

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СТРУКТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Автоматизація технологічних процесів агропромислового комплексу традиційно здійснюється за допомогою систем, створених на основі єдиних вихідних вимог, які характеризують окремі об'єкти управління, а не їх множини, які мають різний склад функціональних вимог, що часто створює функціональну надмірність. Для розв'язання задачі запропоновано інтегральний метод, ідея якого полягає в тому, що множини однорідних об'єктів керування, ранжуються на підмножини з рівним складом вимог до об'єктів всередині підмножин. Кожна підмножина характеризується інтегральним складом вимог, який враховує кількісний склад об'єктів, що входять до підмножин та функціональні вимоги до них. Інтегральний склад множин ООУ дорівнює сумі інтегральних складів окремих підмножин. Декомпозиція повного складу вимог ООУ дає три види функціональної структури системи:

- 1) гнучка (ГСД) на основі базового модуля (БМ) і ряду додаткових (ДМ, ДМ2, ДМ3);
- 2) гнучка (ГСС) на базі спеціалізованих модулів (СМ1, СМ2, СМ3, СМ4);
- 3) жорстка (ЖС) на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічному рівні (ЖС).

Ключові слова: синтез, функціональні структури, множини, однорідні об'єкти, оптимізація, автоматизація.

M. STADNIK

Vinnitsia National Agrarian University

THE FUNCTIONAL STRUCTURE OF AUTOMATION SYSTEMS OF HOMOGENEOUS OBJECTS

Automation of technological processes of agriculture is traditionally carried out using the systems created on the basis of a single source of requirements that characterize office setting parameters control objects, and not a lot of them that have a different composition of functional requirements that often creates functional redundancy. To solve the problem, the integral method, the idea of which is that of many homogeneous objects of control, are ranked into subsets with equal requirements to the objects within the subsets. Each subset is characterized by the integral requirements, which takes into account the quantitative composition of the objects included in subsets and functional requirements. Integral part of many TOC is equal to the sum of the integral formulations of the individual subsets. Decomposition of the whole requirements TOC gives three types of the functional structure of the system:

- 1) flexible (GDM) based on the basic module (BM) and a number of additional (DM, DM2, DM3);
- 2) flexible (GSS) on the basis of specialized modules (CM1, CM2, CM3, CM4);
- 3) hard (HC) based on a single functional module at the hierarchical level (LGL);

Keywords: synthesis, functional structure, multiple homogeneous objects, optimization, automation.

Автоматизація технологічних процесів агропромислового комплексу традиційно здійснюється за допомогою систем управління, створених на основі єдиних вихідних вимог. Такі вимоги не враховують того факту, що ми маємо справу не з одиничними об'єктами управління, а з їх множинами які характеризуються, як правило, різним складом функціональних завдань щодо їх автоматизації. Тому системи автоматизації часто характеризуються значною функціональною надлишковістю, що знижує їх ефективність.

Таке становище потребує розробки нових методів проектування, які дозволять створювати системи управління, що характеризуються достатньою універсальністю і спеціалізацією і забезпечують покриття повного складу функціональних вимог множин однорідних об'єктів з мінімальною надмірністю, що дасть можливість значно знизити витрати як на розробку, так і експлуатаційні витрати.

Матеріал і результати дослідження. Для розв'язання задачі запропоновано інтегральний метод, який зазначені вище об'єкти управління розглядає не як одиничні, а як множини однорідних за призначенням об'єктів управління (ООУ), що характеризуються змінним складом функціональних вимог. Ідея методу полягає в тому, що множини однорідних об'єктів керування, які характеризуються різним складом функціональних вимог, ранжуються на підмножини з рівним складом вимог до конкретних об'єктів в середині підмножин. Кожна підмножина характеризується інтегральним складом вимог, що враховує кількісний склад об'єктів, які входять до складу підмножин і функціональних вимог до них. Інтегральний склад множини ООУ дорівнює сумі інтегральних складів окремих підмножин. Це дає можливість синтезувати вихідну узагальнену функціональну структуру системи автоматизації і на цій основі виконати її оптимізацію з урахуванням характеристик заданої множини ООУ і розробити конструктивні модулі, що становлять технічну реалізацію оптимальної функціональної структури системи, що дозволяє будувати АСУ ТП різного ступеня складності.

Розглянемо дві множини - множину однорідних об'єктів керування ($N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$) і відповідну їй множину вимог ($T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$) з боку цих об'єктів до АСУ. Виконаємо декомпозицію множини ООУ за функціональною ознакою на підмножини (N_i), умовою якої є те, що в кожній з підмножин функціональний склад вимог (T_i) для всіх ООУ є однаковим. Вимоги T_i визначені натуральними числами, тому T_1, T_2, \dots, T_m порівнянні за кількістю. Отримані в результаті декомпозиції підмножини ООУ розташуємо за принципом збільшення складу функціональних вимог до їх автоматизації:

$T_1 < T_2 < \dots < T_m$.

Відповідність підмножин N_i і T_i є декартів добуток:

$$N_i \cdot T_i = \{ \langle n, T_i \rangle \mid n \in N_i \}$$

Графічне зображення декартового добутку, є графік відповідності (рис. 1).

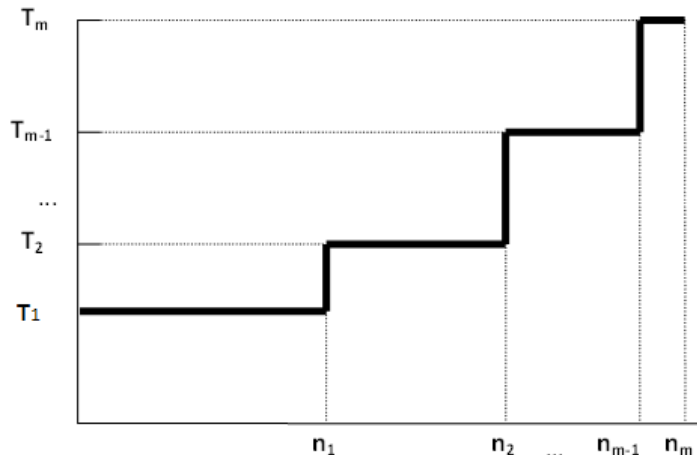


Рис. 1. Графік відповідності множин T_i і N

Нехай $N_1 = n_1, N_2 = n_2 - n_1, \dots, N_m = n_m - n_{m-1}$, тоді графік відповідності можна уявити стрибкоподібною функцією:

$$\dot{O} = \begin{cases} \dot{O}_1, & \text{і } \delta \in [1, n_1] \\ \dot{O}_2, & \text{і } \delta \in [n_1, n_2] \\ \dots \\ \dot{O}_m, & \text{і } \delta \in [n_{m-1}, n_m] \end{cases} \quad (1)$$

Стрибок функції $T=f(n)$ в точці n_i є абсолютне значення різниці односторонніх меж T_i і T_{i-1} :
 $(T_2 - T_1), (T_3 - T_2), \dots, (T_m - T_{i-1})$

$$\dot{O} = \{ t_{\delta}, t_{\epsilon}, t_a, t_b, t_c, \dots \}, \quad (2)$$

де $t_{\nu}, t_{\kappa}, t_{\phi}, t_{\sigma}, t_{\mu}$ – підмножини вимог, згруповані за орієнтації: відповідно вимоги щодо управління, контролю, блокуваннях, сигналізації, інформації:

$$\begin{aligned} t_{\delta}^1 &= \{ \tau_{\delta 1}, \dots, \tau_{\delta f} \}, \\ t_{\epsilon}^1 &= \{ \tau_{\epsilon 1}, \dots, \tau_{\epsilon g} \}, \\ t_a^1 &= \{ \tau_{a 1}, \dots, \tau_{a b} \}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\tau_{\delta 1}$ – одиничний функціональний оператор.

Функціональні оператори, складові множин вимог до автоматизації, можна розділити на два види:

- характеризуються різними чисельними розмірними або безрозмірними фізичними величинами;
- характеризуються наявністю або відсутністю необхідності реалізації того чи іншого функціонального оператора на конкретному об'єкті.

Для функціональних операторів першого і другого виду будемо вважати, що, якщо τ -е вимога з боку об'єкта пред'являється, то оператор $\tau_i=1$, а якщо не пред'являється, то $\tau_i=0$.

Сума зазначених одиничних операторів по кожному з підмножин являє собою повний склад функціональних вимог (ПСФ) до автоматизації однорідних об'єктів - функціональний вектор.

Формувати ПСФ доцільно в табличній формі (приклад наведено у таблиці 1).

Матриця генерального функціонального вектора для всієї множини ООУ (j – число рівнів ієрархії об'єктів автоматизації):

$$T = \begin{pmatrix} \tau_{\delta 1}^1 \dots \tau_{\delta \alpha}^1 & \tau_{\delta 1}^2 \dots \tau_{\delta \alpha}^2 & \dots & \tau_{\delta 1}^j \dots \tau_{\delta \alpha}^j \\ \tau_{\epsilon 1}^1 \dots \tau_{\epsilon \gamma}^1 & \tau_{\epsilon 1}^2 \dots \tau_{\epsilon \gamma}^2 & \dots & \tau_{\epsilon 1}^j \dots \tau_{\epsilon \gamma}^j \\ \tau_{a 1}^1 \dots \tau_{a \alpha}^1 & \tau_{a 1}^2 \dots \tau_{a \alpha}^2 & \dots & \tau_{a 1}^j \dots \tau_{a \alpha}^j \\ \tau_{b 1}^1 \dots \tau_{b \beta}^1 & \tau_{b 1}^2 \dots \tau_{b \beta}^2 & \dots & \tau_{b 1}^j \dots \tau_{b \beta}^j \\ \tau_{c 1}^1 \dots \tau_{c \eta}^1 & \tau_{c 1}^2 \dots \tau_{c \eta}^2 & \dots & \tau_{c 1}^j \dots \tau_{c \eta}^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} R | N | \quad (4)$$

Таблиця 1

Множина функціональних вимог (операторів)	Реалізація функціональних операторів з підмножини			
	N_1	N_2	...	N_m
- з управління:				
1. τ_{y1}	1	1		1
...	1	1		1
τ_{yf}	1	1		1
2. $\tau_{y(f+1)}$	0	1		1
...	0	1		1
τ_{ys}	0	1		1
m. $\tau_{y(b+1)}$	0	0		1
...	0	0		1
τ_{yz}	0	0		1
- з контролю:				
1. τ_{k1}	1	1		1
...	1	1		1
τ_{kg}	1	1		1
2. $\tau_{k(g+1)}$	0	1		1
...	0	1		1
τ_{kq}	0	1		1
m. $\tau_{k(d+1)}$	0	0		1
...	0	0		1
τ_{kv}	0	0		1
і т. д. по всіх функціональних вимогам. повний склад функціональних вимог - сума одиничних операторів по кожній з підмножин	T_1	T_2		T_m

Повний вектор функціональних вимог для множини об'єктів першого ієрархічного рівня:

$$T^1 = \begin{pmatrix} \tau_{\acute{o}1}^1 \dots \tau_{yf}^1 & \tau_{\acute{o}(f+1)}^1 \dots \tau_{ys}^1 & \dots & \tau_{\acute{o}(e+1)}^1 \dots \tau_{yz}^1 \\ \tau_{\acute{e}1}^1 \dots \tau_{\acute{e}g}^1 & \tau_{\acute{e}(g+1)}^1 \dots \tau_{\acute{e}q}^1 & \dots & \tau_{\acute{e}(d+1)}^1 \dots \tau_{\acute{e}y}^1 \\ \tau_{\acute{a}1}^1 \dots \tau_{\acute{a}h}^1 & \tau_{\acute{a}(h+1)}^1 \dots \tau_{\acute{a}r}^1 & \dots & \tau_{\acute{a}(c+1)}^1 \dots \tau_{\acute{a}l}^1 \\ \tau_{\acute{n}1}^1 \dots \tau_{\acute{n}j}^1 & \tau_{\acute{n}(j+1)}^1 \dots \tau_{\acute{n}v}^1 & \dots & \tau_{\acute{n}(a+1)}^1 \dots \tau_{\acute{n}l}^1 \\ \tau_{\acute{e}1}^1 \dots \tau_{\acute{e}b}^1 & \tau_{\acute{e}(b+1)}^1 \dots \tau_{\acute{e}v}^1 & \dots & \tau_{\acute{e}(p+1)}^1 \dots \tau_{\acute{e}n}^1 \\ \dots & & & \end{pmatrix} R \mid N^1 \mid \quad (5)$$

Матриця (5) дає можливість отримати матрицю окремих функціональних векторів, використовуваних для формування функціональних модулів, тобто складу реалізованих ними вимог.

Аналіз функціональних вимог показує, що цілий ряд їх є загальними (спільними) для всієї множини і можуть служити основою для побудови базових функціональних модулів. У той же час ряд функціональних вимог характерні лише для окремих підмножин, тобто є спеціальними і можуть служити основою для побудови спеціалізованих функціональних модулів (6).

$$M_1^1 = \begin{pmatrix} \tau_{\acute{o}1}^1 \\ \tau_{\acute{e}1}^1 \\ \tau_{\acute{a}1}^1 \\ \tau_{\acute{n}1}^1 \\ \tau_{\acute{e}1}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_2^1 = \begin{pmatrix} \tau_{\acute{o}2}^1 \\ \tau_{\acute{e}2}^1 \\ \tau_{\acute{a}2}^1 \\ \tau_{\acute{n}2}^1 \\ \tau_{\acute{e}2}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_m^1 = \begin{pmatrix} \tau_{\acute{o}m}^1 \\ \tau_{\acute{e}m}^1 \\ \tau_{\acute{a}m}^1 \\ \tau_{\acute{n}m}^1 \\ \tau_{\acute{e}m}^1 \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (6)$$

При переході від однієї підмножини до іншої спостерігається стрибок функціональних вимог, який може бути реалізований додатковим функціональним модулем (7), при цьому формується базовий модуль (\dot{I}^1_a), що реалізує загальні вимоги для всіх підмножин ООУ і ряд додаткових модулів ($M_i^{(\acute{o}1)}$), що реалізують додаткові вимоги.

$$M_a^1 = \begin{pmatrix} t_{a1}^1 \\ t_{e1}^1 \\ t_{a1}^1 \\ t_{n1}^1 \\ t_{e1}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_2^{(a)1} = \begin{pmatrix} t_{a2}^{(a)1} \\ t_{e2}^{(a)1} \\ t_{a2}^{(a)1} \\ t_{n2}^{(a)1} \\ t_{e2}^{(a)1} \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_m^{(a)1} = \begin{pmatrix} t_{am}^{(a)1} \\ t_{em}^{(a)1} \\ t_{am}^{(a)1} \\ t_{nm}^{(a)1} \\ t_{em}^{(a)1} \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Декомпозиція повного складу вимог ООУ дає три види функціональної структури системи:
 1) гнучка (ГСД) на основі базового модуля (БМ) і ряду додаткових (ДМ, ДМ2, ДМ3) (рис. 2):

$$\begin{aligned} & |M_a| R | N_1 | \\ & |M_a U M_2^{(a)}| R | N_2 | \\ & |M_a U M_2^{(a)} U \dots U M_m^{(a)}| R | N_m | \end{aligned} \quad (8)$$

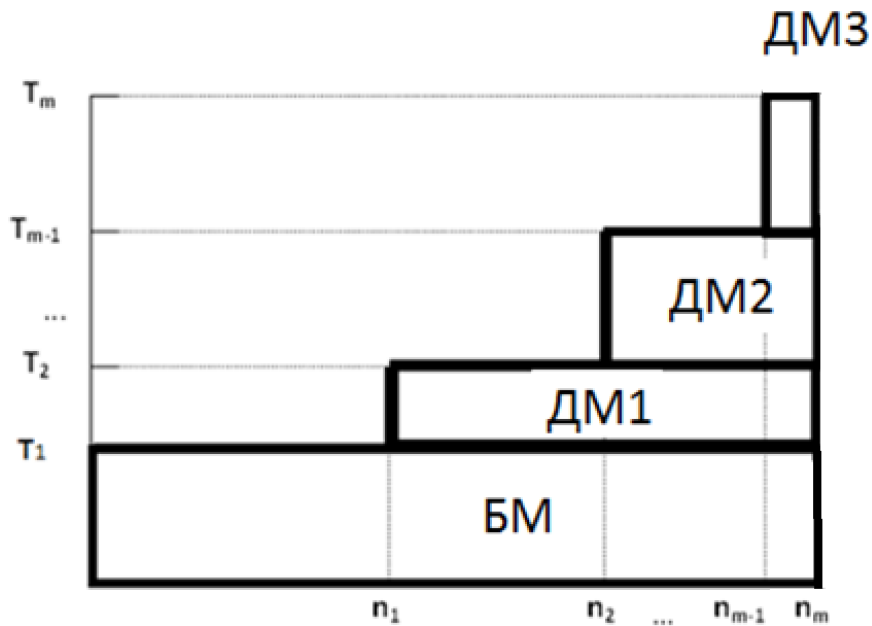


Рис. 2. Гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових (ГСД):
 БМ – базовий модуль, ДМ1 – додатковий модуль 1, ДМ2 – додатковий модуль 2, ДМ3 – додатковий модуль 3

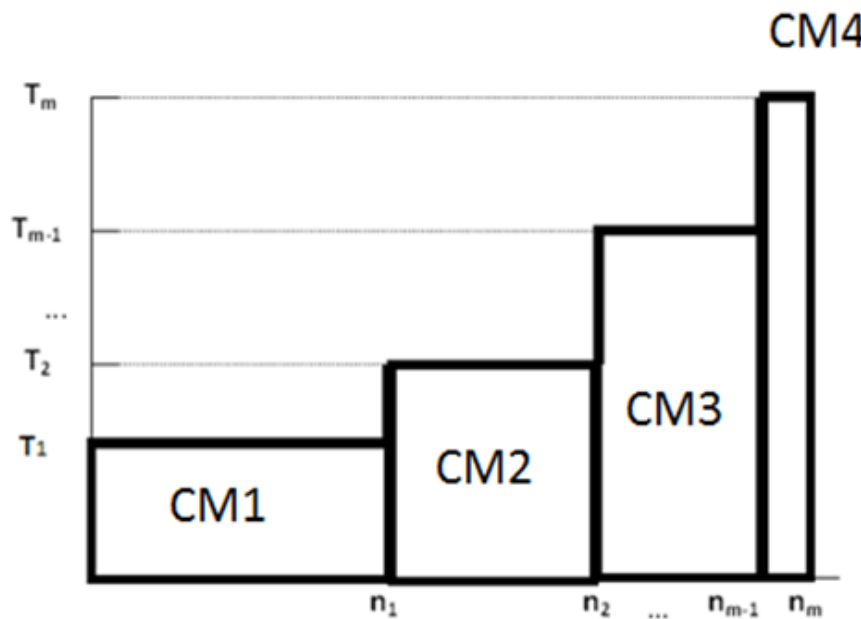


Рис. 3. Гнучка на базі спеціалізованих модулів (ГСС)
 СМ1 – спеціалізований модуль 1, СМ2 – спеціалізований модуль 2, СМ3 – спеціалізований модуль 3,
 СМ4 – спеціалізований модуль 4

2) гнучка (ГСС) на базі спеціалізованих модулів (СМ1, СМ2, СМ3, СМ4) (рис. 3)

$$\begin{aligned} &|M_1|R|N_1| \\ &|M_2|R|N_2| \\ &\dots \\ &|M_m|R|N_m| \end{aligned} \tag{9}$$

3) жорстка (ЖС) на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічний рівень (ЖС):

$$|M_m|R|N_1UN_2U\dots UN_m| \tag{10}$$

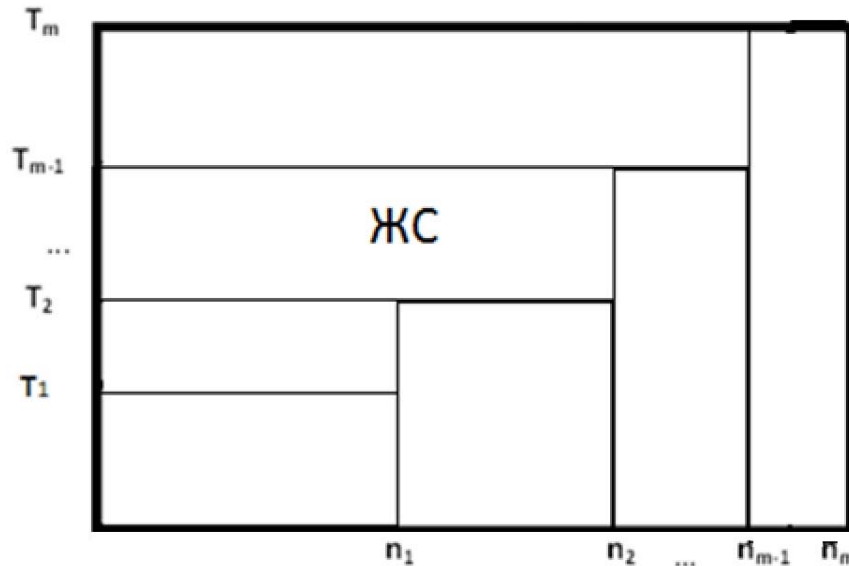


Рис. 4. Жорстка на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічний рівень (ЖС).

Нижче наведено вирази (11), (12), (13) для визначення кількості модулів різних структур для покриття ПСФ ООУ.

Для ГСД:

$$\mu_0 = \mu_1 + \mu_2^{\hat{c}} + \dots + \mu_m^{\hat{c}} = m \cdot n_m - \sum_1^{m-1} n_i. \tag{11}$$

Для ГСС:

$$\mu_0 = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_m = n_m. \tag{12}$$

Для ЖС:

$$\mu_0 = \mu_1 = n_m. \tag{13}$$

Кожну з підмножин однорідних об'єктів керування представимо через інтегральний склад вимог ООУ, а множини в цілому – через суму інтегральних складів окремих підмножин. Тоді для зазначених вище структур можна записати вирази для визначення їх інтегральних складів функціональних вимог:

Для ГСД:

$$T_{\dot{E}} = \dot{O}_1 \cdot n_m + \sum_2^m T_i^{\hat{c}} (n_m - n_{i-1}) \tag{14}$$

Для ГСС:

$$T_{\dot{E}} = \sum_1^m T_i (n_i - n_{i-1}) \tag{15}$$

Для ЖС:

$$T_{\dot{E}} = \dot{O}_m \cdot n_m \tag{16}$$

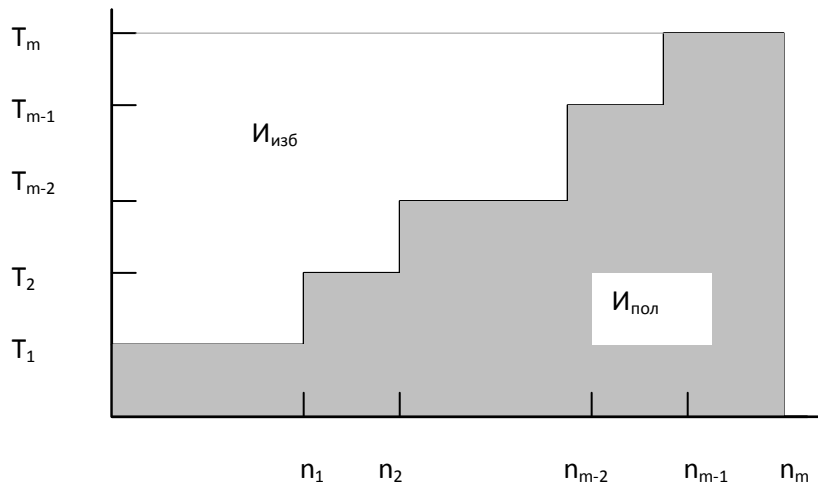


Рис. 5. Інтегральний склад вимог множини ООУ

Вибір вихідної функціональної структури, відповідної заданій множині ООУ, здійснюється на основі критерію виду функціональної структури $\Delta_{ис}$ (17), що представляє собою різницю між корисним (мінімально достатнім для покриття повного складу функціональних вимог) (18) і надлишковим інтегральним складом функціональних вимог (19) (рис. 5):

$$\Delta_{ис} = \Delta_{ис}^{пол} - \Delta_{ис}^{изб} \quad (17)$$

$$\Delta_{ис}^{пол} = \Delta_{ис}^{пол1} + \Delta_{ис}^{пол2} + \Delta_{ис}^{пол3} + \dots + \Delta_{ис}^{полm} \quad (18)$$

$$\Delta_{ис}^{изб} = (T_m - T_1)n_1 + (T_m - T_2)(n_2 - n_1) + \dots + (T_m - T_{m-1})(n_m - 1 - n_{m-2}) \quad (19)$$

$$\Delta_{ис}^{изб} = \Delta_{ис}^{изб1} + \Delta_{ис}^{изб2} + \Delta_{ис}^{изб3} + \dots + \Delta_{ис}^{избm-1} + \Delta_{ис}^{избm} \quad (20)$$

Або

$$\Delta_{ис}^{изб} = (2T_1 - T_m)n_1 + (2T_2 - T_m)(n_2 - n_1) + (2T_3 - T_m)(n_3 - n_2) + \dots + (2T_{m-1} - T_m)(n_m - 1 - n_{m-2}) + T_m(n_m - n_{m-1}) \quad (21)$$

- якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{ис} > 0$, то доцільною для такої множини ООУ є структура ЖС;

- якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{ис} \leq 0$, то функціональна структура повинна бути гнучкою (ГСС або ГСД) або жорстка ЖС. Оптимальною структурою АСУ однорідними об'єктами є структура, що забезпечує покриття інтегрального складу вимог ООУ при повних найменших витратах $S_{л}$ на автоматизацію, які включають в себе функціонально-інтегральну вартість (ФИС) $S_{ф}$ і витрати на обслуговування ФИС $S_{о}$. Ці задачі будуть предметом окремого дослідження.

Висновки

Таким чином, у процесі структурного синтезу отримані різні варіанти побудови структури системи автоматизації однорідних об'єктів, а саме: гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових; гнучка на базі спеціалізованих модулів; жорстка на базі єдиного функціонального модуля. Інтегральний склад вимог множини ООУ дозволяє вибрати оптимальну структуру системи автоматизації ООУ. Вибір тієї або іншої структури залежить від конкретного складу ООА і є предметом окремого розгляду.

Література

1. Аладьев В.З. Однородные структуры. Теоретические и прикладные аспекты / Аладьев В.З. – К. : Техніка, 1990. – 272 с.
2. Методи и алгоритмы решения задач оптимизации / Бейко И.В. и др. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.
3. Булат А.Ф. Многокритериальная экспертная оценка альтернативных вариантов технических решений / А.Ф. Булат // Уголь Украины. – 1998. – № 2. – С. 3–4.
4. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Реклейтис Г. – М. : Мир, 1986.
5. Стадник Н.И. Интегральная избыточность как критерий оптимизации функциональных структур систем управления – Н.И. Стадник // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2001. – Випуск 27. С. 377–381.
6. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. и др. – К. : Техніка, 1992. – 437 с.

Рецензія/Peer review : 19.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Матвійчук В.А.