

ктів. З огляду на мікробіологічні показники для пакування нових м'яких маргаринів доцільно використовувати туби, що мають високі бар'єрні властивості та дозволяють зберігати вихідну якість виробів найдовше.

Отже, фортифікація рецептур нових м'яких маргаринів такими природними добавками, як цикорлакт, еламін, екстракти стевії, горобини та петрушки, поряд із застосуванням нових видів пакування, а саме тубів, сприятиме подовженню термінів зберігання нових м'яких маргаринів та підвищенню їх біологічної цінності.

Список використаних джерел

1. Табакаева О. В. Натуральные антиоксиданты для стабилизации окислительных процессов липидов / О. В. Табакаева, А. В. Табакаев // Масложировая промышленность. – 2014. – № 6. – С. 20–23.
2. Разработка рецептур эмульсионных жировых продуктов с биологически активными компонентами / [Н. С. Морина, Ю. В. Николаева, М. Ю. Рудакова, А. П. Нечаев] // Масложировая промышленность. – 2014. – № 6. – С. 33–36.
3. Родак О. Я. Дослідження дії природних добавок на стійкість спредів під час зберігання / О. Я. Родак // Вісник Львівської комерційної академії. – 2013. – Вип. 12. – С. 91–95.
4. Ravi J. Free Radical Reactions and Antioxidant Activities of Sesamol: Pulse Radiolytic and Biochemical Studies [Електронний ресурс] / Ravi J., Sudheer M., Kumar K., Satyamoorthy M.K. – Режим доступу : <http://pubs.acs.org/10.1021/jf0489769>.
5. Бочарова О. В. Генеза регулювання безпечності харчових продуктів в Україні / О. В. Бочарова // Харчова наука і технологія. – 2013. – № 4. – С. 91–94.

УДК 621.798:681.5.015.23

О.М. Залета, канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН

О.М. Залета, канд. техн. наук

Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УПАКОВКИ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

Olha Zaleta, PhD in Technical Sciences

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

SEQUENCE MODELING OF TECHNOLOGICAL MACHINE FUNCTIONING FOR PACKING OF BULK SUBSTANCES

Представлено спосіб побудови моделі функціонування пакувальної машини на прикладі машини для пакування сипких речовин. Для реалізації цього завдання здійснено формалізацію початкових даних, проаналізовано структуру та принцип роботи типового компонування машини цього призначення та відображено взаємозалежність між виконуваними машиною елементами технологічного процесу пакування і функціональними модулями, які входять до її складу. Також за допомогою методу мереж Петрі показано закономірність спрацьовування функціональних модулів машини. Представлена модель послідовності виконання технологічного процесу пакування може бути основою для програмування машини і керування її роботою. Запропонований алгоритм можна використовувати для моделювання функціонування будь-якого обладнання модульної будови.

Ключові слова: модель, структура, синтез, пакувальна машина, функціональний модуль.

Представлен способ построения модели функционирования упаковочной машины на примере машины для упаковки сыпучих веществ. Для реализации данной задачи осуществлено формализацию исходных данных, анализ структуры и принцип работы компоновки машины данного назначения и отражено взаимозависимость между выполняемыми машиной элементами технологического процесса упаковки и функциональными модулями, которые входят в ее состав. Также с помощью метода сетей Петри показана закономерность срабатывания функциональных модулей машины. Представленная модель последовательности выполнения технологического процесса упаковки может быть основой для программирования машины и управления ее работой. Предложенный алгоритм можно использовать для моделирования функционирования любого оборудования модульного строения.

Ключевые слова: модель, структура, синтез, упаковочная машина, функциональный модуль.

The article describes a method for constructing model of packing machine functioning on the machine's example for packing of bulk substances. The formalization of initial data was carried out, the structure and working principle of a typical layout of the given purpose machine was analyzed and interdependence between elements of technological process of packing and functional modules that are part of it was reflected. Also, using the method of Petri nets the sequence of the functional modules operation was described. The represented sequence model of the technological process of packing can be the basis for the machine programming and control of its work. The proposed algorithm can be used for operation modeling of any equipment of modular structure.

Key words: model, structure, synthesis, packing machine, functional module.

Постановка проблеми. Одним із провідних напрямків модернізації наявних пакувальних машин (ПМ) є оптимізація їх компонувань з метою підвищення показників ефективності виконання службової функції. Найбільш раціональним з погляду пошуку кращого варіанта структури ПМ є застосування методів оптимізаційного синтезу, поєднаних із функціонально-модульним підходом до розгляду її будови. Такі методи, за умови їх адаптації до специфіки обладнання цього призначення, дозволяють за мінімальні строки та з високою достовірністю розв'язувати задачі багатокритеріальної оптимізації довільного рівня складності [1; 2]. Проте розв'язком задачі оптимізаційного синтезу є, здебільшого, набір функціональних модулів (ФМ), сукупність яких у компонуванні машини має забезпечити задану ефективність роботи, але не дає при цьому чітких уявлень про закономірності її функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують методи кодування функцій, технічних характеристик і компонувань машин [3; 4; 5].

Зокрема в [3] запропоновано описувати компонування за допомогою структурних формул, побудованих згідно з принципами алгебри логіки і теорії множин, що відображають структуру машини та розміщення ФМ у координатному просторі. Графічний метод синтезу компонувань машини, наведений у [4; 5], полягає в побудові моделей її структури у вигляді принципово-структурних схем, які описують склад та просторове розташування ФМ, а також зв'язки між ними та траєкторію переміщення рухомих механізмів. Графічний метод надає більш повну інформацію про об'єкт проектування порівняно зі структурними формулами, однак і цього недостатньо для вичерпного опису роботи проектного об'єкта.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Важливим завданням, яке доповнює розв'язок задачі структурної оптимізації, є встановлення правильної послідовності виконання окремих елементів технологічного процесу пакування для забезпечення злагодженості спрацьовування ФМ, які формують компонування ПМ.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є побудова моделі функціонування пакувальної машини для відображення взаємозалежності між виконуваним машиною набором функцій і технічними засобами реалізації кожної них, а також представлення послідовності їх спрацьовування. Основним призначенням цього алгоритму є програмування роботи ПМ і керування нею в автоматизованому режимі.

Виклад основного матеріалу. Переважна більшість ПМ для пакування сипких речовин працюють автоматично завдяки наявності у них системи керування, яка забезпечує і контролює злагоджене функціонування ФМ.

Для розроблення відповідної програми керування проєктант повинен створити модель функціонування машини, яка по суті являє собою алгоритм її роботи. Тому оптимізаційний синтез машини, крім методики пошуку кращого варіанта компонування, повинен передбачати методику синтезу моделі функціонування.

Нижче представлено етапи моделювання функціонування ПМ.

1. Формалізація початкових даних.

Кожен ФМ машини функціонально є дискретним елементом. Це означає, що технологічна операція пакування реалізується кінцевим числом дій, результат яких фіксується в певні моменти часу і в певних станах ФМ. Крім того, ФМ характеризуються також

і безперервними аспектами функціонування, оскільки на ефективності ПМ впливає також і механіка переходів з одного стану в інший. Проте для моделі функціонування ці безперервні властивості модулів значення не мають.

Для опису моделі функціонування введемо вектор-функцію $A(j)$, для якого j – номер такту, розмірність якого збігається з числом ФМ у машині, а i -та компонента цього вектора є кодом стану i -го ФМ на j -му такті роботи.

Значення вектор-функції $A(j)$ на j -му такті роботи назвемо j -ю проміжною ціллю (коротко j -ціллю) процесу пакування. Введенням вектора $A(j)$ підкреслюється, що процес пакування має послідовний впорядкований у часі характер.

На рис. 1 представлено схему замкненого (циклічного) технологічного процесу.

Перехід від j -цілі до $(j+1)$ -цілі, який будемо називати j -м переходом циклу, полягає у зміні стану хоча б одного ФМ. Якщо A_k^j – k -та компонента вектора $A(j)$, тобто існує значення коду стану k -го ФМ в j -цілі, то принаймні для одного k

$$A_k^j \neq A_k^{j+1}. \quad (1)$$

Якщо умова (1) виконується тільки для одного k , то j -й перехід назвемо послідовним. Інакше, коли умова (1) виконується для двох і більше k , то j -й перехід буде паралельним, оскільки декілька ФМ одночасно змінюють свій стан.

Таким чином, може мати місце послідовно-паралельний процес пакування, якщо він містить хоча б один паралельний перехід.

Розглянемо послідовність побудови моделі функціонування на прикладі машини для пакування сипких речовин у плівкові пакети, скориставшись її типовою узагальненою функціонально-структурною схемою, наведеною на рис. 2 [6].

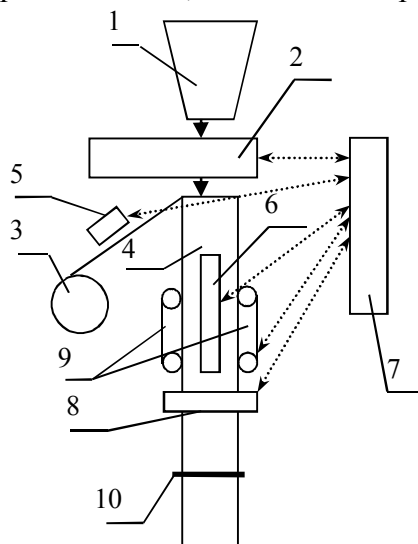


Рис. 2. Узагальнена функціонально-структурна модель машини для пакування сипких речовин:
1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – механізм подачі плівки; 4 – рукавоутворювач; 5 – фотоелемент;
6 – пристрій поздовжнього зварювання; 7 – блок керування; 8 – пристрій поперечного зварювання;
9 – механізм протягування рукава; 10 – механізм відрізання

Отже, компоновання машини містить 10 ФМ. Проте під час побудови моделі функціонування доцільно розглядати тільки керовані ФМ, тобто ті, які здійснюють переміщення під час функціонування для виконання технологічних переходів.

2. Алгоритмізація роботи функціональних модулів пакувальної машини.

Прийmemo, що код стану ФМ $k = 1$, якщо він виконує технологічний перехід, $k = 0$, якщо не виконує.

Нижче умовно позначені ФМ, що у процесі функціонування змінюють свій стан.

M_1 – дозатор: у момент дозування сипкої речовини код стану – 0, у момент фасування відміряної дози в пакет код стану – 1;

M_2 – пристрій поздовжнього зварювання: у момент зварювання шва пакета код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0;

M_3 – пристрій поперечного зварювання: у момент зварювання шва пакета код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0;

M_4 – механізм протягування рукава: під час протягування матеріалу код стану – 1, у момент вистою код стану – 0;

M_5 – механізм відрізання: у момент відрізання пакета від рукава код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0.

Матриця переходів ФМ з одного стану в інший (змін j -цілей) зведена в табл.

Зауважимо, що для кожного варіанта компонування існує власна матриця станів, що пов'язано зі специфікою конструкції ФМ та кількістю функцій, які вони виконують.

Таблиця

Матриця зміни станів машини для пакування сипких речовин

Технологічний перехід	j -ціль	Коди станів функціональних модулів				
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
Дозування	$A1$	0	1	1	0	1
Фасування	$A2$	1	0	0	1	0
Поздовжнє зварювання	$A3$	0	1	1	0	1
Поперечне зварювання	$A4$	0	1	1	0	1
Протягування рукава	$A5$	1	0	0	1	0
Відрізання	$A6$	0	1	1	0	1

Наведемо пояснення циклу, представленого на рис. 2 та у табл. Процес пакування розпочинається із відмірювання дози продукту (ціль $A1$) дозатором M_1 (код стану – 0). У цей час формуються поздовжнє зварне з'єднання пакета пристроєм поздовжнього зварювання M_2 (код стану – 1) та поперечне зварне з'єднання пристроєм поперечного зварювання M_3 (код стану – 1), а також відбувається відрізання попередньо виготовленого пакета механізмом відрізання M_5 (код стану – 1). Оскільки ці механізми спрацьовують одночасно, під час кожного наступного циклу для них буде характерною такий же тип стану, як і для цілей $A3$ та $A4$ та $A6$. Механізм протягування рукава M_4 під час виконання вказаних дій перебуває у неробочому положенні (код стану – 0).

У період фасування продукту (ціль $A2$) і суміщеного із ним протягування рукава (ціль $A5$) дозатор M_1 змінює стан з 0 на 1. Пристрої M_2 , M_3 , M_4 переходять у неробочі позиції (код стану – 0), а механізм протягування рукава M_4 здійснює переміщення плівкового рукава на крок, рівний висоті пакета (код стану – 1).

Таким чином, усі зміни стану ФМ здійснюються під час переходів від однієї цілі $A(j)$ до наступної $A(j+1)$.

На кожному такому переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ множини ФМ компонування можна розділити на дві підмножини – підмножину активних і підмножину пасивних ФМ.

До підмножини активних на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ ФМ $M_a(j)$ включимо ті ФМ, які змінюють свій стан на цьому переході, тобто для яких $A_k^j \neq A_k^{j+1}$.

Кількість модулів у цій підмножині може бути 1, якщо процес є послідовним, або більше 1, якщо він паралельний або послідовно-паралельний. ФМ цієї підмножини наведемо активними на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$.

До підмножини пасивних на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ модулів M_a увійдуть усі інші ФМ, які належать компоновці, тобто такі, для яких $A_k^j = A_k^{j+1}$. Ця підмножина може бути і порожньою, якщо всі ФМ компоновання змінюють свій стан на переході.

3. Побудова моделі функціонування пакувальної машини.

Під час моделювання роботи ПМ на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ використовуються тільки макромоделі активних ФМ.

Нехай ФМ M стає активним на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$. Позначимо далі через k_m число його станів, а через k_m^{j+1} – номер того стану, в який повинен перейти цей ФМ.

Код цього стану A_m^{j+1} зручно вибирати у вигляді вектора-рядка

$$A_m^{j+1} = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0),$$

де 1 стоїть на місці з номером k_m^{j+1} .

Аналогічним чином, код попереднього стану цього ФМ A_m^j буде мати такий же вигляд, але «1» повинна стояти на місцях з номером k_m^j . Тому в оперативному вигляді перехід $A(j) \rightarrow A(j+1)$ для цього ФМ можна записати, як

$$A_m^{j+1} = A_m^j \cdot S_{k_m^j}^{k_m^{j+1}},$$

де $S_{k_m^j}^{k_m^{j+1}}$ – перестановочна матриця з розмірністю $k_m \cdot k_m$.

Відповідно до принципів модульності і структурної подібності модель модульної системи повинна мати модульну структуру. Тому, як і сама система, її модель повинна містити елементи, які приведені у відповідність до елементів системи.

Представимо це у вигляді моделі, побудованої згідно з методом мереж Петрі (рис. 3) [7].

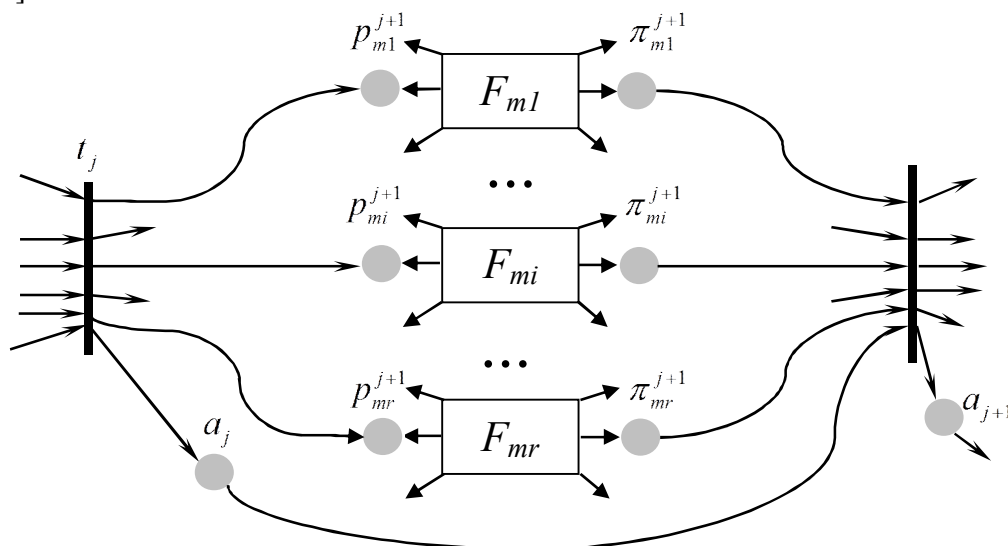


Рис. 3. Фрагмент мережі Петрі модельованого компоновання пакувальної машини

Елементом, що виконує цю функцію, є перехід t_j , який зв'язує фрагменти моделі компоновання, що відповідають цілям $A(j)$ та $A(j+1)$. На рис. 3 зображено такий фрагмент: тут $F_{m1}, \dots, F_{mi}, \dots, F_{mr}$ – макромоделі ФМ із підмножини $M_a(j)$, які є активними на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ (r – кількість таких ФМ); t_j та t_{j+1} – суміжні переходи сітки Петрі для моделей станів $A(j)$ та $A(j+1)$. Від t_j стрілки направлені тільки до тих вхідних

позицій $p_{m1}^{j+1}, \dots, p_{mi}^{j+1}, \dots, p_{mr}^{j+1}$ макромоделей $F_{m1}, \dots, F_{mi}, \dots, F_{mr}$, які відповідають одиничним значенням розрядів кодів $A_{m1}^{j+1}, \dots, A_{mi}^{j+1}, \dots, A_{mr}^{j+1}$.

Таким чином, після спрацювання переходу t_j , який значить, що компоновання перейшло у стан $A(j)$, маркери потрапляють на вхідні позиції $p_{m1}^{j+1}, \dots, p_{mi}^{j+1}, \dots, p_{mr}^{j+1}$. При цьому моделі ФМ $F_{m1}, \dots, F_{mi}, \dots, F_{mr}$ починають здійснювати переведення цих ФМ у стани, які відповідають кодам $A_{m1}^{j+1}, \dots, A_{mi}^{j+1}, \dots, A_{mr}^{j+1}$. Таке переведення кожного ФМ M з $M_a(j)$ завершується через деякий час, рівний затримці $Q_{k_m k_m^{j+1}}$. Після завершення всіх таких переведень, тобто через проміжок часу переведення компоновання зі стану $A(j)$ у стан $A(j+1)$, рівне $Q(A(j) \rightarrow A(j+1)) = \max_m Q_{k_m k_m^{j+1}}$ у вихідних позиціях $\pi_{m1}^{j+1}, \dots, \pi_{mi}^{j+1}, \dots, \pi_{mr}^{j+1}$ знаходяться маркери. Це приводить до спрацювання переходу t_{j+1} , що і значить перехід компоновання у стан $A(j+1)$. Позиції a_j і a_{j+1} введені для відображення факту знаходження компоновання у відповідному стані.

Висновки і пропозиції. Представлений у статті спосіб побудови моделі функціонування пакувальної машини дозволяє відобразити взаємозалежність між виконуваними машиною елементами технологічного процесу пакування і технічними засобами реалізації кожного елемента, а також послідовність їх спрацювання. Отримані результати можуть бути основою для програмування роботи машини й автоматизованого керування її роботою. Запропонований алгоритм моделювання можна використовувати для побудови моделей функціонування будь-якого обладнання модульної будови.

Список використаних джерел

1. Шаповал О. М. Багатокритеріальна оптимізація структури пакувальних автоматів / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2009. – № 43. – С. 115–120.
2. Шаповал О. М. Стратегії оптимізаційного синтезу технологічних машин / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Технологічні комплекси : науковий журнал. – 2010. – Вип. 1(3). – С. 3–11.
3. Агрегатно-модульне технологічне обладнання : навч. посіб. для ВНЗ : у 3 ч. Ч. 1 / під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – Кіровоград, 2003. – 422 с.
4. Шувалова Л. А. Методы абстрактного синтеза структуры и последовательности выполнения операций фасовочно-упаковочных машин / Л. А. Шувалова // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2005. – № 4. – С. 55–58.
5. Гусарев В. С. Синтез структурных П-схем машин автоматического действия / В. С. Гусарев // Научные записки Одесского политехнического института. – 1961. – Т. 35.
6. Шаповал О. М. Напрями розвитку будови машин для пакування сипких речовин / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. – 2010. – Вип. 28. – С. 386–392.
7. Кіндрацький Б. І. Рациональное проектирование машиностроительных конструкций : монографія / Б. І. Кіндрацький, Г. Т. Сулим. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 280 с.