

# Про конструктивні умови функціональної стійкості інформаційної системи виробничого підприємства

Пічкур В.В.

Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка  
м. Київ, Україна  
vpichkur@gmail.com

Собчук В.В.

Державний університет телекомунікацій  
м. Київ, Україна  
v.v.sobchuk@gmail.com

**Анотація**—У доповіді пропонується поняття функціональної стійкості технологічного процесу на промисловому підприємстві. Використовуючи інструментарій псевдообертання, побудовано конструктивні умови функціональної стійкості для технологічного процесу виробничого підприємства. Здійснено аналіз задачі забезпечення функціонування виробничого процесу на границі втрати функціональної стійкості при досягненні гранично допустимих меж відхилень від еталонного значення для процесу.

**Ключові слова**—математична модель виробничого процесу, функціональна стійкість, псевдообертання.

## Вступ

Підвищення ефективності управління виробничим підприємством тісно пов'язане з вдосконаленням системи керування ресурсами, технологічними процесами та процесами оперативного виробничого планування на підприємстві. При цьому головною метою є забезпечення злагодженого, комплексного, ритмічного ходу виробництва стосовно виготовлення та випуску продукції при найповнішому і рівномірному використанні всіх виробничих ресурсів [1].

Власне, тому важливою є проблематика створення методології побудови систем автоматизованого керування виробничими процесами підприємствами. Для цього здійснюється аналіз проблеми конструювання інформаційних систем управління підприємством та детально описуються особливості підходу до розв'язання задач стійкого функціонування виробничих процесів промислових підприємств. При цьому важливими є як побудова ефективної топології інформаційної системи підприємства, так і забезпечення умов практичної стійкості та керування ключовими процесами [2].

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

На сьогоднішній день розроблено багато класів інформаційних систем для автоматизації різноманітних аспектів управління промисловим підприємством. Найбільш відомими з них є такі: MRP II (Manufacturing Resource Planning), ERP (Enterprise Resource Planning), APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) і MES

(Manufacturing Execution Systems). Спільною рисою даних систем є те, що в них реалізуються принципи, характерні для *інтегрованих автоматизованих систем управління підприємством* (ІАСУ), коли автоматизується широкий комплекс функцій управління, що охоплюють задачі стратегічного, виробничого, фінансового планування, оперативного управління постачанням, закупками, запасами в поєднанні з автоматизацією конструкторської, технологічної підготовки виробництва тощо.

Без автоматизації процесу контролю параметрів виробничих процесів на сучасних підприємствах неможливо організувати серійний випуск якісної продукції. Вважатимемо, що підприємство працює в умовах ресурсної забезпеченості з чітко запланованими графіками випуску готової продукції. Для розв'язання задач забезпечення стійкості виробничих процесів завдяки контролю в режимі реального часу ключових виробничих параметрів пропонується математична модель, яка може бути інтегрованою в автоматизовану систему управління підприємством.

Випуск продукції зазвичай складається з низки етапів, на кожному з яких висуваються певні вимоги до параметрів та характеристик сировини, напівфабрикатів чи то, в кінцевому підсумку, готової продукції. Позначимо такі набори параметрів на кожному  $i$ -му етапі через  $x(i) \in \mathbb{R}^n$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Технологічні виробничі процеси для гарантування досягнення параметрів  $x(i)$  на кожному етапі вимагають зовнішніх впливів  $u(i)$  на виробничий процес (ефект від роботи, енергетичний ефект, хімічні чи то інші технологічні впливи на кожному з етапів).

Зауважимо, що в реальних виробничих умовах хід виробничого процесу забезпечить повторюваність та інтенсивність випуску продукції, яка задовольняє наперед заданим вимогам та стандартам з певними відхиленнями (допусками)  $\varepsilon(i)$ , які характерні для кожного виробничого процесу чи то виробу. Всі лінійні, хімічні, механічні, геометричні чи інші характеристики виробу повинні відповідати еталонному зразку, не перевищуючи

пороги технологічних похибок.

Нехай  $A(i) \in \mathbb{R}^{n \times n}$  – матриця залежності показників якості продукції на  $i+1$ -му етапі від показників на  $i$ -му етапі, власне матриця виробничого процесу;  $C(i) \in \mathbb{R}^{n \times m}$  – матриця, яка визначає структуру впливу на виробничий процес  $u(i) \in \mathbb{R}^m$ ,  $i = 0, N-1$ .

Нехай  $\bar{x} = (\bar{x}^T(0), \bar{x}^T(1), \dots, \bar{x}^T(N))^T$  – еталонний процес, який гарантує повну відповідність набору параметрів  $x(k)$ ,  $k = 0, 1, \dots, N$ , які мають бути дотримані при ідеальному виконанні виробничого процесу на всіх етапах та на кожній з ланок. Задано параметр  $\varepsilon > 0$ , що визначає сукупність допустимих відхилень (толерансів) від еталонних значень.

**Означення.** Якщо при заданих матрицях  $A$ ,  $C$  та векторі  $u$  існує розв'язок  $x = \bar{x} + e$  системи

$$x(i+1) = A(i)x(i) + C(i)u(i), \quad i = \overline{0, N-1} \quad (1)$$

такий, що  $\|e\| \leq \varepsilon$ , то такий технологічний процес називатимемо функціонально стійким.

В доповіді показано, що система (1) еквівалентна системі лінійних алгебраїчних рівнянь  $Ax = Cu$ , де  $x = (x^T(0), x^T(1), \dots, x^T(N))^T$ ,  $u = (u^T(0), u^T(1), \dots, u^T(N-1))^T$ , а матриці  $A$  та  $C$  формуються з  $A(i)$  та  $C(i)$ ,  $i = \overline{0, N-1}$ .

#### УМОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ

Позначимо  $Z(A^T) = E - AA^+$  – проєктор на ядро матриці  $A^T$ ,  $A^+$  – псевдообернена матриця [3]. Конструктивні умови функціональної стійкості при управлінні виробничими процесами промислового підприємства записуються таким способом.

**Теорема 1.** Нехай виконується умова

$$u^T Q u = 0, \quad (2)$$

де  $Q = C^T Z(A^T)C$ . При цьому

$$\|A^+(Cu - A\bar{x})\| \leq \varepsilon. \quad (3)$$

Тоді технологічний процес, описаний рівнянням (1) є функціонально стійким.

Справджується також обернена теорема до теореми 1.

**Теорема 2.** Якщо технологічний процес є функціонально стійким, то  $u^T Q u = 0$ , при цьому  $\|A^+(Cu - A\bar{x})\| \leq \varepsilon$ .

Якщо розв'язок системи (1), який відповідає умовам функціональної стійкості, не існує – процес не може гарантовано реалізовуватись. В такому випадку технологічний процес слід зупинити, щоб проаналізувати, які параметри призводять до функціональної нестійкості. При цьому розв'язуємо задачу

$$I(e) = \|Ae - Cu - A\bar{x}\| \rightarrow \min_e. \quad (4)$$

На практиці це означає, що існування точного розв'язку системи гарантує функціональну стійкість, якщо відхилення від еталонного значення задовольняють (3). Якщо ж умова (3) не виконується, проте існує розв'язок (4), це означає,

що система функціонує в умовах близьких до втрати стійкості (технологічно це означає, що процес забезпечує випуск продукції неналежної якості, яка буде обов'язково дефектована). Якщо не має розв'язків задачі (4), то процес має бути негайно зупинений. Система повернеться у вихідне положення на рівень функціональних задач APS, MES, PLM-систем ІАСУ та застосовується алгоритм повторного планування та рестарту скоректованого виробничого плану [1].

Припустимо, що ми маємо еталонні показники значення вектора  $\bar{x}$ . Актуальною є задача, чи можливо організувати виробничий процес таким чином, щоб дотримуватись заданих еталонних показників за рахунок вибору вектора  $u$ ? Справджуються наступні твердження.

**Теорема 3.** Нехай структура виробничого процесу визначається матрицями  $A$  та  $C$ , а вектором  $\bar{x}$  задані еталонні значення параметрів  $x$  та характеристик продукції на кожному етапі виробництва. Тоді необхідною і достатньою умовою того, що у виробничому процесі будуть реалізовані еталонні вимоги  $\bar{x}$  є виконання умови

$$\bar{x}^T P \bar{x} = 0, \quad (5)$$

де матриця  $P = A^T Z(C^T)A$ ,  $Z(C^T) = E - CC^+$ .

З теореми 3 випливає такий наслідок.

**Наслідок.** Нехай виконуються умова (5) теореми 3. Тоді сукупність реалізації вектора  $u$  за еталонними значеннями вектора  $\bar{x}$  визначається співвідношенням  $\{C^+ A \bar{x} + Z(C)w : w \in \mathbb{R}^{Nm}\}$ , де  $Z(C) = E - C^+C$ .

#### Висновки

В доповіді запропоновано методологію побудови систем автоматизованого керування підприємством. В разі комплексного автоматизованого підходу до управління виробничим підприємством при всебічному впровадженні APS, MES, PLM-систем забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства. Авторами запропоновано означення функціональної стійкості виробничого процесу промислового підприємства. Отримано конструктивні умови функціональної стійкості виробничого процесу, які слугують підґрунтям для впровадження інформаційної системи на підприємстві, що забезпечуватиме функціонально стійкі технологічні процеси й, відтак, випуск продукції згідно встановлених еталонних вимог протягом необхідного часового інтервалу.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Собчук В.В. Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом / Системи управління, навігації та зв'язку.– Полтава: ПНТУ, 2019.
- [2] N.Lukova-Chuiko Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems IEEE 1st Int. Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) – 8-12 Oct. 2018.– Kiev, Ukraine.
- [3] Albert Arthur, Regression and the Moore-Penrose pseudoinverse. Burlington, MA: Elsevier, 1972.