей (ФМ) и связей между ними. Под функциональным модулем понимается конструктивно обособленный модуль или схема, выполняющая самостоятельную функцию или ограниченный набор функций. Все функции, и, соответственно, функциональные модули делятся на два типа: основные, связанные с непосредственным преобразованием сигнала или группы сигналов, несущих информацию об эксперименте и сервисные, связанные с обслуживанием основных (энергопитание, управление и т.п.).

Кроме того, будем различать функции первого рода (непрерывное преобразование параметров, результат которого представляется непрерывной величиной) и второго рода (логическое преобразование, результат которого представляется дискретной величиной, принимающей конечное множество значений).

Для оценки качества выполнения функций первого рода введем следующие показатели.

Относительная погрешность результата : $\delta = \frac{y - x}{x_0}$, где x - точное (идеальное) значение результата; y - фактически полученное значение результата; x_0 - некоторое заданное значение результата.

Достоверность результата : $P_1 = \text{Вер} \{ \delta \leq \delta_m \}$, где δ_m - заранее заданная верхняя граница погрешности.

Время получения результата τ - интервал времени от момента запроса на выполнение функции до момента окончания выдачи результата.

Оценку качества выполнения функций второго рода будем производить двумя следующими показателями :

Надежность выполнения функции : $P_2 = \text{Вер} \{ y = x \}$

Время выполнения функции τ , определяемое аналогично предыдущему.

Назовем систему автоматизации, в состав которой входит ССД, системой высшего уровня. В процессе своей работы ССД расходует определенные информационные, энергетические и материальные ресурсы, способствуя выполнению основной целевой функции системы высшего уровня. ССД может оцениваться различными свертками частных критериев эффективности [1,3,4], но наиболее универсальной является свертка в виде критерия экономической эффективности [3,5]. В общем случае его определение - задача чрезвычайно сложная, однако, для сравнительного анализа достаточен учет наиболее существенных факторов.

Основную "прибыль" ССД создает за счет своевременной и правильной передачи информации от датчиков к устройству переработки или хранения информации. Поэтому весьма важной величиной является средняя стоимость единицы полезной информации (с точки зрения восстановления исходного воздействия на датчик), приходящаяся на 1 отсчет по одному каналу системы

$$C = \frac{\mathcal{E}_T}{\sum_{i=1}^n n_{Ti} H_{0i}(L)}$$

где \mathcal{E}_T - условный доход от работы системы автоматизации за период функционирования T , руб.; n - число каналов; n_{Ti} - число входных ин-

формативных отсчетов, которые необходимо выполнить по i -му каналу за время T ; $H_{0i}(L)$ - объем данных, который необходимо преобразовать за один отсчет по i -му каналу, бит.

Обобщенный критерий эффективности $Q = CH(N) - C$,

где $C = \sum_{k=1}^M C_k$ - суммарная средняя стоимость ФМ, отнесенная к одному каналу и одному отсчету, руб., $H(N)$ - средний объем информативных данных на выходе системы, отнесенной к одному каналу и одному отсчету, бит.

Для определения $H(N)$ примем следующие допущения. Будем рассматривать наихудший случай равномерного распределения ошибок модулей и равновероятного выбора уровней на входе ССД.

Информационная способность датчика [1]

$$H_0(L) = \log_2 \frac{100}{2^{10n}} = \log_2 N,$$

где σ_0 - максимальная относительная погрешность датчика, %;
 N - число информационных уровней датчика.

Разрешающая способность датчика по времени $\tau_r = 2F_3 T$,

где F_3 - верхняя граничная частота датчика. Эти отсчеты являются информативными.

При идеально работающей ССД на выходе мы должны получить последовательность уровней, строго соответствующих входным уровням сигнала. Из-за ошибок и ненадежности функционирования ФМ вероятность появления правильного уровня на выходе ССД уменьшается. По мере прохождения основного сигнала через модули появление того или иного уровня становится сложным событием, вероятность которого можно оценить, рассматривая все возможные пути перехода на данный уровень с предыдущих. Число "влияющих" уровней определяется абсолютной погрешностью $m_k = 2 [\mathcal{D}_k] + 3$, где k - номер ФМ; $[\mathcal{D}_k]$ - целая часть от \mathcal{D}_k ; \mathcal{D}_k - абсолютная погрешность в единицах дискретности шкалы.

$$\mathcal{D}_k = \frac{N \delta_k}{100},$$

где δ_k - относительная погрешность k -го ФМ от полной шкалы, %.

Безусловные вероятности появления влияющих уровней для i -го уровня на входе ССД

$$P_j^{(k)} = \begin{cases} W(k) = \frac{P_k}{2^{|\mathcal{D}_k|+1}}, & j = i - [\mathcal{D}_k], \dots, i + [\mathcal{D}_k] \\ O(k) = \frac{1}{2} \left(1 - 2^{-(|\mathcal{D}_k|+1)} W(k) \right), & j = i - [\mathcal{D}_k] - 1; \\ & i + [\mathcal{D}_k] + 1. \end{cases}$$

j - номер влияющего уровня.

Условные вероятности появления j -го уровня на выходе k -го модуля N_j при наличии i -го уровня на входе ССД U_i

$$D^{(K)}(N_j/U_i) = P_j^{(K)} \left[\sum_{l=j-[D_K]-1}^{l=j+[D_K]+1} D^{(K-1)}(N_l/U_i) \right] =$$

$$= W^{(K)} \sum_{l=j-[D_K]}^{l=j+[D_K]} P^{(K-1)}(N_l/U_i) + O^{(K)} [P^{(K-1)}(N_{j-[D_K]-1}/U_i) +$$

$$+ P^{(K-1)}(N_{j+[D_K]+1}/U_i)],$$

$$i-[D_K]-1 \leq j \leq i+[D_K]+1.$$

Если $j < 1$ или $j < i - [D_K] - 1$, то $D^{(K)}(N_j/U_i) = 0$.

Если $j > N$ или $j > i + [D_K] + 1$, то $D^{(K)}(N_j/U_i) = 0$.

Представление модулей как квантующих устройств с заданными погрешностями позволяет воспользоваться энтропийной оценкой информационных потерь.

Энтропия информационных потерь по K -го модулю включительно при наличии i -го уровня на входе первого модуля

$$H_i^{(K)} = \frac{1}{2} \sum_{j=i-K(m_K-1)-1}^{j=i+K(m_K-1)+1} D^{(K)}(N_j/U_i) P(U_i) \log_2 P^{(K)}(N_j/U_i) P(U_i),$$

где $D(U_i) = \frac{1}{N} = \text{const.}$

Средняя энтропия потерь ССД при i -м уровне на входе

$$H_i(N/U) = H_i^{(M)}$$

Суммарная средняя энтропия потерь ССД для одного канала и одного отсчета

$$H(N/U) = \sum_{i=1}^N H_i^{(M)}$$

Объем информационных данных на выходе ССД, отнесенный к одному каналу и одному отсчету $H(N) = H_0(h) - H(N/U)$.

Вычисляя критерий эффективности (5), принимаем решение в пользу того варианта, для которого он максимален.

Рассмотренная методика была применена для сравнительного анализа двух структур ССД: выполненных на основе индивидуальных согласующих устройств по традиционной схеме усиления с модуляцией и демодуляцией сигнала (МДМ) и групповых согласующих устройств по схеме, использующей метод первой производной [6]. При расчетах принято $\mathcal{N} = 16$, тип датчиков - индуктивный; параметры датчика: $\delta = \pm 0,1\%$, $F_3 = 1000$ Гц, условия работы - нормальные.

Структурные схемы обоих вариантов ССД представлены на рис.1

Предварительно проведен метрологический анализ, результаты которого сведены в таблицу I.

Таблица I

Номер модуля	Основная относительная погрешность, %	
	вариант I	вариант 2
I	0,043	0,041
2	0,108	0,044
3	0,112	0,092
4	0,110	0,095
5	0,040	0,042

Результаты расчета надежности и стоимости модулей при $T = 1000$ час приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер модуля	Вероятность безотказной работы P_k		Приведенная стоимость C р/руб	
	вариант I	вариант 2	вариант I	вариант 2
I	0,97908	0,98328	$0,710 \cdot 10^{-9}$	$0,220 \cdot 10^{-9}$
2	0,95949	0,98384	$2,79 \cdot 10^{-9}$	$1,65 \cdot 10^{-9}$
3	0,97331	0,99508	$1,93 \cdot 10^{-9}$	$0,063 \cdot 10^{-9}$
4	0,99677	0,99584	$0,110 \cdot 10^{-9}$	$0,045 \cdot 10^{-9}$
5	0,98995	0,98672	$1,45 \cdot 10^{-8}$	$0,125 \cdot 10^{-9}$

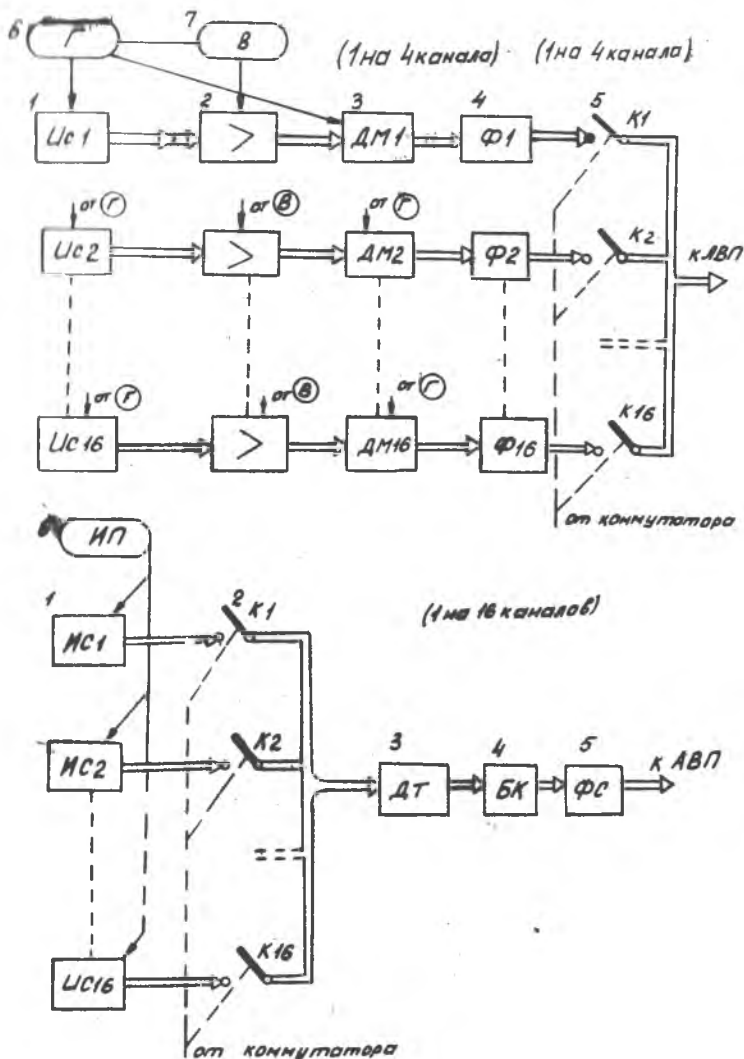


Рис. 1. Структурная схема СНК с индивидуальными (а) и групповым (б) согласующим устройством МДМ - типа
 ИС - измерительная схема; У - усилитель; Γ - генератор;
 В - выпрямитель; ДМ - демодулятор; Φ - фильтр; К - ключ;
 АВП - аналого-временной преобразователь; ДТ - дифференцирующий трансформатор; БК - буферный каскад; $\PhiС$ - формирователь сигнала

При расчете информационных потерь инерционность ФМ не учитывалась, так как она пренебрежимо мала по сравнению с инерционностью датчиков. Инерционность ФМ может быть учтена введением дополнительной динамической погрешности.

Итоговые данные при $\mathcal{I} = 10^6$ руб. приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование критерия	Условное обозначение	Единица измерения	Значение критерия	
			Вариант 1	Вариант 2
Энтропия потерь	$H(N/U)$	бит	5.76973	5.63630
Прибыль на I канал и I отчет	Q	руб	3.22338	3.36159 · 10 ⁻⁷
Прибыль от работы системы за 1000 час	Q^*	тыс.руб.	371	387

Таким образом, решение принимается в пользу варианта 2.

Предлагаемая методика сравнительного анализа структур ССД в сочетании с известными методами позволяет произвести отсеб нерациональных структур. Введение дополнительных факторов оказывает влияние на основные показатели ФМ. В случае различия в характеристиках каналов расчет производится по каждому каналу раздельно. При наличии опытных образцов ССД все характеристики могут быть оценены экспериментально.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Универсальные электронные преобразователи информации, пол.реф. Смолова В.Б. Л., "Машиностроение", 1971, 312 с.
2. Кавалеров Г.И., Манделштам С.М. Введение в информационную теорию измерений. М., "Энергия", 1974, 375 с.
3. Шастова Г.А., Коекин А.И. Выбор и оптимизация структуры информационных систем. М., "Энергия", 1972 .

4. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М, "Наука", 1971,

5. Балакирев В.С. и др. Об оценке эффективности АСУ научного эксперимента. "Приборы и системы управления", 1975, № 3.

6. Болтянский А.А., Васин Н.Н., Секисов Ю.Ц., Скобелев О.П. Коммутационное преобразование напряжения низкого уровня. "Измерительная техника", 1974, № 4 с. 34-37.

УДК 681.3

В.В.Куликов

О СТРУКТУРЕ ДАННЫХ

В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

При разработке систем автоматизированной обработки данных на ЦВМ возникает задача описания и представления данных, образующих информационные потоки данных системы. Методы описания данных, используемые при разработке отдельных систем обработки [1,2], плохо применимы при описании данных, поступающих с измерительных систем, используемых при натуральных и стендовых испытаниях сложных технических объектов. Одной из особенностей таких измерительных систем является частая смена комбинаций и числа измеряемых параметров и их представления. Внесение изменений в систему обработки данных при изменении состава измеряемых параметров может быть упрощено, если имеется возможность их нормального описания.

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ множество элементарных данных, составляющих некоторую запись в ЦВМ, поступающую в систему обработки. На различных этапах обработки этой записи требуется выдлить некоторые совокупности элементарных данных. Для определенности будем предполагать, что запись представляет входной сигнал $X(t)$, имеющий некоторый набор характеристик $x_i \in X_i, i = \overline{1, m}$, где X_i - множество значений характеристики x_i при заданном времени t . Сигнал $X(t)$ можно представить в виде [3],
$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$
, где x_i - элементарные составляющие входного сигнала x ;

$$(x_j = t, 1 \leq j \leq n).$$

Прямое произведение $\tilde{X} = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m$ задает пространство входного сигнала. Множества $X_i, i = \overline{1, m}$ - элементарные оси этого пространства. Входной сигнал x представляет собой