

О.Л. Становський, д.т.н., проф.

В.М. Тонконогий, к.т.н., доц.

Одеський національний політехнічний університет

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗНАТЬ
В КЕРУЮЧІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ**

Запропоновано метод підвищення рівня знань, а отже точності, повноти та адекватності керуючих інформаційних моделей за рахунок декомпозицій – композицій образу об'єкта моделювання та подальшого використання додаткових відомостей про структуру та параметри об'єкта з метою підвищення ефективності управління.

Відповідно до прийнятої технології розробка керуючої інформаційної системи (VIC) починається з побудови інформаційної моделі (ІМ) об'єкта управління [1]. Побудову ІМ складної технічної системи (СТС) починають із представлення останньої у вигляді «чорної шухляди», в якій залежно від цілей моделювання та обчислювальних можливостей визначають скінченновимірні вектори вхідних $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ та вихідних $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ параметрів, зв'язаних між собою будь-якою, поки ще не ідентифікованою залежністю $Y = f(X)$ (рис. 1, а) [2].

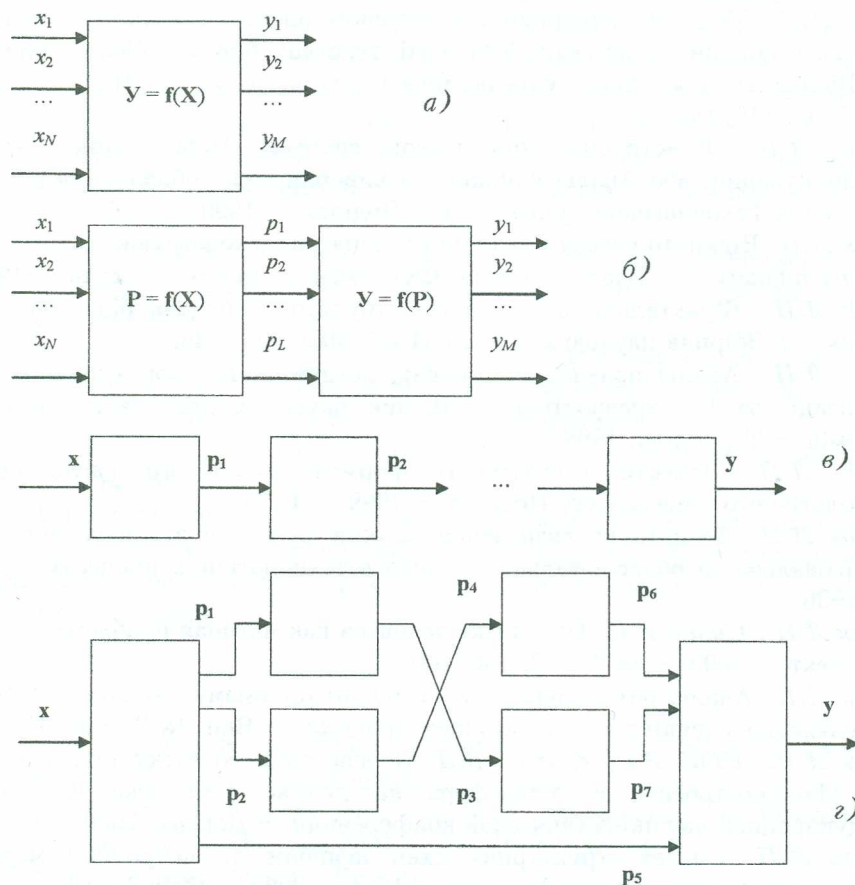


Рис. 1. Моделі об'єкта управління на різних ітераціях декомпозиції: а – вихідний (нульовий) рівень; б – після 1-ї ітерації декомпозиції; в – лінійна модель після k-ї ітерації декомпозиції; г – перехресна модель (приклад)

Спроба її експериментальної ідентифікації, наприклад, у вигляді простої регресивної залежності (що для одноланкової моделі СТС не являє серйозних труднощів) найчастіше зіштовхується з технічною проблемою, коли дійсно важливі для кінцевого результату функціонування СТС вихідні параметри Y протягом процесу неможливо спостерігати, а коли

процес довершений, керувати ним вже пізно... У цьому випадку приходится здійснювати розімкнуте управління, що при багатофакторних СТС і великих зовнішніх збурюваннях виявляється малоефективним [3].

Другою серйозною проблемою інформаційного моделювання СТС є висока розмірність векторів X та Y . Це змушує розроблювачі УІС виконувати декомпозицію системи (рис. 1, б, в), а отже і її моделі, на ряд підсистем меншої розмірності, управляти кожною з цих підсистем окремо і у подальшому погоджувати частинні управління в загальне управління початкової СТС [4]. На жаль, процес декомпозиції ІМ супроводжується зростанням необхідних обчислювальних і часових ресурсів, що потрібні для моделювання. Таке зростання, зрештою, ставить ресурсний бар'єр на шляху декомпозиції.

В цих умовах важливою задачею сучасної теорії управління є пошук таких методів побудови ІМ, які без глибокої декомпозиції СТС дозволили б одержати про об'єкт додаткові знання, такі, що, з одного боку, підвищують повноту моделі, а з іншого, – дозволяють істотно підвищити ефективність управління, наприклад за рахунок введення зворотних зв'язків, що використовують ці нові знання.

Нехай початкова ІМ має рівень декомпозиції 0, а рівень знань про об'єкт – відповідний деякому вихідному стану Π на графіку (рис. 2). Припустимо також, що за K ітерацій декомпозиції рівень знань підвищився до стану A .

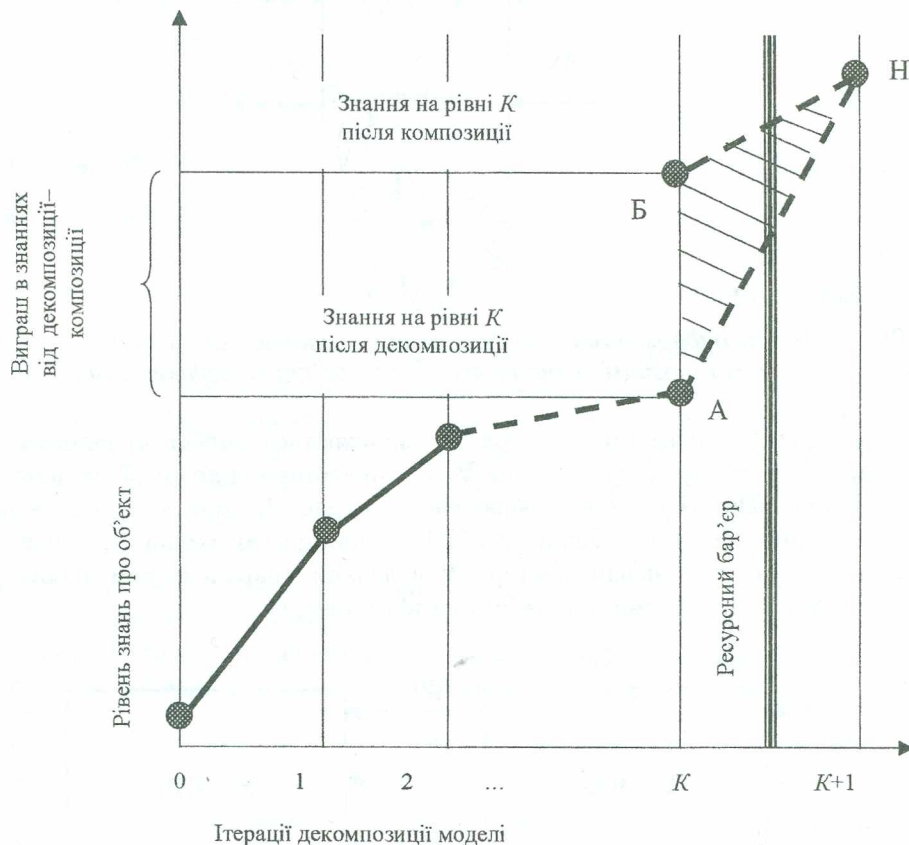


Рис. 2. Схема до пояснення наслідків декомпозиції-композиції

Уявимо, що після наступної, $(K+1)$ -ї, ітерації модель вийшла за ресурсний бар'єр і стала непрацездатною (точка H , рис. 2).

У цьому випадку відмова від останньої ітерації декомпозиції, тобто простий «відкіт» до попереднього стану моделі призведе до повернення останньої в зону до бар'єра і відновленню її працездатності. При цьому рівень знань у моделі буде відповідати, наприклад, тому ж стану A після K -ї ітерації, а її повнота зросте.

У той же час можна повернутися до «добар'єрного» рівня декомпозиції іншим шляхом (наприклад $H \rightarrow B$), зберігши при цьому знання про об'єкти, що містяться в моделі, на рівні B ,

більшому, ніж рівень А (рис. 2). Отримані таким шляхом «додаткові» знання відіграють істотну роль при використанні моделі в системах управління, оскільки вони можуть вплинути в позитивну сторону на саму структуру АСУ.

Нехай як СТС розглядається деяка технологія, образ якої після першого кроку декомпозиції розпадається на два технологічних процеси з виділенням вектора проміжних параметрів \mathbf{P} (рис. 1, б). У цьому випадку для побудови дволанкової системи управління СТС необхідно здійснювати вже ідентифікацію двох моделей: $\mathbf{P} = \mathbf{f}(\mathbf{X})$ і $\mathbf{Y} = \mathbf{f}(\mathbf{P})$, будувати два контури управління, з яких другий – знову важкореалізований через неспостережуваність \mathbf{Y} та ін.

Скористаємося тим, що інформація про вектор \mathbf{P} , отримана після декомпозиції образу СТС, зберігається незалежно від подальших операцій з ним, і виконаємо його зворотню композицію до стану, зображеного на рис. 1, а. При цьому вектор \mathbf{P} ніби «витісняється» з моделі об'єкта і являє собою вже «зовнішню», додаткову інформацію, придбану в процесі декомпозиції-композиції образу СТС (рис. 3).

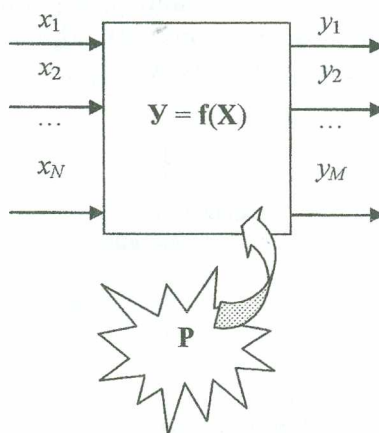


Рис. 3. Стан інформаційної моделі складної технічної системи після циклу декомпозиції-композиції образу об'єкта моделювання

Якщо при цьому параметри вектора \mathbf{P} виявляються більш «вдалими» з точки зору спостережуваності, ніж параметри вектора \mathbf{Y} , то управління виходом \mathbf{Y} за допомогою входів \mathbf{X} може бути організоване за схемою, зображеною на рис. 4, коли контрольовані параметри \mathbf{Y} автоматично підтримуються на заданому рівні за допомогою входів \mathbf{X} , а цей рівень, у свою чергу, гарантує влучення значень вектора \mathbf{Y} в деякий «паралелограм якості», обмежений у просторі станів \mathbf{Y} припустимими відхиленнями від номіналу.

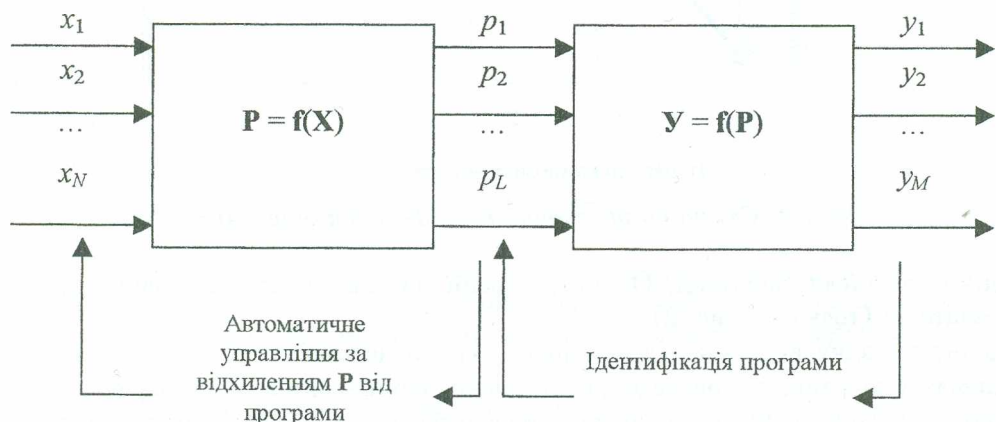


Рис. 4. Структура управління СТС, побудована з використанням додаткових знань, отриманих у результаті декомпозиції-композиції образу об'єкта управління

Такий підхід, зберігаючи необхідним низький рівень складності ідентифікації одноланкової моделі, забезпечує високий рівень повноти дволанкової, що дає можливість організувати замкнуте управління з усіма позитивними наслідками, що з нього випливають.

Практична реалізація такого підходу була здійснена на прикладі технології нанесення вакуумного іонно-плазмового покриття на різальний інструмент. Ця технологія вирізняється тим, що декілька послідовних технологічних процесів, які входять до неї: очищення підкладки іонним бомбардуванням її поверхні, осадження покриття та охолодження готового інструмента, відбуваються в близьких умовах герметичної камери [5], отже їх можна розглядати або як окремі елементарні технологічні процеси (ЕТП) після декомпозиції, або як єдиний об'єднаний технологічний процес (ОТП) після композиції. Додаткові знання частково підвищують розмірність простору параметрів ОТП R^Σ таким чином, що вона знаходиться між розмірностями максимального з ЕТП $\max R^n$ і сумою розмірностей усіх ЕТП, що входять до

$$\text{ОТП} \sum_{i=1}^I R^{n_i} :$$

$$\max R^n \leq R^\Sigma \leq \sum_{i=1}^I R^{n_i} . \quad (1)$$

Нехай об'єкт управління описується виразом [6]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x} + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}; \quad \mathbf{x} \in R^\Sigma; \quad \mathbf{u} \in R^{r_c}, \quad (2)$$

а його рішення виглядає таким чином:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{K}(t, t_0)\mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \mathbf{K}(t, \Theta)\mathbf{B}(\Theta)\mathbf{u}(\Theta)d\Theta, \quad (3)$$

$$\mathbf{x} \in R^\Sigma; \quad \mathbf{u} \in R^{r_c};$$

$$\frac{d}{dt}\mathbf{K}(t, t') = \mathbf{A}(t)\mathbf{K}(t, t'). \quad (4)$$

Отже, завдяки зниженню розмірності від $\sum_{i=1}^I R^{n_i}$ до R^Σ відповідно зменшується розмірність задачі (2)–(4) і пов'язана з нею складність роботи з моделлю ОТП.

Вектор \mathbf{X} ОТП складається з тривалості нанесення $x_1 = \tau_n$, напруги на випарювачі $x_2 = U_{\text{дуги}}$, та на підкладці $x_3 = U_{\text{під}}$ і масовій витраті газу-реагента $x_4 = M$, а вектор \mathbf{Y} – з товщини покриття $y_1 = \delta$, його твердості $y_2 = H_m$, дефектності $y_3 = D$ та міцності зчеплення з підкладкою $y_4 = \sigma_{\text{зч}}$. Декомпозиція – композиція образу об'єкта моделювання дозволила виявити додаткові параметри вектора \mathbf{P} : температуру підкладки $p_1 = T$ та тиск у вакуумній камері $p_1 = P_{\text{вак}}$, що лягло в основу побудови автоматизованої системи управління технологією нанесення покриття за схемою, наведеною на рис. 4.

Роботи з впровадження технології нанесення зносостійких покриттів іонно-плазмовим методом устаткування і систем управління для їхньої реалізації здійснені більш ніж на 70 підприємствах багатьох держав. В результаті отримано загальний економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Копытчук Н.Б. Информационная модель управляющих информационных систем: термины и определения // Труды Одесского политехнического университета. – 2002. – Вып. 2(18). – С. 81–86.
2. Эйхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
3. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсенян Ф.А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. – М., 1995. – 233 с.
4. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.: Выща школа, 1988. – 552 с.
5. Тонконогий В.М. Управление объединенными технологическими процессами // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – Вып. 1(21). – С. 113–115.
6. Зубов В.И. Проблемы устойчивости процессов управления. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2001. – 354 с.

СТАНОВСЬКИЙ Олександр Леонідович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри нафтогазового і хімічного машинобудування Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання для цілей проектування та управління.

Тел. роб.: (0482) 28-87-17;

дом.: (0482) 758-75-84;

E-mail: stanovsky@mail.ru

ТОНКОНОГИЙ Володимир Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, декан механіко-технологічного факультету, завідувач кафедри технології комп'ютерного проектування Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизовані системи управління технологічними процесами;

– знос та руйнування різальних інструментів із зносостійкими покриттями.

Тел. роб.: (0482) 28-84-75;

дом.: (0482) 34-56-98;

E-mail: vladimir@iptdm.ospu.odessa.ua

vmt@te.net.ua

Подано 07.04.2004