

## ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Оптимізація функціональної структури системи автоматизації передбачає вибір виду структури (гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових модулів; гнучка зі спеціалізованими модулями; жорстка) і принцип її побудови з урахуванням конкретної структури об'єктів управління на основі аналізу і встановлення відповідності між функціональними вимогами та об'єктами. Оптимізація кожної із структур виконується за рахунок об'єднання сусідніх модулів, що реалізують функціональні вимоги сусідніх груп об'єктів при умові що функціонально-інтегральна вартість об'єднаної структури менше функціонально-інтегральної вартості вихідної структури. Після вибору оптимального варіанта кожної зі структур визначається оптимальна методом порівняння їх функціонально-інтегральної вартості. Сукупність оптимальних структур функціональних модулів відповідних ієрархічних рівнів і являє собою структуру технічних засобів автоматизації, які реалізують повний склад функціональних вимог множин об'єктів управління.*

*Ключові слова: структури ГС, ГД, ЖС, критерій оптимізації, проектування, вибір оптимальної структури.*

M. STADNIK

Vinnytsia National Agrarian University

## OPTIMIZATION OF FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE AUTOMATION SYSTEM OF HOMOGENEOUS OBJECTS

*Optimization of functional structure of the automation system involves the choice of the type of structure (flexible base module and a number of additional me-dull; flexible with specialized modules; hard) and the principle of its construction with the specific structure of control objects on the basis of the analysis and the correspondence between functional requirements and objects. Optimization of each of the structures is performed by combining adjacent modules that implement functional requirements of adjacent groups of objects, provided that the function integrated value of the combined structure is less functional-integral value of the original structure. After choosing the best option each structure is determined to be the optimal method of comparison of functionalism-flax-integral value. The set of optimum structures of functional modules corresponding to the hierarchical levels and is a technical structure for different automation tools that implement the full composition of the functional requirements of a set of control objects.*

*Keywords: patterns HS, DG, GS, criterion of optimization, design, selection of optimal structure.*

### Вступ

Аналіз показує, що для будь-якої сукупності однорідних об'єктів існує три види функціональних структур, які забезпечують вирішення задачі автоматизації [1].

1. Жорстка структура (ЖС), яка характеризується одним функціональним модулем на кожному ієрархічному рівні системи управління, який забезпечує покриття повного складу функціональних вимог (ПСФ) з боку об'єктів будь-якої з груп.

2. Гнучка структура на базі спеціалізованих функціональних модулів (ГС). При такій структурі кожній з груп узагальненого об'єкта автоматизації (ООА) ієрархічних рівнів відповідає спеціалізований функціональний модуль, що покриває тільки ПСФ відповідної групи ООА.

3. Гнучка структура на основі базового та ряду додаткових функціональних модулів (ГД). Структура ГД включає базовий функціональний модуль, що реалізує вимоги, загальні для всіх об'єктів груп даного ієрархічного рівня і ряд додаткових модулів, що покривають разом з базовим ПСФ окремих груп ООА.

Проектування оптимальної структури системи автоматизації (ССА) передбачає знаходження раціонального принципу побудови структури: використання керуючих комплексів з жорсткою централізованою структурою або розробка гнучкої структури комплексу автоматизації, який шляхом додавання або виключення підсистем можна було б використовувати як у зведеному, так і в спрощеному варіанті для конкретного складу об'єктів автоматизації.

### Матеріал і результати дослідження.

Для пошуку оптимального складу структури ССА проаналізуємо значення його приведеної вартості  $S_{кмс}$  (як критерію ефективності вибору) для зазначених способів побудови структури (ГД, ГС та ЖС) з урахуванням можливості отримання структур з різною кількістю модулів за рахунок їх об'єднання. Останнє в процесі розробки будь-якої структури призводить, з одного боку, до зменшення ймовірних витрат на розробку і обслуговування модулів, а з іншого – до появи функціональної надлишковості та пов'язаними з нею витратами. Об'єднання модулів слід виконувати, з використанням умови доцільності об'єднання.

1. Розглянемо можливість оптимізації структури ГД за рахунок об'єднання сусідніх модулів, що реалізують додаткові функціональні вимоги.

Функціонально-інтегральна вартість (ФІС) такої структури (рис. 1):

$$S_{\phi(z\delta)} = \sum_1^m S_{\phi i} = A \left[ T_1 \cdot n_m^{1-k} + \sum_2^m T_i^\delta (n_m - n_{i-1})^{1-k} \right] \quad (1)$$

де  $T$  – кількість функціональних вимог, що пред'являються з боку об'єктів  $n$ ;  $m$  – кількість груп об'єктів у ООА.

Вихідна структура характеризується тим, що підмножини модулів  $\mu$  різного функціонального призначення, з яких вона складається, не перетинаються; безліч всіх модулів, що покривають повний обсяг, можна представити:

$$\mu_{0(z\delta)} = \mu_1 \Gamma \mu_2^\delta U \dots U \mu_m^\delta \quad (2)$$

Формула для визначення загальної кількості модулів:

$$\mu_{0(z\delta)} = (m - p)n_m - \sum_1^{m-1} n_i \quad (3)$$

де  $p$  – кількість пар модулів що об'єднуються, у вихідній структурі  $p=0$ .

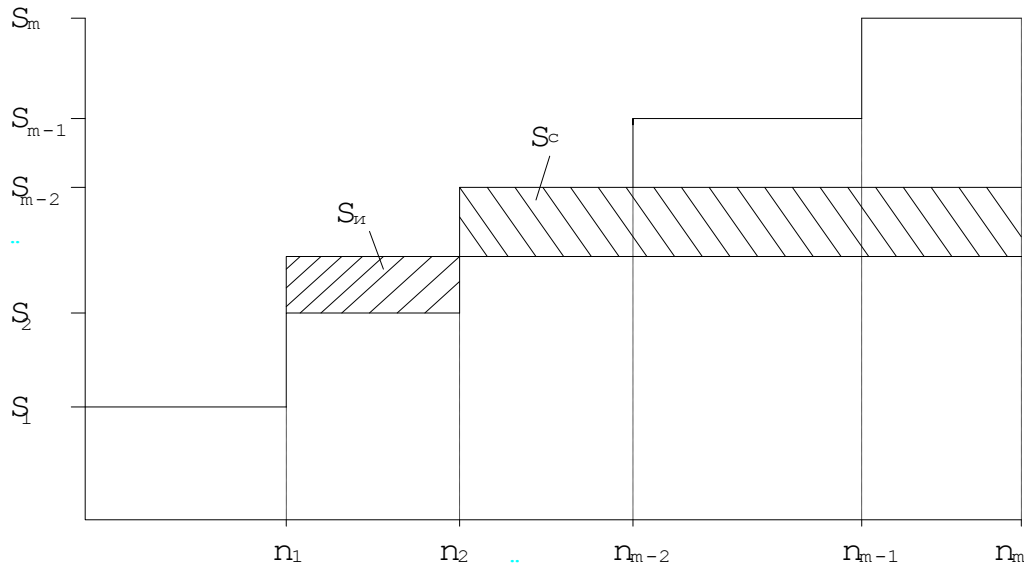


Рис. 1. Функціонально-інтегральна вартість КТЗ АОО

Умовою об'єднання сусідніх модулів є надання їм однакового функціонального складу, тобто об'єднання передбачає розгляд їх як пересічних множин. Після об'єднання:

$$\mu_2^\delta U \mu_3^\delta = \mu_2^\delta \quad (4)$$

Тобто об'єднана структура має зменшену кількість функціональних модулів у порівнянні з вихідною, в даному випадку на величину  $\mu_3^\delta$ . Запишемо вирази для ФІС вихідної структури  $S_{\phi^u(z\delta)}$

$S_{\phi^o(z\delta)}$  Тобто об'єднана структура має зменшену кількість функціональних модулів у порівнянні з вихідною, в даному випадку на величину  $S_{\phi^o(z\delta)}$  для модулів  $(\mu_2^\delta U \mu_3^\delta)$ :

$$S_{\phi^u(z\delta)} = T_2^\delta \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + T_3^\delta \cdot A(n_m - n_2)^{1-k} \quad (5)$$

$$S_{\phi^o(z\delta)} = (T_2^\delta + T_3^\delta) \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} \quad (6)$$

З виразу випливає, що після об'єднання на ділянці  $(n_2 - n_1)$  (див. рис. 1) з'являються витрати на функціональну надмірність  $S_u$ , а на ділянці  $(n_m - n_2)$  буде зменшення ФІС  $S_c$  за рахунок скорочення  $S_\phi$ .

Об'єднання модулів доцільно за умови:

$$S_{\phi^o(z\delta)} \leq S_{\phi^u(z\delta)} \quad (7)$$

тобто в тому разі, якщо витрати на надмірність виявляться менше скорочення ФІС:  $S_u \leq S_c$ .

Умова об'єднання модулів по фактору ФІС:

$$\left(\frac{n_m - n_1}{n_m - n_2}\right) \leq \left(\frac{n_m - n_1}{n_m - n_2}\right)^k \quad (8)$$

При  $k \geq 1$  ця нерівність справедлива в області всіх допустимих значень змінної  $n$ , а при  $0 < k < 1$  вона не має рішень, тобто в першому випадку об'єднання 2-х модулів доцільно по фактору ФІС, а в другому – ні. Розмірковуючи таким же чином, можна отримати вирази для умов об'єднання 3-х і більше додаткових модулів, оскільки модулі об'єднані в свою чергу можуть також покроково об'єднуватися з сусідніми.

Отже, для гнучкої структури на основі базової та додаткових модулів: при  $k \geq 1$  об'єднання модулів доцільно, оскільки воно призводить до зменшення ФІС (по відношенню до вихідної структури) і зменшення витрат на обслуговування ФІС (незалежно від показника степеня  $k$ , оскільки зменшується кількість модулів, що перебувають в експлуатації); при  $0 < k < 1$  витрати на ФІС збільшуються і питання про доцільність об'єднання має вирішуватися у взаємозв'язку  $S_\phi$  і  $S_o$ , тобто повинні розглядатися повні витрати  $S_{кмс}$ .

Для об'єднання двох модулів  $(\mu_2^o U \mu_3^o)$

Для вихідної структури:

$$S_{кмс}^u = T_2^o \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + T_3^o \cdot A(n_m - n_2)^{1-k} + B(n_m - n_1) + B(n_m - n_2) \quad (9)$$

Для об'єднаної структури:

$$S_{кмс}^o = (T_2^o + T_3^o) \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + B(n_m - n_1) \quad (10)$$

Об'єднання модулів доцільно при:

$$S_{кмс}^u \geq S_{кмс}^o \quad (11)$$

В результаті перетворень отримаємо:

$$B(n_m - n_2) \geq A \cdot T_3^o \cdot [(n_m - n_1)^{1-k} - (n_m - n_2)^{1-k}] \quad (12)$$

Останній вираз є критерієм об'єднання двох модулів за повними витратами: об'єднання доцільно, якщо витрати на обслуговування скорочуваних модулів більше витрат на інтегральну надмірність, отриману в результаті об'єднання.

Умови об'єднання додаткових модулів:

- 1) розгляду підлягають усі комбінації по 2, 3, ...,  $m$  сусідніх додаткових модулів;
- 2) вартість реалізації однієї функції  $C_\phi$  об'єднаного модуля визначається, виходячи з найбільшого числа об'єктів серед груп, що об'єднуються;
- 3) склад вимог об'єднаного модуля дорівнює сумі додаткових вимог об'єднуються модулів.

ССА, як будь-яка складна система, може бути вичерпно охарактеризована тільки повним набором всіх своїх параметрів. Однак при рішенні задачі оптимізації необхідна оцінка системи однією величиною – цільовою функцією, яка повинна кількісно характеризувати, наскільки ефективна система, і бути функцією її параметрів [2].

$$S_{кмс(\min)} = f\{T, n, m, d\} \quad (13)$$

де  $T, n, m$  – змінні, які визначаються на стадії функціонального аналізу;  $d$  – кількість функціональних модулів - змінна, яку слід знайти, користуючись критерієм об'єднання модулів; у разі попарного об'єднання  $d = m - p$ .

Алгоритм пошуку оптимальної кількості модулів полягає в почерговому об'єднання по 2, 3, ...,  $m$  сусідніх модулів і перебору всіх можливих варіантів об'єднань з метою виявлення доцільних (згідно з критерієм), тобто таких, при яких нова структура забезпечує скорочення витрат по відношенню до вихідної.

Розглянемо умови об'єднання модулів у структурі на базі спеціалізованих модулів (ГС), що складається з 2-х модулів  $(\mu_1 U \mu_2)$ . Для вихідної структури:

$$\mu_{o(зс)} = \mu_1 U \mu_2 U \dots U \mu_m \quad (14)$$

$$S_{\phi(зс)} = \sum_1^m A \cdot T_i (n_1 - n_{i-1})^{1-k} \quad (15)$$

Для 2-х модулів:

$$S_{\phi(зс)}^u = T_1 \cdot A \cdot n_1^{1-k} + T_2 \cdot A(n_2 - n_1)^{1-k} \quad (16)$$

Повні витрати:

$$S_{кмс}^u = S_{\phi(зс)}^u + B \cdot n_2 \quad (17)$$

Після об'єднання:

$$S_{\phi(зс)}^o = T_2 \cdot A \cdot n_2^{1-k} \quad (18)$$

$$S_{кмс}^o = S_{\phi(zc)}^o + B \cdot n_2 \quad (19)$$

Умова доцільності об'єднання за повними витратами збігається з умовою об'єднання по фактору ФІС (кількість функціональних модулів при об'єднанні не змінюється, а значить, не змінюються витрати  $S_o$ ). Після перетворень отримуємо, що при  $0 < k < 1$  умови об'єднання модулів по фактору ФІС, а значить, і за повними витратами, не виконуються в області допустимих значень  $n$ , тобто об'єднання модулів в ГС-структурі взагалі недоцільно; а при  $k \geq 1$  – доцільно і пошуки оптимальної структури приведуть до жорсткої структури.

З порівняння розглянутих гнучких структур випливає, що ФІС ГД-структури при будь-яких значеннях змінної  $n$  більше, ніж ФІС структури, побудованої на базовому і додаткових модулях, тобто за цим показником структура ГД краще структури ГС:  $S_{\phi(zc)} > S_{\phi(zd)}$ . Для остаточного рішення порівняємо повні витрати.

$$S_{кмс(zd)} = S_{\phi(zd)} + B(m \cdot n_m - \sum_1^{m-1} n_i) \quad (20)$$

$$S_{кмс(zc)} = S_{\phi(zc)} + B \cdot n_m \quad (21)$$

Тобто при будь-яких допустимих  $n$ :  $n_m < (m \cdot n_m - \sum_1^{m-1} n_i)$ , то завжди справедливо умова

$S_{o(zc)} < S_{o(zd)}$ , тобто витрати на експлуатацію у варіанті спеціалізованих модулів будуть менше, що визначається, як було показано вище, кількістю модулів, що знаходяться в експлуатації.

Розглянемо жорстку структуру. Порівняємо структури Ж і ГС.

$$S_{\phi(ж)} = A(T_1 + T_2^o + \dots + T_m^o) n_m^{1-k} \quad (22)$$

В результаті перетворень при порівнянні виразів  $S_{\phi(zc)}$  і  $S_{\phi(ж)}$  отримуємо, що при  $k \geq 1$  ФІС структури ГС завжди більше ФІС жорсткої структури. При  $0 < k < 1$  необхідно виконати аналіз повних витрат  $S_{кмс}$  для автоматизації конкретного ООА; однак, враховуючи, що ці структури містять однакову кількість модулів, доцільно застосовувати в такому випадку жорстку структуру.

Аналіз виразів  $S_{\phi(zd)}$  і  $S_{\phi(ж)}$  показує, що при  $0 < k < 1$  нерівність  $S_{\phi(zd)} > S_{\phi(ж)}$  не має рішень, а при  $k \geq 1$  воно справедливо завжди, тобто Ж-структура переважніше структури ГД, тим більше, що Ж-структура містить менше модулів в експлуатації.

Необхідно зазначити, що умова об'єднання структури Ж ( $k \geq 1$ ) співпадає з умовою об'єднання додаткових модулів у структурі ГД, що цілком логічно.

### Висновки

1. Синтез оптимальної функціональної структури ССА передбачає вибір виду структури (гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових модулів; гнучка зі спеціалізованими модулями; жорстка) і принцип її побудови з урахуванням конкретної структури об'єктів управління на основі аналізу і встановлення відповідності між функціональними вимогами та об'єктами. Кожна з описаних вище функціональних структур може бути покладена в основу побудови ССА.

2. Якщо оптимальною структурою є гнучка, то необхідний вибір базового модуля і оптимальної кількості додаткових модулів з урахуванням функціональної орієнтації модулів і види ієрархічних взаємозв'язків між ними, а також того, що, з одного боку, структура повинна характеризуватися мінімальною надмірністю, з іншого - вона повинна бути універсальною, тобто модулі, що становлять функціональну структуру, повинні застосовуватися в максимально можливому числі груп.

3. Оптимізації підлягають функціональні модулі всіх ієрархічних рівнів. Сукупність оптимальних структур функціональних модулів відповідних ієрархічних рівнів і являє собою структуру технічних засобів автоматизації, які реалізують повний склад функціональних вимог безлічі об'єктів управління.

### Література

1. Стадник М.І. Функціональні структури систем автоматизації однорідних об'єктів / М.І. Стадник // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 2. – С. 84–89.
2. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Реклейтис Г., Рейвиндран А. – М. : Мир, 1986.
3. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / [Бейко И.В. и др.]. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.
4. Стадник Н.И. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. – К. : Техника, 1992. – 437 с.