ТИПОЛОГІЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

М.Г. Стародубцев[1], Д.П. Власенков[2], К.О. Харченко[1]
[1]Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
[2]Криворізький фаховий коледж Національного авіаційного університету, Кривий Ріг
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, vlasenkov.d@gmail.com

Анотація. Розглянуто методологічні аспекти застосування теорії нечітких множин в управлінні ТП виробництва РЕА, що стосуються надійності, точності та стійкості одержуваних рішень. Запропоновано метод формалізації нечітких понять на основі об'єктивного ймовірнісного підходу, що дозволяє підвищити надійність результатів моделювання.

Ключові слова: модель управління, технологічний процес, технологічний об'єкт, невизначеність умов, імітаційне моделювання, нечітка класифікаційна модель.

TYPOLOGY OF PROCESS CONTROL MODELS UNDER UNCERTAINTY CONDITIONS

Mykola Starodubcev[1], Dmytro Vlasenkov[2], Kyrylo Kharchenko[1]
[1]Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv
[2]Kryvyi 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. Methodological aspects of application of fuzzy sets theory in REA production TP control are considered, concerning reliability, accuracy and stability of the obtained solutions. The method of formalization of fuzzy concepts on the basis of objective probabilistic approach is proposed, which allows to increase reliability of simulation results.

Keywords: control model, technological process, technological object, uncertainty of conditions, simulation, fuzzy classification model.

Побудова моделей управління технологічними процесами (ТП) виробництва радіоелектронної апаратури (РЕА) є основою розробки систем управління, передумовою створення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП), гнучких виробничих систем (ГВС). Загальний розгляд питань управління ТП із позицій системного підходу виявляє необхідність використання при аналізі та синтезі систем управління широкого кола математичних моделей різного призначення. При аналізі та синтезі ТП з метою вибору їх оптимальних параметрів для отримання продукції необхідної якості та кількості в центрі уваги знаходяться управляючі впливи.

Зазвичай модель управління будується на основі моделі функціонування ТП, при цьому передбачається розчленування ТП на послідовно-паралельні гілки з просторово-часовим поділом функцій кожної з них та відповідним узгодженням у часі. Призначення такої моделі управління полягає в тому, що вона дозволяє виявити аварійні режими функціонування технологічного обладнання та передбачити своєчасне автоматичне вимкнення його при необхідності.

Потужний розвиток обчислювальної техніки, у тому числі і нечіткого апаратного та програмного забезпечення, та її застосування в управлінні ТП стимулює розробку нових класів математичних моделей управління. Тут також доречно згадати і про експлуатаційні моделі управління технологічними об'єктами (ТО). Це, перш за все, модель надійності ТО, аналіз якої дозволяє регламентувати час його роботи, графіки ремонтів та профілактичних заходів, враховувати природні деградаційні процеси.

Дуже часто при управлінні ТП ми маємо справу з невизначеністю різних видів та причин виникнення. У цих умовах однією з основних вимог до моделі є можливість адаптації до умов, що змінюються, і здатність до навчання. Однак, адекватних аналітичних методів побудови таких моделей на сьогоднішній день немає.

При розробці алгоритмів управління ТП широке поширення отримало імітаційне моделювання, яке, в силу своєї гнучкості, є більш адекватним інструментом дослідження складних систем і процесів, ніж аналітичні методи. Суть імітаційного моделювання полягає у створенні спеціального алгоритму, реалізуючи який на ЕОМ, можна відтворити досліджуваний процес за елементами (у формалізованому вигляді) із збереженням логічної структури та послідовності перебігу процесу. У цьому випадку всі реальні операції з їх фізико-хімічним вмістом замінюються абстрактними, що виконують функції перетворювача параметрів виробів.

Процес імітації включає такі етапи:

- складання змістовного опису ТП. Воно проводиться на основі його ґрунтовного вивчення. За відсутності реального об'єкта чи неможливості проведення на існуючому об'єкті експериментів використовуються накопичений досвід та результати спостережень за процесами аналогічного призначення. Змістовий опис дозволяє: скласти ясне уявлення про фізичну природу та кількісні характеристики ТП; розчленувати ТП на ТО та найпростіші елементи, визначити їх показники та параметри; скласти схему взаємодії елементів в операції, а операцій у ТП; визначити закономірності зміни показників ТП при зміні його параметрів; сформулювати постановку задачі, початкові та граничні умови;

- побудова формалізованої схеми. На цьому етапі уточняються кількісні характеристики ТП і дається суворе математичне визначення всіх залежностей між показниками і параметрами ТП, його окремих елементів. Отримані на попередньому етапі експериментальні дані піддаються систематизації з урахуванням випадкового характеру їх отримання. На закінчення встановлюється точне математичне формулювання задачі дослідження;

- складання моделюючого алгоритму проводиться на основі побудови математичної моделі. Моделюючі алгоритми найчастіше представлені у вигляді схеми, де кожен блок зображує досить велику групу елементів ТП, а зв'язки між блоками відображають логічну структуру ТП;

- "прогон" моделі і аналіз результатів моделювання. Кількість реалізацій процесу моделювання розраховується виходячи з заданої точності представлення результатів. При цьому отримані результати справедливі при фіксованих значеннях параметрів процесу, вхідної інформації та початкових умовах. При зміні вихідних даних, як мінімум, необхідні нові «прогони» моделі або внесення змін до моделюючого алгоритму. Все це вимагає певних витрат, і насамперед, часових.

Таким чином, в силу своєї специфіки, імітаційні моделі, хоч і можуть адаптуватися в певних межах до умов, що змінюються, проте сам процес адаптації і видача результату моделювання, за винятком тривіальних випадків, не може відбуватися в режимі реального часу.

В умовах невизначеності, коли не ставиться задача роботи моделі в режимі реального часу, а для отримання відсутньої інформації можуть бути використані накопичений досвід і результати спостережень за процесами аналогічного призначення, імітаційне моделювання можна використовувати для створення моделей, як окремих технологічних операцій, так і ТП в цілому, з метою знаходження або перевірки законів управління, а також для оцінки змінних стану ТО, що не піддаються вимірюванню, або передбачення його станів стосовно реального управління.

Більшою адаптивністю до зміни параметрів ТО та умов його функціонування володіють порівняно з імітаційними нечіткі моделі. Їх використання дозволяє організувати процес прийняття рішень при управлінні ТП в умовах реального часу.

Для автоматизації вирішення слабо формалізованих задач управління у виробництві РЕА найчастіше використовуються два типи нечітких моделей: нечіткі класифікаційні моделі типу

"ситуація-дія" [1, 2] та нечіткі моделі на основі композиційних схем виводу [3-5].

Нечіткі класифікаційні моделі використовуються при управлінні ТП виробництва РЕА, де множина керуючих рішень обмежена і невелика (3-5 управлінь). Такі задачі, наприклад, часто зустрічаються під час контролю виробів. У цьому випадку використовуються 2-3 типи рішень (придатний виріб, брак остаточний, брак, що виправляється і т.д.). У деяких задачах оперативно-диспетчерського управління множина можливих управлінь також часто буває обмеженою і відносно невеликою (надіслати виріб на доопрацювання по одному з кількох технологічних маршрутів, запустити одну з кількох партій заготовок, вибрати один з режимів управління ТП).

Нечіткою класифікаційною моделлю називається трійка (*W*,*P*,*U*), в якій $W = X \times Y \times \cdots \times Z$ – багатовимірний простір ознак-факторів, що найбільш істотно впливають на вибір керуючих рішень; $P = \{P_1, P_2, \dots, P_q\}$ – розбиття *W* на нечіткі еталонні класи P_s, $s = 1,2,\dots,q$; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_q\}$ – множина керуючих рішень u_s, відповідних класам P_s.

Для побудови нечітких класифікаційних моделей шляхом опитування експертів або, виходячи із змістовного аналізу задачі, виділяється множина ознак-факторів *X*, *Y*,..., *Z*, які, на думку фахівців-експертів, найбільш суттєво впливають на вибір рішень $u_s \in U$, $s = 1,2,\dots,q$, і формується простір $W = X \times Y \times \cdots \times Z$. Цей етап є неформальним і залежить від предметної області, критеріїв управління, кваліфікації фахівців-експертів. Однак у більшості випадків знаходження ознак не становить особливих труднощів, оскільки вони виявляються відразу при осмисленні задачі, її формалізації, виділенні цілей та критеріїв. Наприклад, у задачах управління витрачанням запасів такими ознаками можуть бути *X* – обсяг запасів, *Y* – клас точності виробу, що випускається, *Z* – планований обсяг випуску.

З кожною з виділених ознак спеціаліст-експерт (майстер чи технолог) пов'язує деяку лінгвістичну зміну *A,B,...,C* зі своїми значеннями $\{a_i\}, i = 1,\dots,m$; $\{b_j\}, j = 1,\dots,n$; $\{c_k\}, k = 1,\dots l.$ Для цих лінгвістичних значень будуються функції належності $\mu_i(x), \mu_j(y), \mu_k(z)$ на відповідних базових шкалах *X*, *Y*,..., *Z*.

Якісна структура моделі управління будується у вигляді рішаючої таблиці. Рядки таблиці відповідають різноманітним наборам $(a_i, b_j, \cdots, c_k)$. лінгвістичних значень змінних *A*,*B*,...,*C*. Стовпці таблиці позначені символами лінгвістичних змінних *A*,*B*,…,*C*. Останній стовпець позначений символом *U*. У стовбцях *A*,*B*,... ,*C* проставлені різноманітні набори $(a_i, b_j, \cdots, c_k)$ лінгвістичних значень. Для кожного такого набору в стовпці *U* спеціаліст-експерт проставляє одне з можливих керуючих рішень $u_s \in U$, яке він прийняв би в ситуації, словесно описаній відповідним набором. Цей крок є неформальним і залежить як від специфіки завдання, так і від кваліфікації експертів.

На заключному етапі будується нечітка класифікаційна модель (*W*,*P*,*U*) , в якій $W = X \times Y \times \cdots \times Z$, $P = \{P_1, P_2, \dots, P_q\}$, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_q\}$. Кожен нечіткий клас P_s розбиття *P* характеризується ФП $\mu_s(x, y, z)$, що задається нечіткою логічною формулою:

$$\mu_s(x, y, \dots, z) = \bigvee_{(a_i, b_j, \cdots, c_k) \in L_s} \mu_i(x) \wedge \mu_j(y) \wedge \cdots \wedge \mu_k(z),$$

де L_s – множина наборів $(a_i, b_j, \cdots, c_k)$, яким у рішаючій таблиці відповідає рішення u_s, $s = 1,\dots,q$;

V – знак операції max.

Нехай ситуація, що характеризує стан ТП, представлена точкою $w_0 = (x_0, y_0, \dots, z_0)$ у просторі *W*. Тоді алгоритм вироблення керуючого рішення на основі нечіткої класифікаційної моделі зводиться до наступної формальної процедури:

- підставимо точку $w_0 = (x_0, y_0, \dots, z_0)$ у ФП еталонних класів $\mu_s(x, y, z)$ і обчислимо значення $\mu_s(x_0, y_0, \dots, z_0)$, $s = 1,\dots,q$;

- знайдемо $s = s_0$, таке, що

$$\mu_{S_0}(x_0, y_0, \dots, z_0) = \max_{S} \mu_S(x_0, y_0, \dots, z_0)$$;

- приймаємо рішення u_{S_0}, що відповідає еталонному класу P_{S_0}.

Слід зазначити, що нечітка класифікаційна модель дозволяє вибирати керуюче рішення без побудови моделі ТП.

Нечіткі моделі на основі композиційних схем виводу використовують у задачах, у яких множина керуючих рішень досить велика (більш 5). При цьому модель управління описується за допомогою нечіткого відношення типу «вхід-вихід», що зв'язує можливі стани ТО з керуючими рішеннями.

Нечіткою композиційною моделлю називається трійка (*W*,*R*,*U*), в якій $W = X \times Y \times \dots \times Z$ – багатовимірний простір ознак, що найбільш істотно впливають на вибір керуючих рішень, *R* – нечітке відношення "вхід-вихід" на $W \times U$, *U* – множина управляючих рішень (у загальному випадку може бути як кінцевою, так і нескінченною множиною).

Множина ознак *W* виявляється аналогічно до того, як це робиться для нечітких класифікаційних моделей, а саме: найбільш суттєві ознаки визначаються фахівцями-експертами при формалізації задачі управління. Визначення множини керуючих впливів *U* також є неформальним етапом, проте, в більшості випадків це не представляє великої проблеми, оскільки керуючі рішення виявляються відразу при постановці задачі і визначенні цілей управління.

Найбільш відповідальним етапом розробки нечіткої композиційної моделі є побудова нечіткого відношення "вхід-вихід" *R*, що пов'язує всі можливі стани ТП (множина *W*) з керуючими рішеннями (множина *U*). Відношення *R* будується зазвичай на основі словесної, якісної інформації, представленої фахівцем-експертом, наступним чином. Експерт описує особливості функціонування ТО і алгоритм управління ним, використовуючи правила виводу виду

П:= якщо $x \in A_1$, $y \in A_2$, $z \in A_3$ то $u \in B$,

або в більш загальному вигляді

П:= якщо $x \in A_1$, $y \in A_2$, $z \in A_3$ то $u \in B$, інакше $u \in C$,

де *x* – вхідна змінна (стан ТО), *u* – вихідна змінна (керівне рішення), *A*, *B*, *C* – розпливчасті висловлювання, що характеризуються деякими лінгвістичними значеннями.

У загальному випадку модель описується експертами у вигляді системи висловлювань . Формалізованим поданням такої моделі є нечітке відношення *R* на $W \times U$, що характеризується ФП:

$$\mu_R(w, v) = \mu_R(x, y, \dots, z, u) = \bigwedge_i \mu_i(x, y, \dots, z, u).$$

де $\mu_i(x, y, \dots, z)$ – ФП нечітких відносин, що визначаються відповідно до висловлювання .

Нехай стан процесу характеризується точкою w_0 у *W*. Алгоритм управління зводиться до наступних кроків:

- у функцію $\mu_R(w, u)$ підставимо точку w_0. В результаті отримаємо функцію придатності $\mu_R(w_0, u)$ нечіткого рішення, що залежить тільки від однієї змінної;

- серед усіх $u \in U$ шукаємо таке u_0, яке доставляє максимум функції $\mu_R(w_0, u)$;

- значення u_0 вибираємо в якості шуканого керуючого рішення.

Таким чином, алгоритм управління зводиться до композиції розпливчастих відносин, одна з яких описує поточний стан процесу, а інша – модель управління.

За допомогою нечітких композиційних моделей вирішуються різні задачі оперативного планування виробництва радіотехнічних виробів, наприклад, задача вибору розмірів партій заготовок, що запускаються на вхід технологічної лінії. Вирішення цієї задачі суттєво впливає на такі важливі техніко-економічні показники, як обсяг незавершеного виробництва, загальний відсоток виходу придатних виробів, сумарні витрати на випуск виробів.

Розглянуті типи нечітких моделей формалізують досвід людини під час управління ТП. По

суті на основі подібних моделей повинні створюватися програмно-апаратні засоби, що імітують поведінку технолога. Використання інтегрованого досвіду найбільш кваліфікованих фахівців відкриває широкі можливості на шляху впровадження обчислювальної техніки в керування "важкими" з точки зору автоматизації ТП. Перспективно використання розглянутих моделей при створенні систем управління ГВС, де вони можуть застосовуватися для загальної оцінки ситуації і вироблення раціональної стратегії управління.

Важливим напрямком у моделюванні складних процесів є поєднання теорії нечітких множин з існуючими в даний час математичними моделями процесів. Для цього коефіцієнти та параметри в рівняннях подаються у вигляді нечітких множин. Так нечіткі аналоги методів математичної статистики знаходять застосування в промисловості [6,7], у сфері економіки та бізнесу [8] і можуть бути використані для вирішення задач управління в технології РЕА.

ВИСНОВКИ. Виявлено, що основними типами моделей, призначених для вирішення задач управління ТП виробництва РЕА в умовах невизначеності, є: імітаційні моделі, нечіткі класифікаційні моделі, нечіткі моделі на основі композиційних схем виводу, нечітких відносин, нечітких функціональних залежностей. Окреслено специфіку та умови застосованості кожного типу моделей. Визначено класи задач управління, які можуть бути вирішені в рамках запропонованих підходів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бех Ю. В., Слєпцов А. І. Філософські проблеми сучасного управління складними системами: ідеї, принципи і моделі : монографія. Київ: Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. – 405 с.
2. Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д. Методи сучасної теорії управління. Київ: Ліра-К, 2018. 368 с.
3. Ус С.А., Коряшкіна Л.С. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. Д. : НГУ, 2014. – 300 с.
4. Грицюк П. М., Джоші О. І., Гладка О. М. Основи теорії систем і управління: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2021. – 272 с.
5. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: навч. посіб. / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус, за редакцією С.А. Ус. – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.
6. Раскін Л. Г., Сіра О. В., Кожевніков Г. К. Методи аналізу систем і прийняття рішень в умовах невизначеності: підручник. Харків : Факт, 2023. 256 с.
7. Лєві Л.І. Інтелектуальні інформаційні технології в ідентифікації і керуванні складними технічними об’єктами в умовах невизначеності : монографія / Л.І. Лєві. – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2021. – 194 с.
8. Багатовимірний аналіз соціально-економічних систем : навчальний посібник / В. С. Пономаренко, Л. М. Малярець. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2009. – 384 с.
9. Vladyslav Yevsieiev, Nikolaj Starodubcev (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), P. 648-651.
10. 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.
11. 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
12. 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.

13. Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. *Collection of Scientific Papers «ΛΌГОΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33

14. 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.

15. Svitlana Maksymova, Vladyslav Yevsieiev, & Amer Abu-Jassar. (2024). The Bipedal Robot a Kinematic Diagram Development. Journal of Universal Science Research, 2(1), 6–17.

16. Al-Sharo, Y., Abu-Jassar, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., Maksymova, S. A Robo-hand prototype design gripping device within the framework of sustainable development, Indian Journal of Engineering, 20 2023 e37ije1673. https://doi.org/10.54905/disssi.v20i54.e37ije1673

17. Lyashenko, V., Abu-Jassar, A.T., Yevsieiev, V., Maksymova, S. Automated Monitoring and Visualization System in Production, Int. Res. J. Multidiscip. Technovation, 5(6) 2023 09-18. https://doi.org/10.54392/irjmt2362

18. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, https://doi.org/10.1155/2022/3046116

19. Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 9140156, https://doi.org/10.1155/2022/9140156

20. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906

21. Невлюдов І. Ш. BEAM робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1

22. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.