

ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМИ ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

М.Г. Стародубцев¹, Д.П. Власенков², С.В. Шибанов¹

¹Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

²Криворізький фаховий коледж Національного авіаційного університету, Кривий Ріг
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, vlasenkov.d@gmail.com

Анотація. Розроблено модель фазово-траєкторного управління ТП виробництва виробів нової техніки, що дозволяє коригувати режими ТП залежно від поточного стану технологічного об'єкта. Розроблена модель фазово-траєкторного управління, адаптивна до зміни умов функціонування та характеристик процесу і працює при апіорній недостатності та/або нечіткості інформації.

Ключові слова: модель управління, фазово-траєкторне управління, технологічний процес, технологічні режими, технологічний об'єкт, невизначеність умов.

OPERATIONAL CONTROL OF MANUFACTURING PROCESS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Mykola Starodubcev¹, Dmytro Vlasenkov², Serhii Shybanov¹

¹Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv

²Kryvyi Rih professional college of National aviation university, Kryvyi Rih
Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauki Ave.

E-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, vlasenkov.d@gmail.com

Abstract. The model of phase-trajectory control of technological processes of production of new equipment products has been developed, which allows adjusting the modes of technological processes depending on the current state of the technological object. A model of phase-trajectory control has been developed, which is adaptive to changes in operating conditions and process characteristics and works in a priori insufficiency and/or fuzzy information.

Keywords: control model, phase-trajectory control, technological process, technological modes, technological object, uncertainty of conditions.

В даний час посилюється тенденція до переходу на дрібносерійне багатонаменклатурне виробництво. Виготовлення виробів дрібними партіями з широким діапазоном розмірів та властивостей веде до того, що зростає частота заміни налаштувань (параметрів технологічних операцій, режимів роботи обладнання), підвищуються вимоги до гнучкості моделі налаштувань. Модель при цьому доводиться розробляти на основі обмеженого обсягу зашумлених експериментальних даних і дуже розпливчастої апіорної інформації про статистичні характеристики доданих збурень. У багатьох випадках зазначені труднощі посилюються наявністю дрейфу характеристик ТО.

Автоматизовані системи управління ТП, більшість з яких ґрунтуються на використанні статистичних моделей, виявляються малоефективними в період освоєння нових виробів. Статистичні моделі за своєю природою дуже чутливі до змін умов експерименту, та їх адекватність можна гарантувати лише за умов, у яких вони будувалися.

В результаті технолог, як правило, позбавлений підтримки АСУТП і витрачає значний час на підбір режимів при виготовленні дослідних партій та збирання статистичних даних у найгостріший момент – момент освоєння нових процесів. Таким чином, задача розробки моделей адаптивного керування ТП в умовах дрібносерійного багатонаменклатурного виробництва є актуальною.

Для скорочення термінів розробки та впровадження виробів нової техніки необхідно вже на етапі проектування створювати модель прийняття рішень, яка коригуватиметься та

доповнюватиметься в ході налагодження ТП та концентруватиме досвід виготовлення конкретного виробу. Модель повинна містити та уточнювати вимоги до базового ТП, забезпечувати розрахунок управління процесом під час виготовлення виробу, працювати в умовах обмеженого обсягу зашумлених експериментальних даних. Пропонований підхід дозволяє врахувати зазначені вимоги до моделі прийняття рішень.

В умовах дрібносерійного багатомономенклатурного виробництва джерелами невизначеності, що утруднює вибір того чи іншого варіанту управління, є наступні фактори: недостатній обсяг наявної інформації, що не дозволяє застосувати статистичні методи відпрацювання технології; неможливість точного визначення фазових координат (так, при групових способах обробки, поширених у приладобудуванні, визначення середнього значення параметра для всієї партії виробів носить лише оціночний характер); неможливість абсолютно точної реалізації обраного керування на цеховому устаткуванні.

Технологічний процес розглядатимемо як багатостадійну систему з послідовним переходом з одного стану в інший по деякій траєкторії. У зв'язку з цим розробку алгоритмів оптимального управління процесом слід розглядати як єдину процедуру наскрізного проектування [1].

Задачу розробки моделі управління ТП сформулюємо в такий спосіб – для вихідних станів об'єкта виготовлення, що визначаються на контрольній операції, та станів, що вимірюються на проміжному контролі, потрібно підібрати управління u_i ($i=0, \dots, N-1$), тобто режими ТП, так, щоб вихідні характеристики виробу мінімально відрізнялися від цільових.

Розробка моделі починається з оцінки можливості використання режимів базової технології для приладу, що виготовляється. Вибір базової технології означає, що задана послідовність керованих операцій та визначені обмеження на керуючі змінні. Вибір аналога, тобто приладу, найбільш близького до проектного за своїми характеристиками і реалізованого на цій базовій технології, визначає початкові обмеження стану, які можуть бути переглянуті в подальшому. Зазначимо, що поставлена задача лише формально збігається з традиційною задачею оптимального управління. Відмінність полягає в тому, що в традиційній задачі управління значення початкових фазових координат відомі з точністю до похибки вимірювань, у той час як у задачі синтезу початкові значення фазових координат заздалегідь не відомі, оскільки величини вихідних параметрів можуть випадково приймати значення з допустимого діапазону. Це, своєю чергою, призводить до помилки у виборі управління.

Поставлена задача відноситься до класу багатокрокових, де отримання інформації про хід процесу та управління ним здійснюються в дискретні моменти часу. У сучасній теорії управління [2] цю проблему зазвичай вирішують методом динамічного програмування у два етапи: побудова оптимальної траєкторії; синтез управління, що реалізує траєкторію.

Можливість поділу етапів спирається на припущення про малість збурень, що впливають на перебіг процесу.

Враховуючи, що на практиці виробники завжди прагнуть розширити допуски на вихідні параметри матеріалів, допущення про малість обурень стає неправомірним, а побудова єдиної оптимальної траєкторії недоцільною.

Наявність єдиної траєкторії, тобто застосування фіксованих режимів вимагає посилення допусків на вихідні матеріали, які заводи-постачальники часто не в змозі задовольнити. Незважаючи на постійне поліпшення властивостей вихідних матеріалів, вдосконалення методів та засобів контролю їх параметрів, у виробництві виробів нової техніки, як правило, наявні неоднорідні характеристики об'єктів, особливо у групових ТП.

У цих умовах технолог змушений або збільшувати брак за рахунок заготовок, які не потрапили до зони допустимого фіксованого режиму, або переходити до корекції режимів. У загальному випадку корекція режимів дозволяє розширити допуск на параметри вихідних матеріалів, оскільки за рахунок підбору режимів та їх корекції можна привести процес, що відхилився на попередніх операціях від розрахункової траєкторії, всередину цільового інтервалу.

У зв'язку з цим на етапі відпрацювання ТП поставлену екстремальну задачу доцільно ставити як задачу фазово-траєкторного управління [3, 4]. І лише після того, як розробник переконається в тому, що випуск приладів з необхідними властивостями можливий для широкого діапазону вихідних станів і режимів операцій, можна ставити задачу оптимізації процесу за часом виробничого циклу, вартості і т.д., використовуючи для її вирішення стандартні та евристичні методи оптимізації.

В основу опису багатоетапної задачі прийняття рішень покладемо нечітке відображення $f: X \times U \rightarrow X$, де X – простір станів, U – простір стратегій (послідовностей управління, що переводять об'єкт з початкового стану в кінцевий).

Будь-який стан, у тому числі початковий і кінцевий, представимо випуклою нечіткою підмножиною. Таким чином, базовий ТП визначається послідовним переходом з одного нечіткого стану до іншого

$$X_0 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow \dots \rightarrow X_N.$$

Стан X_k визначається вектором контрольованих параметрів $\{x_j\}_{j=1}^{L_k}$ на k -му етапі ТП.

Модель управління на k -му етапі ТП будемо на основі методу формування моделі управління ТО. Відповідно до цього методу множина експериментальних даних за конструктивними параметрами розбивається на n_k нечітких кластерів, відповідних n_k можливих режимів ТП на k -му етапі.

Процедура розбиття на нечіткі кластери працює навіть тоді, коли кількість експериментальних даних менша за кількість кластерів. Однак у разі крайньої обмеженості даних по конструктивним параметрам і наявності даних з управлінь можна застосувати наступний підхід.

Використовуючи модель ТП у просторі станів [5,6] утворюємо нечіткі відносини у просторі $X \times U \times X$, що є формалізованим уявленням стратегій управління і характеризуються матрицями нечітких відносин R_k , такими, що

$$X_{k+1} = R_k \circ X_k,$$

де \circ – операція максимінного добутку.

Таке представлення адаптивне до зміни конструктивних параметрів, структури об'єкта, що управляється, а також до зміни режимів ТП. Для n_k можливих режимів ТП на k -му етапі будемо сукупність $\{R_{k,i}\}_{i=1}^{n_k}$, $k = 0, \dots, N-1$, для якої виконується:

$$X_{k+1,i} = R_{k,i} \circ X_k.$$

Шляхом «зворотної прогонки» отриманого рішення, починаючи з X_N , визначаємо сукупності $\{X_{k,i}\}_{i=1}^{n_k}$ допустимих станів системи на кожному етапі:

$$X_{k,i} = R_{k,i}^{-1} \circ X_{k+1}.$$

де $R_{k,i}^{-1}$ – відношення зворотне до $R_{k,i}$.

Нехай μ_x – ФП нечіткого стану $X_{k,i}$. Технологічні обмеження на конструктивні параметри також задаються відповідною ФП μ_c . Тоді допустиме рішення $D_{k,i}$ на k -му етапі можна визначити наступним чином:

$$\mu_D = \mu_x * \mu_c.$$

де $*$ – деяка бінарна операція, конкретний вид якої визначається, виходячи з особливостей ТП.

Допустиме рішення $D_{k,i}$ забезпечує отримання необхідних значень вихідних параметрів шляхом перерозподілу конструктивних та технологічних запасів. Таким чином, замість однієї траєкторії отримуємо множину допустимих траєкторій

$$\{D_{0,i}|R_{0,i}\}_{i=1}^{n_0} \rightarrow \{D_{1,i}|R_{1,i}\}_{i=1}^{n_1} \rightarrow \dots \rightarrow \{D_{k,i}|R_{k,i}\}_{i=1}^{n_k} \rightarrow \dots \rightarrow X_N.$$

Нехай на k -му етапі ТП реальний стан системи визначається нечіткою множиною Y_k з відповідною ФП μ_y . Алгоритм управління полягає у визначенні найбільш близької до стану Y_k допустимої траєкторії та вироблення відповідного керуючого впливу.

Як міру близькості можна взяти відносну відстань між двома нечіткими множинами, наприклад, хеммінгову відстань (лінійну) [7,8]:

$$\delta(Y_k, D_{k,i}) = \frac{1}{L_k} \sum_{j=1}^{L_k} |\mu_Y(x_j) - \mu_D(x_j)|,$$

або евклідову відстань (квадратичну):

$$e(Y_k, D_{k,i}) = \frac{1}{L_k} \sqrt{\sum_{j=1}^{L_k} (\mu_Y(x_j) - \mu_D(x_j))^2}.$$

$$0 \leq \delta, e \leq 1.$$

Визначаємо допустиме рішення $D_{k,i}^*$ із умови $\min d(Y_k, D_{k,i})$, $i = 1, \dots, n_k$, де як відносну відстань d між μ_Y і μ_D можна взяти δ або e . В якості оптимального вибираємо управління, що визначається нечітким відношенням $R_{k,i}^*$, відповідним $D_{k,i}^*$.

Запропонована модель побудови сімейства траєкторій дозволяє керувати ТП в режимі реального часу. Якщо базова траєкторія відома, і через будь-які причини (зовнішні збурення) стан системи виявився відмінним від передбачуваного, то вибирається нова траєкторія, яка приведе нашу систему в ціль або її околиці. Алгоритм управління зводиться до поетапної корекції режимів ТП шляхом мінімізації різниці між поточним станом та допустимим рішенням на даному етапі.

Особливістю запропонованої моделі фазово-траєкторного управління ТП є принципова можливість проектування стратегій управління відразу для декількох потенційно можливих груп виробів, що дозволяє в умовах багатомономенклатурного виробництва виділити загальні для всіх груп етапи процесу. Використання моделі дозволяє скоротити кількість вироблюваних управлінь, а також вирішувати питання щодо доцільності коректування режимів тих чи інших операцій.

ВИСНОВКИ. Задача оперативного управління ТП виробництва в умовах невизначеності сформульоване як завдання траєкторного управління. Розроблено модель фазово-траєкторного управління ТП, призначену для вибору та коригування технологічних режимів залежно від поточного стану контрольованого ТООУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник. Харків: ФОП Панов А.М., 2021. 604 с.
2. Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д. Методи сучасної теорії управління. Київ: Ліра-К, 2018. 368 с.
3. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И., Филатов В.А., Гасик М.М., Куцин В.С. Интеллектуальное управление технологическими процессами: монография. Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2013. 213 с.
4. Павленко П. М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. 280 с.
5. Герасимов О.І. Фізика складних нерівноважних систем та процесів: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2022. 187 с.
6. Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усов А.В. Моделювання та оптимізація систем: підручник Вінниця : ПП «ГД«Едельвейс», 2017. 804 с.
7. Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Ус С.А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: за редакцією С.А. Ус; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с.

8. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Кожевніков Г. К. Методи аналізу систем і прийняття рішень в умовах невизначеності: підручник. Харків : Факт, 2023. 256 с.
9. Svitlana Maksymova, Vladyslav Yevsieiev, & Amer Abu-Jassar. (2024). Gripping Device Development: Some Aspects. *Journal of Universal Science Research*, 2(1), 150–158.
10. Vladyslav Yevsieiev, Samariddin, S. M., Nikolay Starodubtsev, & Amer Abu-Jassar. (2024). ACTIVE CONTOURS METHOD IMPLEMENTATION FOR OBJECTS SELECTION IN THE MOBILE ROBOT'S WORKSPACE. *Journal of Universal Science Research*, 2(2), 135–145.
11. Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), P. 648-651.
12. Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // *Scientific Collection «InterConf»*, (141), P. 331-334.
13. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2023). An Automatic Assembly SMT Production Line Operation Technological Process Simulation Model Development. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.01>
14. A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // *International independent scientific journal*, №47, 2023. P.18-28.
15. Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>
16. Yevsieiev V. Development of A System for the Production Process Monitoring Using Telegram Bot / V. Yevsieiev, S. Maksymova, S. Starikova // *The III International Scientific and Theoretical Conference “The Current State of Development of World Science: Characteristics and Features”* August 5, 2022. Lisbon, Portuguese Republic. P. 70-72.
17. Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // *Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2)*, June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56