

Ладанюк А.П., Власенко Л.О.

## **РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ КЕРУВАННЯ**

**Вступ.** Сучасний етап розвитку автоматизації характеризується великою кількістю інформації, яку необхідно приймати до уваги при виробленні керувальних впливів, з однієї сторони, а також вимогами до зменшення часу на прийняття рішень – з іншої. Ці тенденції суперечать одна одній, що зумовлює стрімкий розвиток різноманітних методів сучасної теорії керування.

Згідно з останніми тенденціями системи автоматизації (СА) складних технологічних комплексів (ТК) розвиваються в трьох напрямках, зумовлених вимогами, пов'язаними зі нестаціонарністю, адаптивністю та інтелектуальністю. Особлива увага приділяється інтелектуальним СА (ІСА), при розробці яких використовуються різноманітні методики: нечітка логіка, когнітивні карти, нейронні мережі, генетичні алгоритми тощо. Перевагою даних методів є універсальність, що дозволяє застосовувати їх для об'єктів в різних галузях промисловості.

При автоматизації технологічних комплексів харчової промисловості виникає ряд специфічних задач, пов'язаних із: наявністю великої кількості підсистем (відділень), зв'язаних між собою складними структурними і функціональними зв'язками; необхідністю проведення адаптації та координації через доволі часті характерні для харчової промисловості зміни умов роботи, властивості сировини, рецептури, асортименту; необхідність розв'язання задач оптимізації з урахуванням різних критеріїв оптимальності і обмеженості автономності підсистем; ієрархічної структури, яка характеризується складністю узгодження глобальної цілі для системи в цілому і локальних підцілей для підсистем та ін. Ці питання досліджувались та опубліковані в роботах [1–3].

**Постановка задачі дослідження.** Розглядається один з сучасних методів системного аналізу – сценарно-цільовий підхід для різних ТК харчової промисловості, особливістю яких в першу чергу є тип виробництва: неперервний, періодичний, дискретний, неперервно-періодичний, неперервно-дискретний, циклічний. Характер виробництва накладає ряд особливостей і специфічних вимог до СА. Зокрема для неперервних ТК важливим є мінімізація часу на вироблення керувальної дії, а для періодичних ТК – відсутність простою обладнання.

Сценарно-цільовий підхід на основі діагностичних даних за рахунок специфічного математичного апарату дозволяє врахувати особливості розвитку ситуацій, що виникають, і завдяки застосуванню прогностичних методів передбачити наслідки від можливих варіантів рішень, для всіх означених типів виробництв.

**Методика дослідження.** Методика полягає в тому, що проводиться системний аналіз обраного ТК і за рахунок розробки множини сценаріїв можливих варіантів подій,

обирається оптимальний, що підвищує ефективність функціонування ТК.

Для всіх видів періодичних, дискретних і циклічних виробництв використання сценарно-цільового підходу не викликає жодних ускладнень, що ж стосується неперервних виробництв, то основна проблема виникає при реалізації імітаційного моделювання, що пов'язано із чітким зазначенням часу початку і закінчення операцій базового і табличного графіків і обов'язковим неухильним дотриманням розроблених графіків їх проведення.

Для розробки сучасної СА обов'язковим є оперативне оцінювання стану ТК і можливість прогнозування розвитку ситуацій та їх наслідків.

### **I. Проведення діагностичних заходів**

Керування ТК в реальному масштабі часу неможливе без оперативної оптимізації, оскільки виникає необхідність змінювати не лише матеріальні і енергетичні потоки, що відбуваються в системі, а й режими роботи підсистем, тому діагностування стану ТК є звичним і обов'язковим заходом. Найпростішим і найпоширенішим способом збору інформації для задач оперативного управління ТК – є дані, що надходять з датчиків, результати аналізів, що проводяться в лабораторіях на виробництві, результати специфічних розрахунків для визначення значень технологічних змінних, а також значення, які отримані комбінованими методами. Проблеми, що можуть виникати при цьому способі діагностування – дискретність, з якою проводиться оновлення інформації (від 0,1 с (час опитування датчиків мікропроцесорним контролером СА) до декількох годин (час, що затрачується в лабораторії на проведення хімічних реакції)) та узгодження отриманих даних для визначення оперативного стану ТК. Також не останню роль в швидкості і точності діагностування відіграє спосіб введення значень технологічних змінних, характер зміни технологічних змінних, характер їх впливу на технологічний режим в цілому, характер впливу на техніко-економічні показники.

Задачі управління ТК мають велику розмірність, що зумовлено великою розмірністю координат стану, вихідних, вхідних змінних і керувальних дій. Математичні моделі в координатах стану приводяться до вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Gw \\ y = Cx + Du + Hw + v \end{cases} \quad (1)$$

де  $x$ ,  $u$ ,  $y$ ,  $w$  – вектори координат стану, управління, вихідних змінних та збурень відповідно;  $A$ ,  $B$ ,  $G$ ,  $C$ ,  $D$  та  $H$  – функціональні матриці стану об'єкта, керування, збурення, виходу за станом, виходу за керуванням, виходу за збуренням відповідно. Ці математичні моделі дають можливість оцінити такі властивості об'єкта, як спостережність та керуваність.

Зручно для визначення стану об'єкта скористатись методами статистичної діагностики, що засновані на аналізі часових рядів. Статистичний контроль при керуванні технологічним процесом застосовується для своєчасного введення коригуючих дій. Оперативність діагностичних заходів в цьому випадку забезпечують контрольні карти, які окрім сигналу про зміни в процесі, оцінки величини зміни регульованої змінної та

частоти подібних випадків, є основою для введення коригуючих впливів з урахуванням обмежень, що вводяться на час прийняття рішень.

Для аналізу і моніторингу налагодженого процесу окремих незалежних змінних вибірок з нормальним законом розподілу застосовують контрольні карти Шухарта [4]. Особливістю карт Шухарта є побудова на одному листі контрольної карти для середнього  $\bar{X}$ , призначена для керування за кількісною ознакою, і карта стандартних відхилень  $R$ , і їх одночасний аналіз. Викиди контрольованих змінних за контрольні межі, що знаходяться на відстані  $3\sigma$  від центральної лінії ( $\sigma$  – дисперсія, для даного типу карти оцінюється середнім арифметичним ковзних розмахів) і певні варіанти порядку розташування точок відносно центральної лінії на  $\bar{X}$ -карті в поєднанні з аналізом  $R$ -карти свідчать про появу або відсутність невідповідних відхилень і необхідність введення сигналу корекції.

Для аналізу взаємозв'язаних змінних використовують карти Хотеллінга. При аналізі розраховується статистика  $T^2$  (2), що являє собою просто геометричне місце точок еліпсоїда довірчої області для двох випадкових змінних  $X$  і  $Y$  з нормальним розподілом і виражається через об'єм вибірки  $n$ , вибіркові середні і вибіркові дисперсії  $s_i(\omega)$ :

$$T^2 = \frac{ns_X^2(\omega)s_Y^2(\omega)}{s_X^2(\omega)s_Y^2(\omega) - s_{XY}^2(\omega)} \left[ \frac{(X_i - \bar{X})^2}{s_X^2(\omega)} + \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{s_Y^2(\omega)} - \frac{2s_{XY}(\omega)(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{s_X^2(\omega)s_Y^2(\omega)} \right]. \quad (2)$$

Всі значення  $T^2$ , що перевищують розраховані – свідчать про порушення контрольних умов. На рис 1. як приклад представлено карти Хотеллінга для температур ретурної пари і сокостружкової суміші в I корпусі випарної установки (ВУ) цукрового заводу. Аналізуючи їх, видно викиди для вибірок № 6, 23, 132, 139. Із наведеної карти складно зробити висновок яка із аналізуємих складових процесу дала збій, крім того, до недоліків належить і той факт, що при появі відхилення лише однієї змінної, загальне значення  $T^2$  може і не вийти за контрольну межу карти.

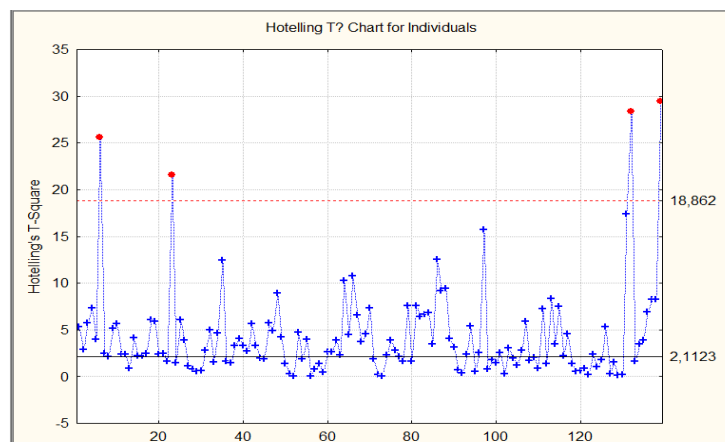


Рисунок 1 – Карти Хотеллінга для температур ретурної пари і кипіння суміші в I корпусі ВУ

При аналізі карт Хотеллінга обов'язковим є аналіз ризиків першого роду  $\alpha$ -ризиків, так званих «ризиків помилкової тривоги», що свідчать про ймовірності визнати процес розлагодженим, в той час коли все в нормі, і ризиків другого роду –  $\beta$ -ризиків, так званих «ризиків пропуску сигналу», що відповідають ймовірності прийняття рішення про правильно працюючий процес, коли він таким не являється.

Координати стану об'єкта, отримані як результат діагностичних заходів, є підставою для проведення системного аналізу ТК на основі сценарно-цільового підходу.

## II. Аналіз ТК і розробка можливих сценаріїв роботи ТК

Для підвищення ефективності функціонування ТК і побудови ієрархічної структури системи керування ним: виділяються із загального числа підсистем такі, для яких існують підзадачі оптимального керування з необхідними ресурсами; підсистеми для яких необхідно проводити оперативну координацію; прагуються час і трудомісткість діагностування стану підсистем ТК і розв'язку задач оптимізації і координації.

В першу чергу при аналізі ТК виділяють цілі, які повинні бути досягнуті в результаті виконання виділених операцій. Всі цілі направлені на підвищення ефективності роботи ТК, чітке дотримання технологічного регламенту і заданих значень регулюємих технологічних змінних, зменшення втрат під час виробництва, в тому числі проміжних, зменшення простою обладнання і поломок, зменшення часу на прийняття рішень, збільшення кількості готової продукції. Операціями є певна послідовність дій, направлена на досягнення цілей і отримання об'єктів. На основі операцій і цілей будується цільовий сценарій, як візуальне уявлення про послідовність виконання операцій, а також прослідкувати ієрархію цілей. Після цього переходять до побудови прографів – процесно-ресурсно-об'єктних графів. Фактично розробка базового і табличного прографів – є розробкою сценаріїв роботи ТК, а таблиці, що описують множини станів ресурсів і об'єктів – описом множини можливих варіантів розвитку ситуацій, які можуть виникнути при роботі системи.

Другим кроком є побудова базового прографа, що складається окрім операцій і цілей, ще й з ресурсів, об'єктів, подій і часових переходів. Він описується набором:

$$B = \langle F, T, O, R, P, S, \Theta, \gamma, \delta, \varepsilon, \pi \rangle, \quad (3)$$

де  $F, T, O, R, P, S$  – множина операцій, переходів, об'єктів, ресурсів, місць (позицій) зберігання об'єктів, подій відповідно;  $\Theta$  – час;  $\gamma, \delta$  – функція інциденцій «операції – позиції», «операції – ресурси» відповідно;  $\varepsilon$  – функція розміщення об'єктів за позиціями;  $\pi$  – функція часових міток позицій.

На базовому прографі не вказуються атрибути позицій, тому він дає лише загальне уявлення про структуру і поведінку системи. Приклад базового прографу показано в [5].

Для дослідження динаміки роботи ТК, виконавча частина якої описана прографом, проводиться деталізації базового прографа шляхом заміщення вершин, що відповідають об'єктам і ресурсам таблицями, а також введенням правил виконання операцій. При заповненні таблиць в рядки записується набір ознак, а в стовпчики – екземпляри.

Операції, що проводяться в табличному прографі поділяються на фактичні і прогнознi. При виконанні фактичної операції задають умову запуску, час виконання, умову закінчення, алгоритм корекції заповнення вхідних і вихідних таблиць. Виконанні прогнозної операції забезпечує динамічну оцінку параметрів системи на прогнозному інтервалі (чітко заданому) з обов'язковим часовим початком відліку. Приклади прогнозних і фактичних операцій табличного прографу показано в [6].

### **III. Прогнозування і прийняття рішень**

Важливим етапом при розробці СА – є визначення виробничої ситуації, що може виникнути і прийняття рішення для досягнення найкращого результату або оптимального набору рішень. В цьому випадку доцільно використовувати ситуаційний аналіз, за допомогою якого можна проаналізувати всі альтернативні рішення для досягнення поставлених цілей. Даний метод зводиться до побудови діаграми ситуацій. На діаграмі ситуацій, яка має вид дерева, вершини відображають ситуації  $S_i$ , які виникають в системі і характеризують її стан; до них підводяться цілі  $C_i$ , які необхідно досягти, для того щоб виправити можливі негативні наслідки ситуації, яка виникла, або виправити негативні сторони цієї ж ситуації; дугами позначаються альтернативні рішення  $A_i$  по досягненню цілей.

Для вибору оптимального рішення – проводиться аналіз всіх можливих варіантів розвитку ситуацій в два етапи. На першому етапі виключаються всі шляхи, що призводять до негативних ситуацій  $S_i^-$ , а на другому етапі для всіх ситуацій, що призводять до позитивних наслідків  $S_i^+$  розраховують індекс досяжності цілей. Ситуація, якій відповідає його найбільше значення – є найкращою і саме такий ланцюг рішень і ситуацій слід застосовувати [4].

**Висновки.** Використання запропонованої методики дозволить за допомогою проведення статистичного аналізу, карт Шухарта і Хотеллінга виявляти на ранніх стадіях появу технологічних відхилень при роботі ТК і вводити необхідні коригуючі впливи. Основою для корекції є базові прографи, що в явному вигляді показують взаємозв'язок між цілями, операціями, ресурсами, об'єктами, подіями і клерувальними діями СА, що використовуються для синтезу та аналізу функціонування процесу автоматизації. Прогностичні операції табличних прографів дозволяють оцінити динаміку зміни технологічних і техніко-економічних показників на інтервалі прогнозування із зазначеним горизонтом прогнозування і підвищити ефективність функціонування ТК. Ситуаційний аналіз дозволяє швидко та ефективно визначити оптимальний варіант розвитку ситуації і відповідно обрати найкраще коригуючі діяння.

### **Література**

1. Desel Jorg. What Is a Petri Net? Informal Answers for the Informed ReaderHartmut Ehrig et al. (Eds.): Unifying Petri Nets / Desel Jorg, Juhas Gabriel // LNCS 2128. – 2001. – pp. 1–25.

2. Kiingas P. Petri Net Reachability Checking Is Polynomial with Optimal Abstraction Hierarchies. / P. Kiingas // Proceedings of the 6th International Symposium on Abstraction, Reformulation and Approximation, (Airth Castle, Scotland, UK, July 26-29, 2005) – SARA, 2005.
3. Functional safety of programmable systems devices & components: Requirements from global & national standards / Matthias R. Hienze Vice President Engineering TÜV of North America, Oct – 2001.
4. Бойко Р.О. Оцінка стану складного об'єкта на основі аналізу часових рядів / Р.О. Бойко, Л.О. Власенко // Наукові праці НУХТ. – 2012. – №42. – С. 6–10
5. Власенко Л.О. Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування / Л.О. Власенко, А.П. Ладанюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2/3 (44). – С. 57–62.
6. Ладанюк А.П. Проблеми системного сценарно-цільового управління технологічним комплексом цукрового заводу / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Р.О. Бойко // Загальнодержавний підвідомчий збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 41, Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 188–194.

Bibliography (transliterated)

1. Desel Jorg. What Is a Petri Net? Informal Answers for the Informed Reader Hartmut Ehrig et al. (Eds.): Unifying Petri Nets Desel Jorg, Juhas Gabriel LNCS 2128. – 2001. – pp. 1–25.
2. Kiingas P. Petri Net Reachability Checking Is Polynomial with Optimal Abstraction Hierarchies. P. Kiingas Proceedings of the 6th International Symposium on Abstraction, Reformulation and Approximation, (Airth Castle, Scotland, UK, July 26-29, 2005) – SARA, 2005.
3. Functional safety of programmable systems devices & components: Requirements from global & national standards Matthias R. Hienze Vice President Engineering TÜV of North America, Oct – 2001.
4. Bojko R.O. Ocinka stanu skladnogo ob'ekta na osnovi analizu chasovih rjadiv R.O. Bojko, L.O. Vlasenko Naukovi praci NUHT. – 2012. – #42. – p. 6–10
5. Vlasenko L.O. Pidvishhennja efektyvnosti funkcionuvannja tehnologichnogo kompleksu cukrovogo zavodu za rahunok vikoristannja metodiv diagnostiki ta prognovuvannja L.O. Vlasenko, A.P. Ladanjuk Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2010. – #2/3 (44). – p. 57–62.
6. Ladanjuk A.P. Problemi sistemnogo scenarno-cil'ovogo upravlinnja tehnologichnim kompleksom cukrovogo zavodu A.P. Ladanjuk, L.O. Vlasenko, R.O. Bojko Zagal'noderzhavnij pidvidomchij zbirnik. Konstruvannja, virobnictvo ta ekspluatacija sil'skogospodars'kih mashin, vip. 41, Ch.1 – Kirovograd: KNTU, 2011. p. 188–194.

УДК 681.518.5: 303.732.4

Ладанюк А.П., Власенко Л.О.

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ**

В статье рассмотрено использование сценарно-целевого подхода для анализа состояния технологического комплекса (ТК), вариантов его дальнейшего поведения при ситуациях, возникающих во время работы ТК. Представленные сценарии уточняются и раскрываются в прографах, которые являются основой для имитационного моделирования. Применение полученных результатов позволит повысить качество управления подсистемами ТК.

Ladanyuk A.P., Vlasenko L.O.

**DEVELOPMENT OF EFFECTIVE SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL  
COMPLEXES AUTOMATION WITH USING METHODS OF MODERN CONTROL  
THEORY**

The usage of scenario-oriented approach for processing facility (PF) analysis, variants of its future behavior during PF operation are shown in the article. Provided scenarios are clarified and described in Prografs which are the basis for simulation. Applying of gotten results would improve control quality of the PF subsystems.