

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

УДК 621.316

**ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ З МІНІМАЛЬНОЮ
НАДЛИШКОВІСТЮ**

Стаднік Микола Іванович д.т.н., професор
Вінницький національний аграрний університет
Stadnik M.
Vinnytsia National Agrarian University

Анотація: проаналізовано можливі варіанти побудови систем керування об'єктами з різним складом функціональних вимог та запропоновано підходи до побудови оптимальних структур на основі критерію функціональної надлишковості. Показано можливості використання децентралізованих систем керування, відзначено доцільність використання методів паралельного проектування.

Ключові слова: функціональні структури систем керування, надлишковість, оптимальні структури, децентралізоване керування, паралельне проектування.

Вступ

Як відомо, технологічні процеси агропромислового комплексу відрізняються надзвичайним різноманіттям, що тягне за собою застосування великого різноманіття систем керування.

Для прикладу розглянемо такі однорідні об'єкти управління як скребкові (ланцюгові) конвеєри які використовуються для транспортування борошна, зерна, тирси, різних сипучих матеріалів, для прибирання гною, відходів. В середині конвеєра продукт переміщується за допомогою скребків, сполучених однією або двома безперервними ланцюгами. Скребкові конвеєри можуть переміщувати продукт в горизонтальній і похилій площині. Потужність приводу конвеєрів знаходиться в діапазоні від 12 до 30 кВт і вище, довжина від 1,5 до 100 м і вище, кут нахилу: 0-45 град, швидкість руху ланцюга: 0,05-0,8 (1.0)м/с. Основними виробниками скребкових конвеєрів в Україні є близько 10 підприємств.

Як бачимо, скребкові конвеєри відрізняються великою різноманітністю за технічними характеристиками і областю застосування. Таким же різноманіттям, як показує аналіз, відрізняються і інші об'єкти керування. У той же час, доцільним видається застосування універсальної системи управління.

При цьому системи керування машинами АПК створюються, як правило, на основі узагальнених вимог, що важливо для їх серійного виробництва, які не враховують конструктивні особливості деяких груп обладнання, рівень використання їх технічних можливостей та т.п. Системи керування створені таким чином характеризуються надлишковістю, яка знижує їх техніко-економічні показники.

Крім цього, при побудові систем управління важливим є організація діалогу: «центр» - «периферія». Це дуже важливо враховувати при реалізації ідеї фітотомоніторингу. Фітотомоніторинг – одна з перспективних технологій в сільському господарстві, яка передбачає безперервний, непошкоджуючий контроль за життєдіяльністю рослини, з одночасним контролем навколишнього мікроклімату. Він дозволяє скоротити використання природних ресурсів і забезпечити тим самим охорону навколишнього середовища. Провідні світові вчені стверджують, що система фітотомоніторингу підвищує врожайність культур і скорочує витрати шляхом надання своєчасної і точної інформації про фізіологічний стан рослин і виявленні стресових умов до того, як вони вплинуть на рослину або плід. Оптимальне функціонування такої системи в значній мірі залежить від її структури. В цьому плані існують два принципових підхода до побудови автоматизованих систем управління: на основі централізованого або децентралізованого управління. Вирішенню цих проблем присвячена робота.

Результати досліджень

Пропонується синтезувати оптимальні функціональні структури, що враховують все різноманіття машин АПК. При цьому об'єкти керування АПК розглядаються не як окремі пристрої, а як множина однорідних за призначенням об'єктів управління (ООУ), зі змінним складом функціональних вимог, до систем автоматизації (АСУ) цих об'єктів.

Суть полягає в тому, що безліч ООУ і безліч функціональних вимог зазнають декомпозиції



відповідно на підмножини: $N = \{N_1, N_2, \dots, N_m\}$, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$, а кожна підмножина об'єктів характеризується інтегральним складом вимог $N_i T_i$, що враховує кількісний склад об'єктів підмножини і функціональних вимог до них. Інтегральний склад безлічі ЗОШ дорівнює сумі інтегральних складів окремих підмножин. Це дає можливість синтезувати вихідну узагальнену функціональну структуру системи автоматизації.

$$N_i T_i = \{ \langle n, T_i \rangle \mid n \in N_i \}. \quad (1)$$

Повний склад функціональних вимог (ПСФ) до автоматизації однорідних об'єктів можна представити як функціональний вектор:

$$T = \{t_y, t_k, t_\sigma, t_c, t_u, \dots\}, \quad (2)$$

де $t_y, t_k, t_\sigma, t_c, t_u$ – підмножини вимог, які згруповані за орієнтацією: відповідно вимоги щодо управління, контролю, блокування, сигналізації, інформації:

$$\begin{aligned} t_y^1 &= \{ \tau_{y1}, \dots, \tau_{yf} \}, \\ t_k^1 &= \{ \tau_{k1}, \dots, \tau_{kg} \}, \\ t_u^1 &= \{ \tau_{u1}, \dots, \tau_{ub} \}, \end{aligned} \quad (3)$$

де τ_{yi} – одиничний функціональний оператор ($\tau_i = 1$, якщо вимога з боку об'єкта пред'являється і $\tau_i = 0$, якщо вимога не пред'являється).

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

$$T = \begin{pmatrix} \tau_{y1}^1 \dots \tau_{yz}^1 & \tau_{y1}^2 \dots \tau_{yz}^2 & \dots & \tau_{y1}^j \dots \tau_{yz}^j \\ \tau_{k1}^1 \dots \tau_{ky}^1 & \tau_{k1}^2 \dots \tau_{ky}^2 & \dots & \tau_{k1}^j \dots \tau_{ky}^j \\ \tau_{\sigma 1}^1 \dots \tau_{\sigma x}^1 & \tau_{\sigma 1}^2 \dots \tau_{\sigma x}^2 & \dots & \tau_{\sigma 1}^j \dots \tau_{\sigma x}^j \\ \tau_{c1}^1 \dots \tau_{cl}^1 & \tau_{c1}^2 \dots \tau_{cl}^2 & \dots & \tau_{c1}^j \dots \tau_{cl}^j \\ \tau_{u1}^1 \dots \tau_{un}^1 & \tau_{u1}^2 \dots \tau_{un}^2 & \dots & \tau_{u1}^j \dots \tau_{un}^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} R | N |. \quad (4)$$

Аналіз функціональних вимог показує, що частина з них є загальними (спільними) для всього безлічі ООУ і можуть служити основою для побудови базових функціональних модулів, деякі функціональні вимоги є спеціальними і можуть бути основою для побудови спеціалізованих функціональних модулів.

$$M_1^1 = \begin{pmatrix} t_{y1}^1 \\ t_{k1}^1 \\ t_{\sigma 1}^1 \\ t_{c1}^1 \\ t_{u1}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_2^1 = \begin{pmatrix} t_{y2}^1 \\ t_{k2}^1 \\ t_{\sigma 2}^1 \\ t_{c2}^1 \\ t_{u2}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_m^1 = \begin{pmatrix} t_{ym}^1 \\ t_{km}^1 \\ t_{\sigma m}^1 \\ t_{cm}^1 \\ t_{um}^1 \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Декомпозиція ПСФ ООУ дає три виду функціональних структур системи:

– гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових $M_i^{(d)}$ (ГСД):

$$\begin{aligned} &|M_\sigma R | N_1 | \\ &|M_\sigma U M_2^{(d)} R | N_2 |; \\ &|M_\sigma U M_2^{(d)} U \dots U M_m^{(d)} R | N_m | \end{aligned} \quad (6)$$



– гнучка на базі спеціалізованих модулів (ГСС):

$$\begin{aligned} & |M_1|R|N_1| \\ & |M_2|R|N_2| ; \\ & \dots \\ & |M_m|R|N_m| \end{aligned} \quad (7)$$

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

$$|M_m|R|N_1UN_2U\dots UN_m|. \quad (8)$$

Інтегральний склад вимог ООУ ($T_H = T \cdot n$) для структур:

$$\text{ГСД: } T_H = T_1 \cdot n_m + \sum_2^m T_i (n_m - n_{i-1}); \quad (9)$$

$$\text{ГСС: } T_H = \sum_1^m T_i (n_i - n_{i-1}); \quad (10)$$

$$\text{ЖС: } T_H = T_m \cdot n_m. \quad (11)$$

Вибір вихідної функціональної структури здійснюється на основі критерію виду функціональної структури Δ_{uc} – різниці між корисним (мінімально достатнім для покриття ПСФ вимог) і надлишковим інтегральним складом функціональних вимог: $\Delta_{uc} = I_{пол} - I_{изб}$.

Оптимальною структурою АСУ однорідними об'єктами є структура, що забезпечує покриття інтегрального складу вимог ООУ при повних найменших витратах S_{II} на автоматизацію, які включають в себе функціонально- інтегральну вартість (ФІС) S_{ϕ} і витрати на обслуговування ФІС S_0 :

$$\begin{aligned} S_{II} &= S_{\phi} + S_0. \\ S_{\phi} &= T \cdot n \cdot C_{\phi}, \end{aligned} \quad (12)$$

де C_{ϕ} , грн/функцію – вартість реалізації однієї функції (витрати на виробництво засобів автоматизації на одну функцію), має обернено пропорційну залежність від обсягу випуску модулів μ . Визначається вид функції на підставі статистичних досліджень: $C_{\phi} = A \cdot \mu^{-k}$ (– коефіцієнт, обумовлений рівнем технології, кваліфікації робочого персоналу, уніфікацією виробів і т. п. в умовах конкретного заводу-виробника).

Аналіз наведених вище виразів показує:

– якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{uc} > 0$, то доцільною для такого безлічі ООУ є структура ЖС;

– якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{uc} \leq 0$, то функціональна структура повинна бути гнучкою (ГСС або ГСД) або жорстка ЖС. Конкретний вид визначається за допомогою оптимізації, з урахуванням наведених вище підходів.

При побудові систем управління дуже важливим є організація діалогу: «центр» - «периферія». В цьому плані існують два принципи побудови автоматизованих систем управління на основі централізованого та децентралізованого управління.

Традиційно автоматизовані системи управління технологічними процесами будувалися і продовжують будуватися на основі централізованого управління. У таких системах потоки інформації від джерел інформації пересилаються в центр, там вони обробляються, аналізуються і пересилаються на об'єкт у вигляді керуючих сигналів.

Реалізація на цьому принципі, вже згаданого вище фітотоніторингу, надзвичайно складна, враховуючи те, що до складу такої системи входить велика кількість складових зі своїми алгоритмами та критеріями функціонування.

Розглянемо інший підхід при побудові систем керування. У таких системах «центр» як такий



відсутній. Досягнення системних цілей здійснюється в результаті злагоджених дій окремих пристроїв керування, які керуються локальними критеріями та вирішують локальні завдання управління. Всі пристрої разом вирішують загальносистемне завдання.

На рисунку 1 наведена структура децентралізованої системи управління: об'єкт управління складається з n машин (M_1, M_2, \dots, M_n), які беруть участь в одному технологічному процесі; об'єкт має n входів (X_1, X_2, \dots, X_n), на які подаються різні дії; X_i – вхідний потік (матеріальний, енергетичний потік, час та ін), Y_i – вихідний продукт. Децентралізована система складається з «колективу» мікропроцесорних контролерів МПКі, які керують окремими машинами.

Кінцевий продукт технологічного процесу Y :

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i \tag{13}$$

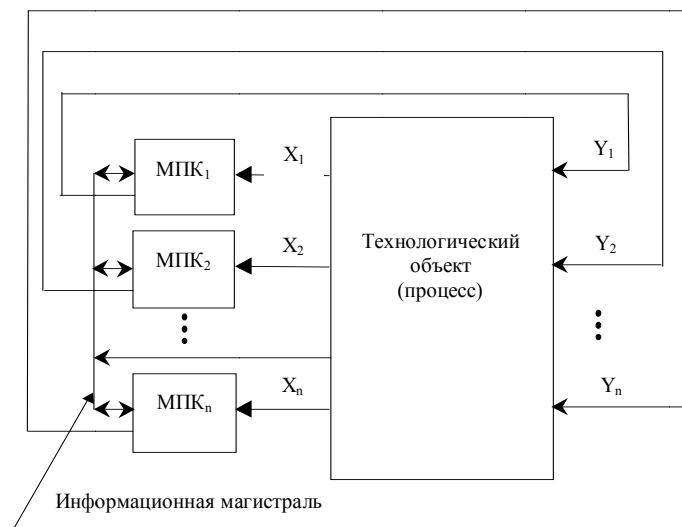


Рис. 1. Структура децентралізованої системи управління

Таке представлення об'єкту дозволяє розв'язання задачі управління звести до задачі розподілу ресурсу вхідних впливів $X = \sum X_i$, таким чином, щоб вихідний продукт Y мав задані показники (продуктивність, якість, час). Технологічні процеси, як правило, завжди мають обмеження. Необхідно розподілити наявний ресурс вхідних впливів X між споживачами на частини X_i таким чином, щоб забезпечити мінімум відхилення вихідної величини кінцевого продукту Y від заданої величини Y_3 .

$$I = (Y - Y_3)^2 \rightarrow \min;$$

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i;$$

$$Y_i = f_i(X_i);$$

$$X - \sum_{i=1}^n X_i = 0; (i = 1, 2, 3, \dots, n),$$
(14)

де I – критерій управління,

$$X - \sum_{i=1}^n X_i = 0 \text{ – обмеження.}$$

Рішення поставленого завдання виконується з використанням принципу колективної поведінки (як пристроїв управління використовується МПК). Як правило, вся обчислювальна потужність контролера повністю не використовується, тому, об'єднавши контролери в єдину мережу,



можливе використання резервної обчислювальної потужності для вирішення завдань управління всім технологічним процесом.

Для цього необхідно визначити правила поведінки кожного з локальних контролерів, що забезпечують узгоджені дії всіх МПК для досягнення глобальної (для даного процесу) функції мети. Функціонування колективу МПК необхідно пов'язати через обмеження, сформульовані завдання з управління усім об'єктом (процесом).

$$\left(\sum f_i(X_i) - Y_3\right) \frac{df_i(X_i)}{dX_i} - \lambda = 0; \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = X; \quad i = (1, 2, 3, \dots, n).$$

Позначимо $df_i(X_i) / dX_i$ как $f_i'(X_i)$ для стислості записів:

$$I_i = \left(\sum_{i=1}^n f_i(i) - Y_3\right) f_i'(X_i) - \lambda; \quad (16)$$

$$\lambda \left(\sum_{i=1}^n X_i - X\right) = 0; \quad i = (1, 2, 3, \dots, n).$$

Перше рівняння системи (17) можна розглядати як локальний критерій для i -го контролера. У тому випадку, коли всі I_i будуть рівні 0, при $\sum_{i=1}^n X_i = X$ буде досягнутий екстремум глобальної

функції мети і буде розподілений весь ресурс X_i . Під ресурсом будемо розуміти: енергію, сировину, переміщення, час, керуючий вплив і ін. Розподіл ресурсу між контролерами в мережі можна здійснити шляхом передачі в лінію зв'язку запитів на ресурс X_i кожним контролером, а також величини вихідного продукту $Y_i = f_i(X_i)$ на кожному кроці ітераційного процесу розв'язання

задачі. Кожен контролер, беручи з лінії зв'язку цю інформацію, накопичує $\sum_{i=1}^n Y_i$ и $\sum_{i=1}^n X_i$, а потім

обчислює відхилення I_i від 0. Цю інформацію можна використовувати для формування правила поведінки кожного контролера в колективі контролерів, тобто правило зміни запитів X_i з метою досягнення нульового значення локальної функції мети. При використанні традиційного підходу до вирішення завдань управління вирішується система (16) і в результаті знаходяться значення X_1, X_2, \dots, X_n и λ , при яких $I_i = 0$ и $X = \sum X_i$. У разі організації колективу контролерів немає необхідності обчислювати точні значення всіх змінних заздалегідь, головне визначити тенденцію зміни X_i кожним контролером таким чином, щоб напрямок зміни X_i забезпечувало наближення I_i к 0, а при досягненні $I_i = 0$ зміни X_i закінчувались.

У разі, коли $\sum f_i(X_i)$ більше Y_3 , необхідно зменшити значення $f_i(X_i)$ кожного контролера. Функція $f_i(X_i)$ визначає напрям зміни X_i для зменшення (або збільшення) значення $f_i(X_i)$. Тоді правило зміни запитів кожним контролером приймає вигляд

$$X_{k+1,i} = X_{k,i} - C \left[\alpha_1 \left(\sum_{i=1}^n Y_3 - f_i(X_i) \right) f_i'(X_{k,i}) - \alpha_2 \left(X - \sum_{i=1}^n X_{i,k} \right) - \lambda \right], \quad (17)$$

где K – номер кроку; C – коефіцієнт кроку ітерації (надалі коефіцієнт кроку). Коефіцієнти α_1 и α_2 в рівнянні (17) введено для забезпечення безрозмірності отриманого результату, що полегшує аналіз при розгляді моделей об'єктів різної фізичної природи. Основною перевагою такого децентралізованого управління є те, що кожен МПК визначає тільки одне значення X_i на підставі свого правила поведінки, крім того забезпечується незалежність вирішення завдання управління від кількості контролерів в системі.

Необхідно відзначити ще одну особливість, яку слід враховувати при створенні систем



керування машинами нового покоління. Сучасний рівень функціонально-параметричних вимог привів до перетворення машин з електромеханічних систем в мехатронні, які характеризуються тим, що вони органічно містять «інтелектуальну» складову. Остання обставина грає дуже істотну роль при формуванні функціонального складу вимог систем автоматизації.

Проектування складної мехатронної системи, що складається з великого числа мехатронних агрегатів, що мають у свою чергу складну структуру вузлів, модулів, складним чином взаємодіють, неминуче супроводжується виникненням «суперечностей» між ними. Вирішення виниклих протиріч досягається при паралельному проектуванні, що має на увазі не стільки своєчасне виділення необхідних обсягів загалом конструктивів вузла, стільки у формуванні функціонально-параметричних характеристик окремих компонент з допомогою різних видів моделювання, на основі аналізу функціональної моделі (F-моделі) і структурної моделі (S-моделі), виявленні параметрів які «конфліктують» в місцях об'єднання (стику) компонент і вироблення способів їх дозволу. Після виявлення параметрів що «конфліктують» і стиків з'являється можливість гармонізувати, «примирити», узгодити, підпорядкувати їх єдиної мети, виконати синергетичне поєднання різних компонент на початкових стадіях проектування, тобто вирішити головну задачу розробника мехатронних систем.

Висновки

У статті показані 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. В роботі сформульовано критерій вибору тієї чи іншої структури відповідно до характеристик множини однорідних об'єктів керування. Показані підходи до формування децентралізованого управління з використанням принципу колективної поведінки. Враховуючи перетворення об'єктів керування з електромеханічних в мехатронні зазначена необхідність використання принципів паралельного проектування, при створенні систем керування.

Список літератури

1. Пивняк Г.Г., Стадник Н.И., Ткачев В.В. Автоматизация однородных объектов управления. Днепропетровск, НГУ, 2007, 160 с.
2. Пивняк Г.Г., Проценко С.М., Стадник М.И., Ткачев В.В. Децентрализованное управление. Днепропетровск, НГУ, 2007, 108 с.
3. Лялин О. О., Радченко С. С., Карманов В. Г. Проблемы фитомониторинга на современном этапе. Физические методы и средства получения информации в агромониторинге. Сборник научных трудов. 1987, Ленинград, 30-35.

References

1. Pivnyak G. G., And Stadnik, N. S., Tkachev V. V. automation of homogeneous objects of management. Dnipropetrovsk, NGU, 2007, 160C.
2. Pivnyak G. G., Protsenko S. M., Stadnik, N. And. Tkachev V. V. Decentralized control. Dnipropetrovsk, NGU, 2007, 108 с.
3. Lyalin, O. O., Radchenko S. S., Karmanov V. G. the Problems of the phytomonitoring in modern times. Physical methods and means of acquiring information for agricultural monitoring. Collection of scientific works. 1987, Leningrad, 30-35.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ С МИНИМАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Аннотация: проанализированы возможные варианты построения систем управления объектами с различным составом функциональных требований и предложены подходы к построению оптимальных структур на основе критерия функциональной избыточности. Показаны возможности использования децентрализованных систем управления, отмечена целесообразность использования методов параллельного проектирования.

Ключевые слова: функциональные структуры систем управления, избыточность, оптимальные структуры, децентрализованное управление, параллельное проектирование.

THE DESIGN OF AUTOMATION SYSTEMS WITH MINIMAL REDUNDANCY

Summari: the article analyses possible variants of construction of control systems of objects with different composition of functional requirements and proposed approaches to the construction of optimal structures based on the criterion of functional redundancy. The possibilities of the usage of decentralized control systems, the practicability of using methods of concurrent engineering.

Keywords: functional structure of control systems, hut-precision, optimal structure, decentralized control, parallel design.