

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ КАК КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Стадник Н.И., канд. техн. наук, «Донгипроуглемаш»

Описана возможность оптимизации функциональных структур систем управления на базе интегрального метода с использованием в качестве критерия интегральной избыточности.

It is described the possibility of functional structure optimization of control system on the basis of integral method using an integral redundancy as a criterion.

Множество однородных, технологически связанных объектов автоматизации одинакового функционального назначения состоит из подмножеств $N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$, характеризующихся различной степенью использования технических параметров составляющих их элементов, а, следовательно, различным объемом функциональных задач $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, предъявляемых к системам управления.

Соответствие между этими множествами (объекты систематизированы по принципу функционального равенства) образует новое множество

$$P \times N = \{ \langle P_i, N_i \rangle \mid P_i \in P, N_i \in N \}, \quad (1)$$

которое является исходным для выбора структуры комплекса технических средств автоматизации однородных объектов (КТС АОО) [1].

Синтез структуры КТС АОО показывает, что для любой совокупности однородных объектов существует три вида функциональных структур, обеспечивающих решение задач по управлению:

1. Жесткая структура (ЖС) характеризуется одним функциональным модулем (ФМ), покрывающим полный состав функциональных требований (ПСФ) объектов любой из групп.

2. Гибкая структура (ГС) на базе специализированных ФМ. При такой структуре каждой из групп обобщенного объекта автоматизации (ООА) соответствует специализированный ФМ, покрывающий ее ПСФ.

3. Гибкая структура (ГД) на основе базового и ряда дополнительных ФМ. Структура ГД включает базовый ФМ, реализующий требования, общие для объектов всех групп, и ряд дополнительных

модулей, покрывающих совместно с базовым ПСФ отдельных групп ООА.

Методы, позволяющие синтезировать и оптимизировать различные виды структур КТС ООА и учитывающие характеристики конкретных подмножеств, при сохранении единых принципов построения комплекса, для всего множества разработаны в существующей литературе либо в общих понятиях и категориях, которые затрудняют их конкретное применение, либо в понятиях и категориях некоторых конкретных АСУ, которые не позволяют распространить их на АСУ другого функционального назначения [2].

Для решения этой задачи предлагается интегральный метод оптимизации. Его сущность состоит в синтезе функциональной структуры КТС АОО и функциональных требований к ее составным частям (модулям), покрывающим в совокупности полный состав требований к автоматизации ООА на основе анализа интегрального состава требований всего ООА и отдельных групп конкретных объектов автоматизации. Анализ учитывает количественный состав как функциональных требований, так и объектов в равнофункциональных группах, входящих в состав ООА. В основу систематизации как объектов управления, так и модулей положен функциональный признак. Объекты управления распределяются на группы с одинаковым составом функциональных требований к каждому из них. Ниже приведены таблицы соответствия между множествами P и N для различных структур построения КТС АОО.

Таблица 1 - Таблица соответствия для структуры ГД

$P \setminus N$	N_1	N_2	...	N_m
P_1	$\langle P_1, N_1 \rangle$	$\langle P_1, N_2 \rangle$...	$\langle P_1, N_m \rangle$
P_2^d		$\langle P_2^d, N_2 \rangle$...	$\langle P_2^d, N_m \rangle$
...				
P_m^d				$\langle P_m^d, N_m \rangle$

Таблица 2 - Таблица соответствия для структуры ГС

$P \setminus N$	N_1	N_2	...	N_m
P_1	$\langle P_1, N_1 \rangle$			
P_2		$\langle P_2, N_2 \rangle$		
...			...	
P_m				$\langle P_m, N_m \rangle$

Для структуры ЖС: $P \times N = \langle P_m, N_m \rangle$

Если учесть, что в подмножествах N_1, N_2, \dots, N_m элементы есть ряды натуральных чисел:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \{1, \dots, n_1\} \\
 N_2 &= \{n_1+1, \dots, n_2\} \\
 &\dots \\
 N_m &= \{n_{m-1}+1, \dots, n_m\}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(m - число групп объектов с одинаковыми требованиями), то график соответствия можно представить как скачкообразную функцию зависимости выполняемых требований T (функциональных операторов) от числа объектов n :

$$T = \begin{cases} T_1, \text{ при } 1 \leq n \leq n_1 \\ T_2, \text{ при } n_1 + 1 \leq n \leq n_2 \\ \dots \\ T_m, \text{ при } n_{m-1} + 1 \leq n \leq n_m \end{cases}
 \tag{3}$$

Структура КТС, описываемая этим уравнением, называется исходной структурой.

Выражение $T_i \cdot n_i$ будем называть интегральным составом.

Для структуры ГД:

$$T = T_1 \cdot n_m + \sum_2^m T_i^d (n_m - n_{i-1})
 \tag{4}$$

для структуры ГС:

$$T = \sum_1^m T_i (n_i - n_{i-1})
 \tag{5}$$

для структуры ЖС:

$$T = T_m \cdot n_m
 \tag{6}$$

Оптимальной структурой КТС АОО является структура, обеспечивающая покрытие интегрального состава требований ООА при наименьших полных затратах $S_{\text{кТС}}$ на автоматизацию, включающих в себя функционально-интегральную стоимость (ФИС) $S_{\text{ф}}$ и затраты на обслуживание ФИС- S_0 . Для поиска оптимального состава структуры КТС АОО воспользуемся значением его приведенной стоимости $S_{\text{кТС}}$ с учетом возможности получения структур с различным количеством модулей за счет их объединения. Последнее в процессе разработки любой структуры приводит, с одной стороны, к уменьшению предполагаемых затрат на разработку и обслуживание модулей, а с другой - к появлению функциональной избыточности и связанными с нею затратами.

Применение интегрального метода дает возможность в качестве критерия оптимизации выбрать интегральную избыточность, приняв допущение об одинаковой стоимости реализации функций модулей при равном объеме их выпуска. Функциональная интегральная избы-

точность представляет собой разность между количеством функциональных операторов, реализуемых выбранным модулем, и тех, которые предъявляются со стороны объектов этих групп.

Для исходных структур ГД и ГС избыточность будет равна нулю, однако при этом будет максимальным количество функциональных модулей, а значит, будут максимальными и затраты на их разработку, проведение всех видов испытаний и подготовку серийного производства. Построение комплекса по жесткой структуре обеспечивает минимальное количество функциональных модулей, а значит минимальные затраты на разработку, испытания и т.п., однако имеет место максимальная избыточность:

$$I_{\text{жс}} = T_m \cdot n_m - \sum_1^m T_i (n_i - n_{i-1}) \quad (7)$$

На рис. 1 показана функционально-интегральная стоимость КТС АОО, построенного по принципу ГД.

ФИС такой структуры: $S_{\text{ф(гд)}} = \sum_1^m S_{\text{ф(гд) } i}$, (8)

где $S_{\text{ф(гд) } i}$ - ФИС для i -той группы объектов.

Объединение модулей следует производить, используя условия целесообразности объединения.

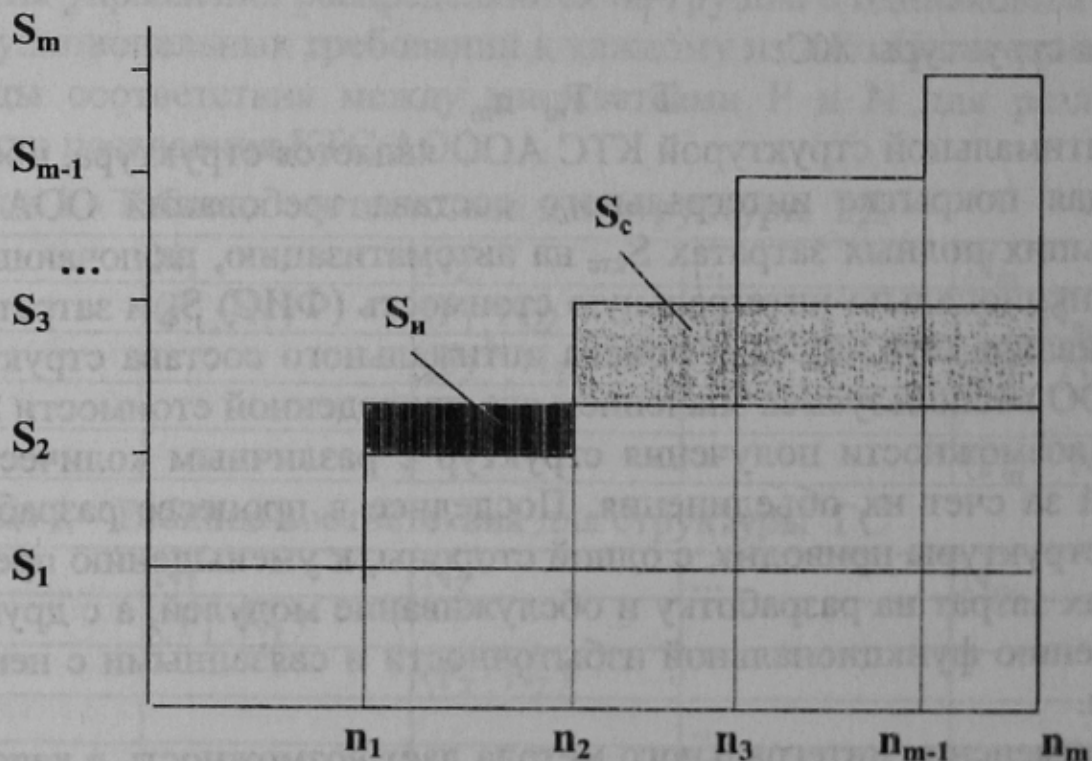


Рисунок 1 – Функционально-интегральная стоимость КТС АОО

Условием объединения соседних модулей является придание им одинакового функционального состава, т.е. объединение предполагает рассмотрение их как пересекающихся множеств.

Из анализа выражений для ФИС исходной структуры $S_{\phi}^{\text{и}}(\text{гд})$ и после объединения $S_{\phi}^{\text{о}}(\text{гд})$ следует, что после объединения на участке $(n_2 - n_1)$ появляются затраты на функциональную избыточность $S_{\text{и}}$, а на участке $(n_m - n_2)$ будет уменьшение ФИС $S_{\text{с}}$ за счет уменьшения C_{ϕ} .

C_{ϕ} - стоимость реализации одной функции; имеет обратно-пропорциональную зависимость от объемов выпуска модулей μ : $C_{\phi} = f(\mu)$ может быть либо дробно-линейной функцией, либо степенной с отрицательным рациональным показателем степени:

$$C_{\phi} = A \cdot \mu^{-k}, \quad (9)$$

где k - положительное число; A - коэффициент, определяемый уровнем технологии изготовления модулей.

Объединение модулей целесообразно при условии:

$$S_{\phi}^{\text{о}}(\text{гд}) \leq S_{\phi}^{\text{и}}(\text{гд}) \quad (10)$$

т.е. в том случае, если затраты на избыточность окажутся меньше сокращения ФИС: $S_{\text{и}} \leq S_{\text{с}}$.

Условие объединения модулей по фактору ФИС:

$$(n_m - n_1 / n_m - n_2) \leq (n_m - n_1 / n_m - n_2)^k \quad (11)$$

Условие целесообразности объединения модулей по полным затратам:

$$B(n_m - n_i) \geq A \cdot T_{i+1}^{\text{д}} \cdot [(n_m - n_{i-1})^{1-k} - (n_m - n_i)^{1-k}], \quad (12)$$

где B - коэффициент, входящий в формулу затрат на обслуживание ФИС; k - показатель степени в функции стоимости реализации одного функционального оператора.

Итак, выражение (12) является критерием объединения двух модулей: объединение целесообразно, если затраты на обслуживание сокращаемых модулей больше затрат на интегральную избыточность, полученную в результате объединения.

Список источников.

1. Стадник Н.И. Комплекс технических средств автоматизации шахтного конвейерного транспорта (КТС АШК) // Уголь Украины. - 1997. - №7. - С.29-32.
2. Г. Реклейтис, А. Рейвиндран и др. Оптимизация в технике. М.: Мир, 1986. - 349с.