

## ВИБІР КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ НА ОСНОВІ ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ

**Г.С. Макаренко, М.Г. Стародубцев, С.В. Шибанов**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: [hennadii.makarenko@nure.ua](mailto:hennadii.makarenko@nure.ua), [nikolaj.starodubcev@nure.ua](mailto:nikolaj.starodubcev@nure.ua), [serhii.shybanov@nure.ua](mailto:serhii.shybanov@nure.ua)

**Анотація.** У рамках вирішення задач управління ТП отримали подальший розвиток теорія нечітких множин і теорія прийняття рішень. Розроблено теоретичні основи управління ТП виробництва РЕА в умовах невизначеності, що включають методи ідентифікації технологічних об'єктів та вибору оптимальних керуючих впливів.

**Ключові слова:** управління ТП, керуючі впливи, оперативна ідентифікація, технологічний об'єкт, невизначеність умов.

## SELECTION OF CONTROL ACTIONS BASED ON OPERATIONAL IDENTIFICATION OF THE TECHNOLOGICAL OBJECT

**Hennadii Makarenko, Mykola Starodubcev, Serhii Shybanov**

Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauki Ave

E-mail: [hennadii.makarenko@nure.ua](mailto:hennadii.makarenko@nure.ua), [nikolaj.starodubcev@nure.ua](mailto:nikolaj.starodubcev@nure.ua), [serhii.shybanov@nure.ua](mailto:serhii.shybanov@nure.ua)

**Abstract.** Within the framework of solving the problems of controlling technological processes, the theory of fuzzy sets and the theory of decision-making were further developed. Theoretical bases of control of technological processes of production of radio-electronic devices in conditions of uncertainty have been developed, including methods of identification of technological objects and selection of optimal control actions.

**Keywords:** process control, control effects, operational identification, technological object, uncertainty of conditions.

**ВСТУП.** Керування ТП – комплекс заходів, що забезпечують підвищення ефективності виробництва РЕА відповідно до обраного критерію (критеріїв) оптимальності при заданих технологічних та інших виробничих обмеженнях. Комплекс заходів складається зі збору, обробки та аналізу інформації про ТП і здійснення на основі цієї інформації контролю і регулювання ТП за допомогою засобів автоматизації і методів організації та управління виробництвом з використанням обчислювальної техніки.

При управлінні ТП необхідно задовольняти кільком, часто суперечливим вимогам, основними з яких є взаємопов'язані вимоги до економічних характеристик, якості виробів, що випускаються РЕА і продуктивності обладнання [1].

Складність ТП і технологічних об'єктів, взаємозв'язок якості і продуктивності при управлінні ТП, інтеграція ТП і пристроїв управління обумовлює необхідність системного підходу до розробки методів і засобів управління ТП. В основі такого підходу лежить уявлення ТП і пристроїв управління як єдиної системи, що передбачає можливість описувати єдиною мовою як об'єкт управління і його функціонування, так і процедуру управління ним, відображати не тільки кількісні факти і співвідношення, що характеризують об'єкт управління, але і якісні знання технолога. При цьому системний підхід реалізується тільки на єдиній інформаційній і математичній основі.

Реалізація методів управління спирається на використання обчислювальної техніки, а їх теоретичною основою є сучасна теорія управління, що включає теорію оптимального

управління, теорію ідентифікації та оцінювання станів, теорію адаптивного управління. Розглянемо застосування положень цих теорій до вирішення задач управління ТП виробництва РЕА в умовах невизначеності.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Системний підхід до управління технологічними процесами (ТП) розглядає ТП та пристрої управління як єдину систему – систему управління. Відповідно в комплексі мають розглядатися питання ідентифікації технологічного об'єкту (ТО) та вибору керуючих впливів. До особливостей ідентифікації ТО слід віднести необхідність постійного коригування параметрів математичних моделей внаслідок неоднорідності вихідних матеріалів, шумів та дрейфу характеристик технологічного обладнання. Специфіка ТП обумовлює такі особливості алгоритмів управління:

- реалізація алгоритмів управління у реальному масштабі часу;
- виробнича адаптація рішення, зв'язана з неможливістю точного визначення фазових координат.

Вимога адаптації, тобто уточнення та оновлення алгоритму управління на підставі інформації, що отримується у процесі функціонування ТО, призводить до того, що ідентифікація та керування ТО повинні здійснюватися по черзі. В результаті задача ідентифікації ТП як об'єкта управління не може розглядатися ізольовано від задачі управління [2].

Необхідність реалізації алгоритмів управління в реальному масштабі часу вимагає, в свою чергу, ідентифікації в реальному часі.

Ідентифікація ТО реалізована у реальному масштабі часу, служить для перерахунку керуючих впливів. У цьому випадку послаблюються вимоги до точності математичної моделі, а виміряні вхідні та вихідні змінні можуть бути використані для знаходження параметрів керування.

Модель ТО у просторі станів представимо у вигляді нечіткого відношення  $R(\tilde{X}, \tilde{U}, \tilde{Y})$ , заданого на декартовому добутку  $X \times U \times Y$ , де  $X$  та  $Y$  – множина значень вхідного та вихідного параметрів,  $U$  – множина значень керуючих впливів,  $\tilde{X}, \tilde{U}, \tilde{Y}$  – нечіткі множини, визначені на  $X, U, Y$  – відповідно.

Нечітке відношення  $R$  визначається на основі наявної апіорної інформації про стани ТО і будується з використанням максимінної композиції.

Таким чином, маємо

$$\tilde{y} = (\tilde{x} \times \tilde{u}) \circ R, \quad (1)$$

де  $\tilde{x} \in \tilde{X}$ ,  $\tilde{y} \in \tilde{Y}$ ,  $\tilde{u} \in \tilde{U}$ .

Задача управління полягає у наступному. Нехай задані значення вхідного параметра  $\tilde{x}^* \in \tilde{X}$  та вихідного параметра  $\tilde{y}^* \in \tilde{Y}$ . Потрібно підібрати таке керування  $\tilde{u}^* \in \tilde{U}$ , щоб виконувалася умова:

$$\tilde{y}^* - \tilde{y}' \rightarrow 0, \quad (2)$$

де  $\tilde{y}' \in \tilde{Y}$  і визначається з використанням моделі (1) за заданими  $\tilde{x}^*$ ,  $\tilde{u}^*$ .

За заданим  $u^*$  збудуємо з використанням  $\alpha$ -композиції [3] нечітку поверхню  $x \times u$ :

$$\tilde{x} \times \tilde{u} = R \alpha \tilde{y}^*.$$

Якщо інформації про об'єкт накопичено достатньо і побудована модель адекватна ТО, то знайдене управління  $\tilde{u}'$  приведе до  $\tilde{y}'$ , досить близькому до  $\tilde{y}^*$  в сенсі (2). Тоді в якості  $\tilde{u}^*$  можна взяти  $\tilde{u}'$  і на цьому процедура вибору керуючого впливу закінчується.

Якщо інформації про ТО недостатньо і нас не задовольняє точність визначення  $\tilde{y}'$ , то процедура триває з метою коригування знайденого значення  $\tilde{u}'$  і моделі (1). Не применшуючи спільності, вважаємо, що  $y' < y^*$ , де  $y', y^*$  – чіткі значення  $\tilde{y}'$  і  $\tilde{y}^*$ . Припускаючи залежність  $u(y)$  на інтервалі  $[y', y^*]$  лінійною (при заданому  $x^*$ ), отримуємо

$$\tilde{u}^* = \tilde{u}' \pm \Delta \tilde{u} \quad , \quad (3)$$

$$\text{де } \Delta \tilde{u} = \tilde{u}' \left( \frac{\tilde{y}^*}{\tilde{y}'} - 1 \right).$$

Вибір знака (3) визначається властивостями конкретного ТП виробництва РЕА. Зауважимо, що всі операції в (3) – операції над нечіткими множинами.

За допомогою  $\alpha$ -композиції обчислюємо верхню грань нечіткого відношення

$$R^* = (\tilde{x}^* \times \tilde{u}^*) \alpha \tilde{y}^*.$$

і коригуємо нечітке відношення  $R$ , отримане на попередньому етапі:

$$R_{\text{кор}} = R \cap R^*.$$

Чітке значення управління  $u^*$  отримуємо зі знайденого  $\tilde{u}^*$  за допомогою одного із стандартних методів дефазифікації [4].

Швидкість збіжності даної процедури визначається, зокрема, похибкою лінеаризації залежності  $u(y)$  на інтервалі  $[y', y^*]$ . Однак постійна корекція нечіткого відношення призводить до того, що інтервал  $[y', y^*]$  на кожному кроці ітерації звужується, отже, похибка лінеаризації прагне до нуля.

Запропонований метод вибору керуючих впливів на основі оперативної ідентифікації ТО простий в реалізації і може бути поширений на багатовимірний випадок. Оперативне коригування нечіткого відношення  $R$  підвищує точність моделі (1) і дозволяє вибирати керуючий вплив із заданою точністю в режимі реального часу.

**ВИСНОВКИ.** Метод вибору керуючих впливів на основі оперативної ідентифікації технологічного об'єкта реалізує підхід, що дозволяє вибирати керуючі дії і коригувати заданий у вигляді нечіткого відношення зв'язок між входом і виходом об'єкта в режимі реального часу.

Розроблений метод призначений для використання в умовах апріорної недостатності та/або нечіткості наявної інформації про функціонування технологічних об'єктів і властивості зовнішніх впливів

## ЛІТЕРАТУРА

1. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 2: підручник. Кривий Ріг: видавець Чернявський Д.О., 2022. 424 с.
2. Букетов А.В. Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів та систем: навчальний посібник. Тернопіль: СМП „Тайп“. 2009. 260 с.
3. Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Ус С.А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: за редакцією С.А. Ус. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с.

4. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Кожевніков Г. К. Методи аналізу систем і прийняття рішень в умовах невизначеності: підручник. Харків: Факт, 2023. 256 с.

5. Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation.

6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., & Ahmad, M. A. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development.

7. Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2024). Study of Methods of Dynamic Description of The Environment for Collaborative Robots-Manipulators in the Concepts of Industry 5.0 (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers «SCIENTIA»).

8. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.

9. Gurin, D., & et al. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.

10. Yevsieiev, V., & et al. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.

11. Gurin, D., & et al. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.

12. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.

13. Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473.

14. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024

15. Abu-Jassar A. Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A\*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations / Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, S. Maksymova, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2024. – V. 72(11). – P. 294-306.

16. Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.

17. Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Diversity and Inclusion in Scientific Area»*, Value 140, P.648-651

18. Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). Comparative Analysis of the Basic Methods Used in Industry 4.0 and Industry 5.0. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (Bologna, Italy), 113–115. <https://doi.org/10.36074/logos-29.09.2023.31>

6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., & Ahmad, M. A. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development.