

3. Преобразование информации в аналого-цифровых вычислительных устройствах и системах. Под ред. Петрова Г.М. М., "Машиностроение", 1973.

В.А.Глазунов

О ВЫБОРЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время для оценки надежности информационно-измерительных систем /ИИС/ применяется множество различных показателей. Все они могут быть разделены на две группы: вероятностные /статистические/ и функциональные.

Наиболее распространены статистические показатели / [1], [2] /: вероятность безотказной работы $P(t)$, среднее время безотказной работы $T_{ср}$, частота $f(b)$ и интенсивность $\lambda(t)$ отказов, всевозможные коэффициенты надежности. Используя один из статистических показателей, легко получить количественное значение надежности элемента или блока ИИС. Однако определение надежности иерархической ИИС в целом по методу суперпозиции $\lambda_{ИИС} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ /где n - число элементов системы/ может привести к значительным ошибкам, если не учитывается влияние отказов отдельных элементов системы на способность ИИС выполнять заданную функцию. Поэтому показатель надежности зависит не только от технических характеристик элементов ИИС, но и от структурной и функциональной схемы системы [2] - [5]. Действительно, в сложных ИИС отказ отдельного ее элемента может привести лишь к некоторому снижению уровня ее эффективности. Показатель функциональной надежности должен учитывать все возможные состояния системы при отказе ее элементов, а также назначение и условия применения системы.

Рассмотрим иерархическую ИИС с автономными подсистемами /рис. 1/, предназначенную для сбора и обработки информации с технологических объектов /ТО/. Цель обработки информации - получение обобщенных технико-экономических показателей $Z_i^{(j)}$ и формирова -

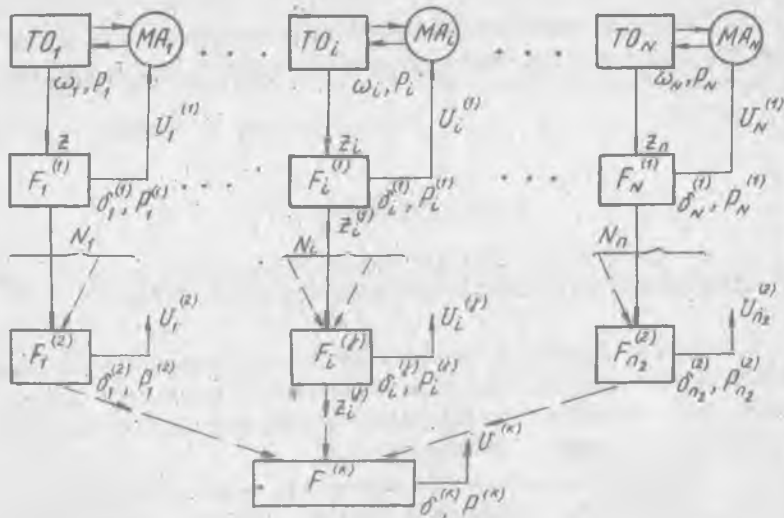


Рис. 1. Структура ИИС для АСУ непрерывным технологическим процессом

ние управляющих воздействий $U_i^{(j)} = F_i^{(j)} [z_i^{(j-1)}]$.

Каждая автономная подсистема $j = 1/$ является локальной системой управления для TO_i , а все последующие ступени $j = 2, 3, \dots, k$ координируют работу объектов, т.е. осуществляют оптимизацию технологического режима совокупности объектов, корректируя работу местных устройств автоматики /МА/. С помощью иерархической ИИС эффективность системы в целом повышается за счет увеличения надежности функционирования: при выходе из строя высоких ступеней управление не нарушается, а осуществляется пунктами низших ступеней. Эту специфику ИИС как части АСУТП нельзя не учитывать.

Хотя с увеличением числа k ступеней ИИС эффективность системы увеличивается, общая надежность ИИС снижается из-за возрастания числа элементов и сложности аппаратуры. Для нахождения локального оптимума "структурной надежности" в качестве показателя оценки надежности иерархической ИИС выбираются потери эффективности системы от ненадежности [3]. В общем случае они

определяются как математическое ожидание разности эффективно - сти ИИС при полностью исправной аппаратуре $W^{(k)}$ и эффективностей системы $W_i, W_{ij}, \dots, W_{ij\dots l}, \dots, W_{1,2,\dots,m}$ во всевозможных состояниях неисправности $/P_i, P_{ij}, \dots, P_{ij\dots l}, \dots, P_{1,2,\dots,m}$ - вероятности неисправных состояний [2,3]:

$$\Delta W_p = \sum_{i=1}^m [W^{(k)} - W_i] P_i - \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^m [W^{(k)} - W_{ij}] P_{ij} - \dots - \sum_{\substack{i,j,\dots,l=1 \\ i < j < \dots < l}}^m [W^{(k)} - W_{ij\dots l}] P_{ij\dots l} - \dots - [W^{(k)} - W_{1,2,\dots,m}] P_{1,2,\dots,m} \quad /1/$$

Число слагаемых в выражении /1/ равно числу возможных состояний системы, которое определяется суммой $\sum_{m=0}^n C_n^m = 2^n$ [4],

и пользоваться непосредственно формулой /1/ затруднительно. Поэтому сделаем ряд допущений, существенно упрощающих математические выкладки:

1/ устройства ИИС, связанные между собой входными и выходными сигналами, считаем по надежности взаимонезависимыми;

2/ отказ аппаратуры j -й ступени представляет собой пуассоновский поток с параметром λ_j , а время восстановления распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_j ;

/для высоконадежных систем $\lambda_j \ll \mu_j$, и вероятностью выхода из строя одновременно двух и более функциональных узлов ИИС можно пренебречь/;

3/ характер отказов - полный.

При указанных допущениях

$$\Delta W_p = \sum_{i=1}^n [W^{(k)} - W_i] P_i, \quad /2/$$

где $n = N + n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_{k-1} + 1$.

Обозначим $W_j^{(k)}$ - эффективность k -ступенчатой системы, управляемой на j -м ранге; $\sigma^{(j)} = W_j^{(k)} - W_{j-1}^{(k)}$ - прирост эффективности, даваемый j -й ступенью ИИС, а соответст -

вующие вероятности отказа аппаратуры ступеней - $\rho_i^{(j)}$. Так как для иерархической ИИС при независимых и аддитивных объектах частичная эффективность ω_i - то ТО определяется примыкающей к нему последовательностью $\omega_i \rightarrow \sigma_i^{(1)} \rightarrow \sigma_i^{(2)} \rightarrow \sigma_i^{(j)} \rightarrow \dots \rightarrow \sigma_i^{(n)}$ /см. рис. 1/, где ω_i - эффективность ТО при функционировании только аппаратуры МА, а при отказе узла ИИС теряется вклад в общую эффективность от той части системы, которая связана по иерархии с этим отказавшим узлом [5], то

$$\begin{aligned} \Delta W_p = & \sum_{i=1}^N \left[\omega_i + \frac{\sigma_i^{(1)}}{N_i^{(1)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(j)}}{N_i^{(j)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(n)}}{N} \right] P_i + \\ & + \sum_{i=1}^{n_1+N} \left[\sigma_i^{(1)} + \frac{\sigma_i^{(2)}}{N_i^{(2)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(j)}}{N_i^{(j)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(n)}}{N} \right] P_i^{(1)} + \\ & + \sum_{i=1}^{n_2} \left[\sigma_i^{(2)} + \frac{\sigma_i^{(3)}}{N_i^{(3)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(j)}}{N_i^{(j)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(n)}}{N} \right] P_i^{(2)} + \\ & + \dots + \dots + \\ & + \sum_{i=1}^{n_k} \left[\sigma_i^{(k)} + \frac{\sigma_i^{(k+1)}}{N_i^{(k+1)}} + \dots + \frac{\sigma_i^{(n)}}{N} \right] P_i^{(k)} + \dots + \sigma_i^{(n)} P_i^{(n)} \end{aligned} \quad /3/$$

Хотя по сравнению с /1/ выражение для ΔW_p упростилось, формула /3/ требует дифференцирования вкладов каждого пункта обработки информации в эффективность связанных с ним технологических узлов. В то же время аппаратурное построение ИИС внутри каждой ступени, как правило, одинаково, а ТО идентичны. При таких условиях

$$\Delta W_p = W_0 P_i + \sum_{j=1}^k \sigma_i^{(j)} P_i^{(j)} + \sum_{j=2}^k \sigma_i^{(j)} P_i^{(j)} + \dots + \sum_{j=2}^k \sigma_i^{(j)} P_i^{(j)} + \dots + \sigma_i^{(n)} P_i^{(n)} \quad /4/$$

Анализ формулы /4/ должен показать, окупают ли приросты эффективности при увеличении числа ступеней управления возникающую при этом ненадежность, и в итоге определить оптимальную по критерию надежности структуру. Если же структура системы задана, то по закону распределения эффективности по ступеням можно определить требования к аппаратуре ИИС по надежности.

Первое слагаемое в формуле /4/, представляющее собой потери эффективности системы при отказе аппаратуры МА, в дальнейшем учитывать не будем, так как оно не влияет на число ступеней ИИС. Вероятности выхода из строя аппаратуры ступеней ИИС связаны соотношением

$$\rho^{(1)} = \alpha \rho^{(2)} = \alpha^2 \rho^{(3)} = \dots = \alpha^{k-1} \rho^{(k)},$$

причем сложность центрального пункта обработки информации зависит от числа используемых ступеней управления $\rho^{(k)} = \beta^{k-1} \rho_1^{(k)}$.

Общий прирост эффективности не зависит от κ :

$$\delta = \delta^{(1)} + \delta^{(2)} + \dots + \delta^{(j)} + \dots + \delta^{(k)} = const,$$

но функции управления, а следовательно, и соотношения между $\delta^{(j)}$, могут перераспределяться между ступенями. В каждом конкретном случае закон распределения приростов эффективности по ступеням управления определяется, исходя из анализа задач, подлежащих решению в системе. При равномерном распределении приростов эффективности по ступеням

$$\delta^{(1)} = \delta^{(2)} = \dots = \delta^{(j)} = \dots = \delta^{(k)} = \frac{\delta}{\kappa}.$$

и потери эффективности от ненадежности определяются выражением

$$\Delta W(\kappa) = \delta \rho_1^{(k)} \beta^{k-1} \frac{1}{\kappa} \sum_{i=1}^{\kappa} (i \alpha^{i-1}). \quad /5/$$

Если приросты эффективности распределены по ступеням неравномерно, например, $\delta^{(j)} = \delta^{(1)} - (j-1) \alpha$, где $\alpha = \delta \rho_1^{(1)}$ то

$$\Delta W(\kappa) = \frac{\delta \rho_1^{(k)} \beta^{k-1}}{\kappa + \delta \sum_{i=1}^{\kappa} (i-1)} \sum_{i=1}^{\kappa} \left\{ [(k+1-i) + \delta \sum_{l=1}^i (l-1)] \alpha^{i-1} \right\} \quad /6/$$

Оптимальное число κ_{opt} можно найти по зависимостям

$\frac{\Delta W(\kappa)}{\delta \rho_1^{(k)}}$, построенным на рис. 2; по формулам /5/ - сплошной и /6/ - пунктирной линиями для различных α при $\beta = 1$ и $\gamma = 0,5$. Включение автономных подсистем в централизованную ИИС / $\kappa_{opt} = 2$ / целесообразно при $\alpha < 0,5$, т.е. надежность аппаратуры автономных подсистем должна более чем вдвое превышать надежность аппаратуры центрального пункта, а при

$$\delta^{(j)} = \delta^{(1)} + \frac{\delta^{(1)}}{2} \quad \alpha < 0,4, \text{ т.е. при перенесении функций}$$

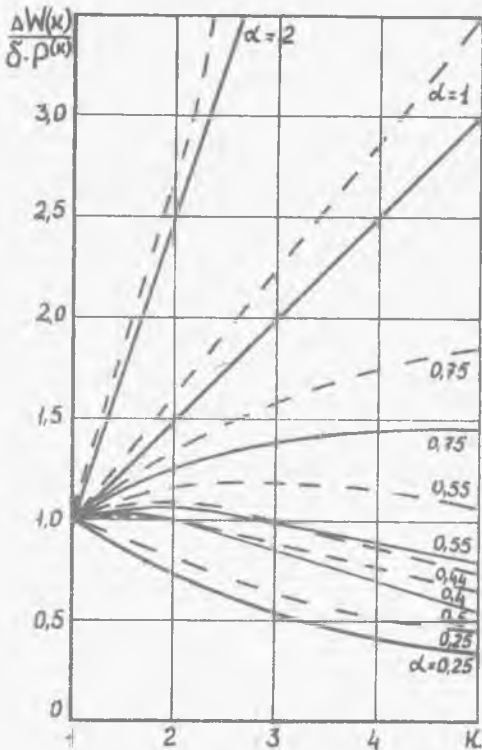


Рис. 2. Относительные потери эффективности ИИС при различном соотношении надежности аппаратуры ступеней

управления на высшие ступени необходимо соответственно повышать надежность аппаратуры промежуточных ступеней. Использование трехступенчатой ИИС целесообразно соответственно при $\alpha < 0,55$ и $\alpha < 0,44$. Критические значения можно найти решением неравенства $\frac{\Delta W(\kappa)}{\delta \rho_1(\kappa)} < 1$.

Так, для двухступенчатой ИИС при $\delta^{(1)} = \delta^{(2)}$
 $\alpha < \frac{1}{\beta} - 0,5$.

При анализе надежности сложных ИИС возникает проблема учета влияния отдельных функциональных блоков и устройств на надежность системы в целом, так как последствия отказов на различных уровнях неравноценны. Поэтому в качестве показателя для оценки надежности иерархической ИИС следует использовать функцию потерь

от ненадежности, зависящую как от технических характеристик элементов, так и от структурной и функциональной схем ИИС.

Оценка надежности ИИС функцией потерь эффективности от ненадежности сводится к "азвешиванию" отказов аппаратуры ступеней вкладами этой аппаратуры в общий прирост эффективности.

Это позволяет решить ряд разнообразных задач оптимизационного плана, например, определить оптимальное число ступеней системы при заданных надежностных характеристиках элементов ИИС и при выбранном законе распределения приростов эффективности или выбрать аппаратуру ИИС по надежности при заданной структуре системы.

Л и т е р а т у р а

1. Половко А.М. Основы теории надежности. М., "Наука", 1964.
2. Росин М.Ф. Статистическая динамика и теория эффективно - сти систем управления. М., "Машиностроение", 1970.
3. Шастова Г.А., Коекин А.И. Выбор и оптимизация структуры информационных систем. М., "Энергия", 1972.
4. Кузьмин Ф.И. Задачи и методы оптимизации показателей на - дежности. М., "Советское радио", 1972.
5. Пшеничников А.М. Определение потерь от отказов аппарату - ры в автоматических и телемеханических системах. Труды ЦНИИКА, вып. 2 /23/, 1969.

Л.Г.Никитин, В.Г.Никитин

ДАТЧИКИ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

В процессе стендовых испытаний двигателей летательных аппа - ратов необходимо осуществлять контроль уровня жидкости с доста - точно высокой степенью точности и с возможно меньшей инерцион - ностью. Реализация поставленной задачи сводится к расчету, из - готовлению, отработке и использованию конкретного датчика уров - ня в соответствующей схеме управления. В зависимости от условий работы находят применение различные датчики и реле, используя - щие физические свойства жидкости: омическое сопротивление, ди - электрическую проницаемость, теплопроводность, скорость распро - странения или затухания ультразвука, оптическую плотность, по - глощение жестких излучений и т.д.