

К.т.н. Шаруда С.С., к.т.н. Ельперін І.В., Швед С.М.
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Особливістю хлібопекарського виробництва як об'єкта системного аналізу є функція не лише вироблення продукції, а й поставки її в роздрібну мережу за графіком і в заданій кількості та асортименті. Від динаміки реалізації хліба залежить добова програма хлібокомбінату, що впливає на структуру управління та планування хлібопекарського підприємства. Окрім того, в зв'язку з переходом підприємств на одно- та двозмісний режим роботи та неповний робочий тиждень виникають інші збурюючі фактори, що порушують стабільність технологічного процесу. При цьому виникають задачі вибору методів швидкої зупинки та відновлення виробництва та пов'язані з цим операції сповільнення та інтенсифікації основних процесів тістоприготування, проблема збереження споживчої свіжості виробу та інше.

Таким чином, виникає необхідність створювати моделі технологічного процесу з метою його оптимізації, які б враховували динамічний характер взаємодії різних підсистем, що утворюють багатомірну структуру, а також те, що одні й ті ж вироби можуть бути виготовлені за допомогою різних технологічних операцій.

Під час управління підприємством потрібно приймати рішення в ситуаціях, коли параметри (значення змінних), закони і закономірності її розвитку описуються якісно. Це унікальні слабо структуровані динамічні ситуації, зміна параметрів яких супроводжується змінами її структури, що важко передбачити.

Для прийняття рішень в умовах дефіциту точної кількісної інформації експерти і аналітики вимушені опиратися на власний досвід, інтуїцію і використовувати суб'єктивну модель, що пояснює структурно-функціональну організацію і динаміку розвитку ситуації, засновану на експертних оцінках і знаннях. В такому випадку динамічна система може бути представлена у вигляді «чорного ящика» з «входами» (зовнішні, управляючі дії на систему) та «виходами» (реакції, поведінка системи). При такому підході основною задачею є пошук управляючих дій, які забезпечать задану поведінку системи. Динамічна система також може бути представлена як система станів та описувати процес переходу системи з одного стану в інший. Розрізняють два типи динаміки систем: функціонування (ціль системи незмінна) та розвитку (цілі системи корегуються) [1].

Однією з важливих наукових проблем є вирішення задачі передбачення поведінки досліджуваного об'єкта в часі та просторі на основі певних знань про його початковий стан. Опис динамічної системи можливий за допомогою диференціальних рівнянь, теорії графів, теорії марківських ланцюгів та інших.

Вибір одного із способів опису задає конкретний вид математичної моделі відповідної динамічної системи. Дослідження реальних систем зводиться до вивчення математичних моделей, вдосконалення яких визначаються аналізом експериментальних та теоретичних результатів при їх співставленні. При дослідженні однієї і тієї ж динамічної системи, в залежності від врахування різних факторів будуть отримані різні математичні моделі [2].

Одним із способів представлення та аналізу динамічної системи є мережі Петрі, які дозволяють отримати інформацію про структуру та поведінку системи [3].

Моделювання мережі Петрі відбувається імітаційним чи аналітичним способом. Імітаційне моделювання полягає у визначенні послідовності станів мережі, що відповідають тій чи іншій послідовності спрацювання переходів. При аналітичному моделюванні визначаються її властивості та застосовується метод дерева досягнення цілей.

Провівши факторно-цільовий аналіз з урахуванням думки експертів, проаналізувавши атомарні зовнішні цілі і фактори та вибравши із них найбільш значимі, була розроблена мережева модель Петрі, яка відображає варіанти способів досягнення цілей технологічних процесів хлібопекарського виробництва. Апарат мереж Петрі дозволяє адекватно відобразити динаміку складних систем, в тому числі виконання паралельних процесів.

На рис.1 наведено фрагмент маркованої мережі Петрі для процесу приготування хлібобулочних виробів (дільниця підготовки сировини та приготування тіста).

Мережа Петрі $N=(P,T,I,O,\mu)$, де

$P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – скінченна множина позицій, $n \geq 0$;

$T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – скінченна множина переходів, $m \geq 0$;

$I: T \rightarrow P^*$ – вхідна функція, що співставляє множину вхідних позицій переходу;

$O: T \rightarrow P^*$ – вихідна функція, що співставляє переходу множину вихідних позицій.

μ – маркування мережі, яке визначається як n -вектор

$\mu = \langle \mu(p_1), \mu(p_2), \dots, \mu(p_n) \rangle$, де $n=|P|$ – число позицій в мережі і для кожного $1 \leq i \leq n$ справедливим є $\mu(p_i) \in \mathbb{N}$ – кількість фішок ϕ позиції p_i .

Таблиця 1

Умови спрацювання переходів в мережі Петрі.

t 1	Борошно задовольняє встановленим нормам
t 2	Борошно не задовольняє встановленим нормам
t 3	Колір та мутність води в нормі
t 4	Колір та мутність води не в нормі
t 5	Вміст нерозчинних домішок в соляному розчині в нормі

t 6	Вміст нерозчинних домішок в соляному розчині не в нормі
t 7	Задовільна швидкість підйому тіста
t 8	Швидкість підйому тіста не задовольняє вимогам
t 9	Якість додаткової сировини в нормі
t 10	Якість додаткової сировини незадовільна
t 11	Вологість, температура, час дозрівання опари нормальні
t 12	Вологість більша норми
t 13	Вологість менша норми
t 14	Температура менша норми

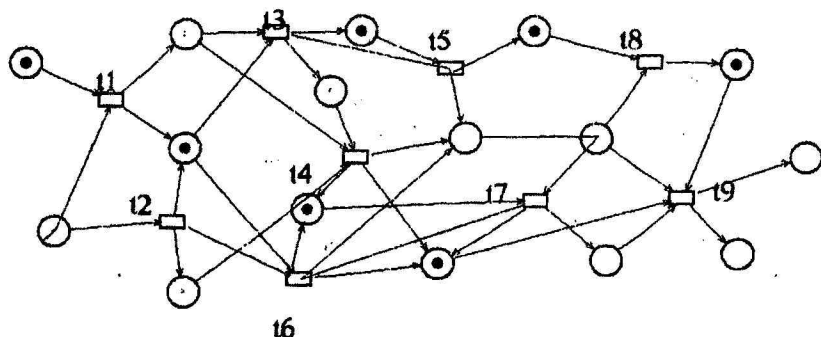


Рис.1. Фрагмент маркованої мережі Петрі.

Вершини-позиції позначаються колом, вершини-переходи – прямокутником. Із змістовної точки зору, переходи відповідають подіям, які властиві досліджуваній системі, а позиції – умовам їх виникнення. Таким чином, сукупність переходів, позицій і дуг дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки, властиві системі, але в стагії. Щоб мережа Петрі «ожила», вводять ще один вид об'єктів мережі – так звані фішки, або мітки позицій. Перехід вважається активним (подія може відбутися), якщо в кожній його вхідній позиції є хоча б одна фішка (зображуються крапками). Стан мережі Петрі в кожен теперішній момент визначається системою умов. При програмуванні переходи можна уявляти собі як процедури, а місця – як змінні або буфер. Фішка свідчить про те, що змінна/буфер має значення, а якщо місце має, наприклад, 3 фішки, то це може інтерпретуватися як наявність трьох різних значень в буфері. Якщо місце містить фішку, то місце марковане і мережа називається маркованою. Маркування мережі визначає її поточний стан. В класичній мережі Петрі всі фішки мають тип булевих даних, і відповідно не відрізняються одна від одної. Одним з найбільш відомих та популярних розширень базових мереж Петрі

є кольорові мережі Петрі (Coloured Petri Nets – CPN), в яких можуть використуватись фішки складного типу [4-8]. Така модель, порівняно з базовою, є більш лаконічною, так як одна позиція дозволяє моделювати множину умов.

Поведінка мережі Петрі визначається зміною її стану, що обумовлена спрацюванням переходів. Перехід активований (тобто готовий до спрацювання) якщо в кожній його вхідній позиції є щонайменше один об'єкт. При спрацюванні переходу об'єкт видаляєм із кожної вхідної позиції та вносимо в кожну вихідну. Якщо одночасно активовані два переходи, то спрацьовує лише один, причому, вибір переходу, що буде запускатись, здійснюється випадково (в цьому розумінні мережа Петрі – не детермінована модель). Розглянемо властивості, що характеризують мережу Петрі: позиція обмежена (к- обмежена), якщо існує таке ціле число $k \geq 1$, що число об'єктів в цій позиції не перевищує k . Число k називають ємністю позиції. Мережу Петрі називають зберігаючою, якщо число циркулюючих в ній об'єктів постійне. Перехід мережі називають безвихідним, якщо в процесі функціонування мережа може опинитися в стані, в якому цей перехід заблокований (не може бути активований).

Отже, переваги мереж Петрі полягають у тому, що вони: дозволяють моделювати перехідні процеси всіх можливих типів з урахуванням вірогідних конфліктів між ними; володіють наочністю і забезпечують можливість автоматизованого аналізу; дозволяють переходити від одного рівня деталізації опису системи до іншого (за рахунок розкриття/закриття переходів), наявна велика кількість програмних пакетів, які дозволяють створювати, редагувати, проводити імітаційне моделювання та формальний аналіз мереж Петрі.

Разом з тим, мережі Петрі мають ряд недоліків, що обмежують їх можливості. Основний з них – час спрацювання переходу вважається рівним 0, що не дозволяє досліджувати за допомогою мереж Петрі часові характеристики модельованих систем.

Для хлібопекарського виробництва характерні такі особливості як: розподілений характер системи, складні алгоритми взаємодії підсистем та наявність в них паралелізму, конфліктних ситуацій. Головною причиною ускладнення задач управління є складність причинно-наслідкових зв'язків в комплексі взаємодіючих, взаємопов'язаних та взаємозалежних складових процесів на хлібопекарському підприємстві.

Дослідження таких систем є складною задачею, причиною цього слугує множина варіантів її поведінки, що залежить не тільки від статичних, а й від динамічних параметрів системи, які мають не детермінований характер. Таким чином, необхідно використовувати нові підходи та методи, які дозволяють моделювати та аналізувати складні, розподілені, ієрархічні системи. Одним з таких підходів є теорія мереж Петрі.

Література:

1. Майков В.П. Введение в системный анализ: Учебное пособие. – М.: МГУИЭ, 2004. – 192 с.
2. Анищенко В.С. Динамические системы/ В.С. Анищенко// Соросовский образовательный журнал: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9711_077.pdf
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. М.В. Горбатова, В.Л. Торохов, В.Н. Четвериков; Под ред. В.А. Горбатова. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
4. Зайцев Д.А. Моделирование сетей с коммутацией с помощью раскрашенных сетей Петри // Зв'язок. – 2004. – №2. – С.56–59.
5. Jensen K. Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996. – 234 p.
6. Jensen K. An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1998. – 292 p.
7. Kristensen L.M., Christensen S., Jensen K. The practitioner's guide to coloured Petri nets // STTT, Int. Journal on Software Tools for Technology Transfer. – 1998. – Vol.2, №2. – P.98–132.
8. Jensen K. An Introduction to the Theoretical Aspects of Coloured Petri Nets. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1994. – 272 p.