

---

УДК 004.94

Л.А. Шувалова, С.М. Лихограй

*Черкаський державний технологічний університет, Черкаси*

### **ЗАСТОСУВАННЯ СКІНЧЕННИХ АВТОМАТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ ФАСУВАННЯ**

*У статті розглянуто застосування скінченних автоматів для розробки моделі системи управління технологічними операціями фасувальних автоматів. Аналіз моделей фасувальних автоматів шляхом розщеплення вершин та дуг графів дозволяє виявляти всі можливі шляхи графа та визначити критичний шлях. Застосування діаграм станів кінцевих автоматів, синтез яких виконаний за допомогою системи проектування цифрових пристроїв Active-HDL, забезпечує зниження трудомісткості розробки алгоритмів управління механізмами фасувальних автоматів.*

**Ключові слова:** комп'ютерна система управління, скінченний автомат, граф автомата, структурна модель, алгоритм управління.

## Вступ

Сучасні підприємства харчової промисловості ставлять високі вимоги щодо забезпечення ресурсами відповідної якості, узгодженості за часом і місцем проведення сукупності технологічних процесів, а також до систем управління рівнів, що реалізують функції планування, організації та управління на всіх стадіях. Першочерговою задачею в цих умовах є вимоги щодо підвищення оперативності та достовірності виробничої інформації, своєчасного прийняття рішень, поліпшення прогнозування результатів діяльності підприємства з використання основних ресурсів – матеріальних, трудових та енергетичних.

Виробнича система підприємства з виготовлення фруктово-ягідної продукції, яка функціонує в умовах конкуренції, змінного попиту, стрибків цін, збурень фінансово-кредитної системи та соціальної нестабільності, буде ефективною, якщо при управлінні можна буде здійснювати контроль за раціональним використанням сировини та виробничих ресурсів, а також передбачити виникнення і динаміку несприятливих ситуацій, що є передумовою створення інтелектуальних підсистем прийняття рішень з урахуванням підвищення якості функціонування, а також забезпечення надійності та живучості системи управління.

Огляд технічної літератури показав, що в існуючих методах синтезу комп'ютерних систем управління використовуються табличний та графічний способи відображення вихідних сигналів, однак подальше перетворення інформації виконується вручну, що збільшує трудомісткість проектних робіт та імовірність виникнення помилок проектувальників. Зменшення трудомісткості розробки проектів фасувальних автоматів (ФА) можливе завдяки використанню для аналізу і синтезу альтернативних рішень структурних і функціональних моделей даних автоматів, розроблених із використанням нових інформаційних технологій в галузі комп'ютерних систем управління технологічними процесами.

## Основна частина

Комп'ютерна система управління (КСУ) – автоматизована система, що ґрунтується на комплексному використанні технічних, математичних, інформаційних та організаційних засобів для управління складними технічними й економічними об'єктами. КСУ – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв, у якій частину функцій виконує людина.

Комп'ютерні системи управління у виробництві – це мікроЕОМ, які збирають інформацію від датчиків, що відображають стан технологічних процесів через аналого-цифрові перетворювачі, які відображають інформацію на пультах і зберігають її на різних запам'ятовуючих пристроях. Ці системи надалі виробляють керуючий вплив, що надходить на ви-

конавчі механізми через цифро-аналогові перетворювачі. У цьому випадку говорять про керуючі системи. Цифрові інформаційні та керуючі системи мають ряд переваг. В них легко врахувати і компенсувати нелінійність характеристик датчика, а також перетворювачів, підсилювачів і виконавчих механізмів. Крім того, такі види керуючих систем як адаптивні і оптимальні в принципі можуть бути реалізовані лише на основі ЕОМ. Крім цього, ЕОМ є універсальною системою, і перенастроювання комп'ютера на іншу систему управління полягає лише в зміні значень коефіцієнтів, які на множині чисел з плаваючою комою можуть змінюватися в дуже широких межах, або, в крайньому випадку, в завантаженні нової програми. У випадку ж використання аналогових систем може знадобитися повне перепрограмування, а значить і розробка всієї конструкторської і технологічної документації.

При розробці вбудованих мікропроцесорних систем, здійснюючих управління технологічними операціями, активними залишаються питання вибору методу розробки та налагоджування алгоритму функціонування виконавчих механізмів. Послідовність включення і відключення механізмів визначається технологом, а зв'язки “причина-наслідок” між командами вказуються на циклограмі. Однак інформацію, подану в специфічній формі, необхідно перетворювати до вигляду, зручного для написання, налагоджування і контролю програмного коду.

Інформація в автоматизованих системах носить дискретний характер, тому способи її перетворення можуть бути достатньо повно записані за допомогою різноманітних моделей скінченного автомату.

Скінченний детермінований автомат являє собою абстрактний пристрій:

$$A = (S, X, Y, \lambda, \delta, S|t_0),$$

де  $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, \alpha\}$  – множина символів алфавіту станів;  $X = \{X_i | i = 1, 2, \dots, m\}$  – скінченна множина вхідних сигналів, де  $X_i = \{x_{ir} | r = 1, 2, \dots, k_i\}$ ,  $k_i = |x_i|$ ,  $x_{ir}$  – символи вхідного алфавіту

$$W_x = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{r=1}^{k_i} x_{ir}, \text{ значення якого може бути прийнято}$$

вхідним сигналом  $X_i$ ;  $Y = \{Y_j | j = 1, 2, \dots, n\}$  – скінченна множина вихідних сигналів,  $Y_j = \{y_{js} | s = 1, 2, \dots, k_j\}$ ,  $k_j = |y_j|$ ,  $y_{js}$  – символи вихід-

$$\text{ного алфавіту } W_y = \bigcup_{j=1}^n \bigcup_{s=1}^{k_j} y_{js}, \text{ значення якого може}$$

бути передано вихідному сигналу  $Y_j$ ;  $\lambda: (S, X) \rightarrow S$  и  $\delta: (S, X) \rightarrow Y$  – функції переходів і виходів відповідно, причому  $\delta \rightarrow \{\delta_j: (S, X) \rightarrow Y_j | j = 1, 2, \dots, n\}$ ;  $S|t_0$  – початковий стан детермінованого автомату в момент часу  $t_0$  перед початком його функціонування.

Вважається, що функціонування автомату відбувається в дискретні моменти часу  $t = t_0, t_1, \dots$  за

тактами. На кожному такті функціонування автомат спрацьовує миттєво. Факт спрацювання полягає в тому, що, знаходячись в деякому стані  $S_i \in S$  і отримавши деяку сукупність вхідних сигналів  $\bigcup_{i=1}^m X_i$ , автомат переходить в новий стан  $S_{i+1}$  і

виробляє сукупність вихідних сигналів  $\bigcup_{j=1}^n Y_j$  у відповідності з правилами:

$$\lambda: (S, X) \rightarrow S \text{ і } \delta: (S, X) \rightarrow Y.$$

Крім початкового стану  $S|t_0$ , в якому знаходиться автомат в момент часу  $t_0$  перед першим тактом спрацювання, алфавіт  $S$  може вміщувати підмножину заключних станів. Попавши в один з них, автомат перестає функціонувати.

Скінченний автоматний перетворювач можна представити у вигляді пристрою, який має  $s \in S$  станів, на входи якого подається  $x \in X$  вхідні сигнали, а на виході видаються вихідні сигнали  $y \in Y$ . При отриманні вхідного сигналу скінченний автомат не тільки видає інформацію на виході як функцію цього вхідного сигналу і поточного стану, але й змінює свій стан, оскільки вхідний сигнал змінює передісторію.

Розрізняють автомати Мілі і Мура. Скінченням автоматом Мілі називається шість об'єктів:

$$M_1 = (X, Y, S, S_0, \lambda, \delta),$$

де  $X$  – скінченна непуста множина вхідних сигналів;  $Y$  – скінченна непуста множина вихідних сигналів;  $S$  – скінченна непуста множина станів;  $S_0 \in S$  – початковий стан;  $\lambda: (S \otimes X) \rightarrow S$  – функція переходів;  $\delta: (S \otimes X) \rightarrow Y$  – функція виходів.

Поведінка автомата Мілі описується наступними рекурентними співвідношеннями:

$$S(r+1) = \lambda(S[r]; X[r]);$$

$$Y(r) = \delta(S[r]; X[r]).$$

Автомати Мура створюють новий клас моделей перетворювачів інформації. В автоматі Мура

$$M_2 = (X, Y, S, S_0, \delta, \lambda)$$

вихідна функція  $\delta$  визначається не на парі <стан, вхідний сигнал>, а тільки на стані:  $\delta: S \rightarrow Y$ . Для автомата Мура справедливі наступні відображення:

$$\lambda: (S \otimes X) \rightarrow S; \delta: (S \otimes X) \rightarrow Y.$$

Поведінка автомата Мура описується наступними рекурентними співвідношеннями:

$$S(r+1) = \lambda(S[r]; X[r]); Y(r) = \delta(S[r]).$$

Вихідні сигнали автомата Мура однозначно визначаються тим станом, в якому автомат переходить після прийому вхідного сигналу.

Очевидно, що для будь-якого автомата Мура можна побудувати еквівалентний йому автомат Мілі. Справедливо й зворотнє: для будь-якого автомата Мілі існує еквівалентний йому автомат Мура.

Як правило, побудований автомат Мура має більше число станів, чим початковий автомат Мілі,

тому для реалізації автомата Мура потрібно більше затратити апаратних засобів.

Крім того, в автоматі Мілі вхідні сигнали діють на протязі синхроімпульсу (наприклад,  $\tau_u = 1$  мкс), а в автоматі Мура вхідні сигнали повинні діяти до тих пір, поки автомат знаходиться в даному стані й не перейшов у наступний. Якщо, наприклад,  $\tau_u = 1$  мкс, але період їх проходженням  $T = 50$  мкс, то, відповідно, тривалість вхідних сигналів в автоматі Мура буде у 50 разів більше. Ось чому мікрокоманди в автоматі Мілі називають динамічними, а в автоматі Мура – статистичними. Враховуючи викладені вище обставини, в якості формальної моделі пристрою управління ФА доцільно обрати автомат Мілі [1].

**Побудова структурних моделей комп'ютерної системи управління ФА.** При проектуванні ФА карусельного типу періодичної дії необхідно вибрати на каруселі, яка обертається, оптимальну кількість позицій, на яких виконуються послідовні операції, які забезпечують фасування та закупорювання продукції в пакувальну тару.

На стадії складання алгоритму управління структурна модель ФА дозволяє уточнити послідовність операцій і необхідні часові затримки для всіх режимів роботи, визначити параметри, які підлягають контролю та обліку, сформулювати вимоги до програмованого мікроконтролера. Ці вимоги надаються у вигляді значень двійкових сигналів, які повинні бути подані на деякі виконавчі механізми залежно від стану решти механізмів.

При декомпозиції структурної моделі, побудованої з врахуванням розташування механізмів на робочому столі та послідовності виконання технологічних операцій відповідно до моделі технологічного процесу фасування та закупорювання продуктів, отримуємо структурну модель ФА карусельного типу, що має 8 виконавчих механізмів, для зростаючого та спадаючого фронтів циклів технологічних операцій з врахуванням часових характеристик спрацьовування датчиків та тривалості роботи пневмоциліндрів ФА. Структурну модель ФА карусельного типу, що має 8 виконавчих механізмів, для зростаючого та спадаючого фронтів циклів технологічних операцій представлена цифровим автоматом у вигляді сукупності, що складається з 8 компонентів:

$$MFA = (S_w, S_c, U, T_d, T_w, T_m, T_s, W),$$

де  $S_w$  – стани, в яких виконуються операції управління технологічним процесом;  $S_c$  – стани, в яких виконуються контролюючі операції;  $U$  – умови переходів;  $T_d$  – моменти фіксації кінцевих станів виконавчих механізмів;  $T_w$  – тривалості активних станів виконавчих механізмів;  $T_m$  – модельний час;  $T_s$  – сумарна тривалість операцій;  $W$  – операції управління технологічним процесом.

Дану модель зручно представити у вигляді направлено графа, в якому стани контролю поло-

ження виконавчих механізмів позначаються символом  $\oplus$ . Стани робочих  $S_w$  і контролюючих  $S_c$  операцій, які відображають події, що відбуваються, розташовуються не довільно на площині, а на осі модельного часу. Умови переходів  $U$  і дії на переходах  $W$  об'єднуються операцій імплікації  $U \rightarrow W$ . Робочі операції  $W$  виконуються над безліччю сигналів управління  $Z = \{Z_1, \dots, Z_m\}$  і відносяться до логічних операцій, при виконанні яких вибраному управляючому сигналу присвоюється одиниця або нуль ( $Z_i <= '1'$  или  $Z_i <= '0'$ ).

У станах контролю  $S_c$  порівнюється поточний модельний час  $T_m$  із заданим значенням часу, в який вибраний виконавчий механізм повинен перейти в кінцевий стан. Стани механізмів фіксує безліч датчиків  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ .

Модель цифрового автомата ФА дозволяє наочно відобразити всі причинно-наслідкові зв'язки технологічного процесу, що скорочує імовірність виникнення помилок при подальшому синтезі проекту автомата за допомогою найбільш поширених інструментальних засобів.

В результаті перетворення можна отримати об'єднану таблицю, яка буде містити функції переходів і виходів, по яких можна побудувати граф-схему цифрового автомата в середовищі Active-HDL.

Для визначення послідовності формування управляючих команд та контролю сигналів, які поступають від датчиків стану управляючого об'єкту, пропонується застосовувати направлені графи, які відображають послідовність виконання технологічних операцій фасування та закупорювання продуктів.

На каруселі, яка вміщує 8 позицій, можна розмістити такі механізми:  $O_t$  – відділення тари;  $K_{нт}$  – контроль наявності тари;  $D$  – змінний дозатор;  $H_{фк}$  – накладання кришки;  $C_{вр}$  – термозварювання кришки;  $D_{ат}$  – нанесення дати;  $C_{т}$  – знімання тари.

Деякі позиції робочого столу  $S_{вп}$  можуть бути вільними від механізмів. Позиція, що передує механізму знімання тари, зазвичай використовується для візуального контролю якості упаковок і видалення бракованої продукції.

Структурна модель ФА, яка має 8 позицій для розташування механізмів, наведена на рис. 1.

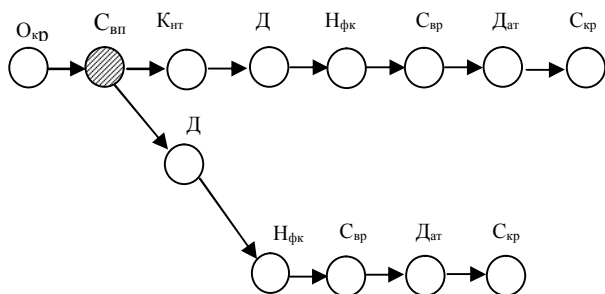


Рис. 1. Структурна модель фасувального автомата з восьми позиціями на каруселі

Графічне відображення об'ємно-планарного компонування механізмів рекомендується використовувати в технологічній документації, яка застосовується для зборки ФА відповідно до конкретних технологічних задач. Для управління ФА пропонується передбачити подачу виконавчим механізмам команд типу "відкрити-закрити", "ввімкнути-вимкнути", які передаються двійковими управляючими сигналами, що приймають тільки два рівня значень, які позначаються цифрами 0 і 1. Управляючі сигнали потрібно формувати для встановлення послідовності виконання технологічних операцій, а також для зупинки механізмів при відсутності сировини або виникнення аварійних ситуацій, які можуть привести до недостатньої точності дозування, розливу продукту або до неякісного зварювання кришки до пакувальної тари і т.д.

В процесі абстрактного синтезу здійснюється перехід від словесного опису технологічного процесу до складання алгоритму функціонування у вигляді таблиці, циклограми, графіку і т.д. Для складання логічного алгоритму управління ФА необхідно мати повну інформацію про кожну технологічну операцію та обладнання, що застосовується.

Для одного з варіантів конфігурації восьмипозиційного ФА для всіх позицій необхідно забезпечити виконання наступних множин операцій:

$$U_A = \{ U_{от}, U_{пов}, U_{кнт}, U_{пов}, U_{зд}, U_{пов}, U_{нфк}, U_{пов}, U_{свр}, U_{пов}, U_{дат}, U_{пов}, U_{упк}, U_{пов}, U_{ост}, U_{пов}, U_{ст}, U_{пов} \},$$

де  $U_{от}$  – операція відокремлення тари;  $U_{пов}$  – поворот каруселі;  $U_{кнт}$  – контроль наявності тари;  $U_{зд}$  – дозоване наповнення тари дозатором;  $U_{нфк}$  – операція накладання кришки;  $U_{свр}$  – термозварювання кришки;  $U_{дат}$  – нанесення дати;  $U_{вкя}$  – візуальний контроль якості;  $U_{ст}$  – операція зняття тари.

На основі аналізу графів, можна зробити висновок, що для управління ФА, які мають різну конфігурацію, можна використати загальний алгоритм формування керуючих сигналів, виключивши у ньому команди управління для відсутніх механізмів [3].

**Верифікація моделей цифрових автоматів комп'ютерної системи управління ФА.** Для синтезу та аналізу алгоритмів управління виконавчими механізмами доцільно застосовувати структурну модель ФА, побудовану з використанням графів цифрових автоматів із скінченною кількістю станів.

Одним з розповсюджених способів завдання проекту керуючого автомату є орієнтований зв'язаний граф, вершини якого відповідають станам, а дуги – переходам між ними. Для такого способу представлення скінченних автоматів у середовищі Active-HDL використовується редактор кінцевих станів [2].

При зростаючому фронті технологічних операцій в кожному циклі збільшується кількість активі-

зованих механізмів, таким чином, що останній цикл включає всі операції технологічного процесу.

При спадаючому фронті в кожному циклі технологічних операцій послідовно відключається один механізм, а останній цикл відповідає зупинці цифрового автомату.

При виконанні моделювання в шаговому режимі на графі автомату поточний стан виділяється жовтим кольором, що зменшує трудомісткість усунення помилок в проекті. Запропонований метод синтезу цифрових автоматів враховує реальні динамічні характеристики виконавчих механізмів, що збільшує точність завдання часових параметрів управляючих сигналів.

Виконання аналізу поведінки моделі цифрового автомату дозволяє врахувати вплив несправностей механізмів на технологічний процес. При поломці будь-якого механізму управляючий автомат дозволяє своєчасно зупинити фасування продуктів при цьому виключається відвантаження споживачам бракованої продукції.

Реакції моделей автоматів на можливі відмови механізмів викликаються шляхом імітації несправних станів датчиків, які можуть бути наслідком зношеності механізмів або перевищення часу їх спрацьовування за рахунок несправностей в системі енергозабезпечення.

Імітація несправних станів датчиків за рахунок їх виключення або затримки часу спрацьовування дозволяє виконати верифікацію моделі цифрового автомата, що спрощує процес відладкодування алгоритму управління. За значенням прапора помилки ідентифікується механізм, який відмовив, що зменшує трудомісткість робіт з відновлення виконавчих механізмів.

## Висновки

Аналіз моделей ФА шляхом розщеплення вершин та дуг графів дозволяє виявляти всі можливі шляхи графа та визначити критичний шлях.

Застосування діаграм станів автоматів з кінцевими станами, синтез яких виконаний за допомогою системи проектування цифрових пристроїв Active-HDL, забезпечує зниження трудомісткості розробки алгоритмів управління механізмами ФА.

Виконуючи моделювання поведінки управляючого автомата в системі Active-HDL, можна обирати найкращі альтернативні алгоритми управління виконавчими механізмами та виконувати оперативну заміну програмного забезпечення при зміні конфігурації ФА.

## Список літератури

1. Лега Ю.Г. Применение операции расщепления вершин и дуг графов для синтеза моделей фасовочно-упаковочных машин / Ю.Г. Лега, Л.А. Шувалова // Вісник Черкаського державного технологічного університету, Черкаси. – 2005. – №2. – С. 90-93.
2. Семенець В.В. Проектування цифрових систем з використанням мови VHDL / В.В. Семенець, І.В. Хаханова, В.І. Хаханов. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – 492 с.
3. Шувалова Л.А. Синтез моделей фасувально-пакувальних машин за допомогою направлених графів / Л.А. Шувалова // "Проблеми математичного моделювання", міжнародна науково-методична конференція (2005; Дніпродзержинськ). Збірник міжнародної науково-методичної конференції "Проблеми математичного моделювання", 2005 р. – Дніпродзержинськ, 2005. – С. 194-195.

Надійшла до редколегії 20.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

### ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОПЕРАЦИЯМИ ФАСОВКИ

Л.А. Шувалова, С.Н. Лихограй

*В статье рассмотрено применение конечных автоматов для разработки модели системы управления технологическими операциями фасовочных автоматов. Анализ моделей фасовочных автоматов путем расщепления вершин и дуг графов позволяет выявлять все возможные пути графа и определить критический путь. Применение диаграмм состояний конечных автоматов, синтез которых выполнен с помощью системы проектирования цифровых устройств Active-HDL, обеспечивает снижение трудоемкости разработки алгоритмов управления механизмами фасовочных автоматов.*

**Ключевые слова:** компьютерная система управления, конечный автомат, граф автомата, структурная модель, алгоритм управления.

### THE USE OF FINITE STATE MACHINES FOR DEVELOPING A STRUCTURAL MODEL OF THE COMPUTER SYSTEMS OF CONTROL OF TECHNOLOGICAL PACKING OPERATIONS

L.A. Shuvalova, S.M. Lihogray

*The article describes the use of finite state machines for model development system control of technological operations of filling machines. Analysis of models of packaging machines by splitting vertices and edges of graphs allows to identify all the possible paths of the graph and determine the critical path. The use of diagrams, state machines finite-state synthesis using design system digital devices Active-HDL reduces the complexity of algorithm development control mechanisms filling machines.*

**Keywords:** computer system of control, finite state machines, graph machine, structural model, the control algorithm.