

УДК 621.789

О.А.Крестьянполь

Луцький національний технічний університет

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ГНУЧКИХ СИСТЕМ МАШИН ПАКУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розроблена вдосконалення технологія автоматизованого проектування ГВС, в основу якої покладена методика покровокового структурного синтезу з оцінкою результату на кожному кроці.

Ключові слова: проектування, синтез, пакувальне виробництво.

Постановка задачі

Розробка і впровадження гнучких виробничих систем машин (ГВС) відкриває новий етап технічного вдосконалення пакувального виробництва. В даний час ГВС пакування ще не досягли потенційно закладеного в них рівня технічної і економічної ефективності. Можливості досягнення ГВС цього рівня зв'язуються з вдосконаленням процесу їх проектування.

Великі витрати на створення ГВС обумовлені не тільки значною капіталоемністю їх устаткування, але і витратами на виконання проектних робіт. Проектування ГВС упаковки, складність яких постійно зростає, є складним процесом. Існуюча сьогодні технологія проектування ГВС характеризується великим часом «реакції на помилку»: багато помилок виявляються тільки в результаті випробування і експлуатації ГВС. У цих умовах помилки, допущені на початкових етапах проектування ГВС, приводять до тривалого її доопрацювання і додаткових капітальних вкладень в процесі експлуатації недосконалої ГВС.

Приступаючи до розробки ГВС нерідко залишають осторонь питання про її оптимальність. Розвиток ГВС вже неможливий без використання принципів системного підходу до проектування і перетворення його в методологію аналізу і синтезу ГВС.

Проектування технології пакування

Об'єднання технологічних і допоміжних операцій дозволяє отримати транспортно-технологічну схему (ТТС) пакування. Це робить можливим існування декількох варіантів технологічних ліній, а отже, і конструктивних рішень пакувального устаткування. Число таких варіантів обмежене. Для утворення варіантів структур технологічного процесу пакування використовуються **упорядкувальні моделі**, які дозволяють генерувати варіанти структур об'єкту синтезу, які окрім складу елементів, їх кількості відрізнятимуться також порядком їх з'єднання. Порядок елементів в структурі об'єктів синтезу є суттєвим як правило при синтезі процесів, елементами яких є елементарні дії чи прийоми, послідовність реалізації яких може суттєво вплинути на ефективність всього процесу.

Розглянемо приклад застосування типової моделі для генерування варіантів технологічного процесу виготовлення упаковки. Технологічні операції пакування асоціюватимемо із реалізацією одного із елементів упаковки, а саме:

1. відмірювання дози продукту Д;
2. виготовлення тари Т;
3. вміщення дози в тару В;
4. герметизація тари Г;
5. нанесення інформації на елемент упаковки І.

Можливі варіанти послідовностей встановлення елементів в упаковку опишуться повним графом на чотирьох вершинах. Кожний із варіантів технологічного процесу пакування задасться покриваючим деревом цього графа. Загальна кількість покриваючих дерев і, отже, варіантів послідовності пакування визначиться теоремою Келі і становитиме

$$n_{TO} = p^{p-2} = 5^3 = 125,$$

де p - кількість вершин графа.

Очевидно, що множина технологічних операцій пакування, отримана чисто формальним шляхом перерахунку графів, включатиме значну кількість нереальних та абсурдних варіантів, аналіз яких проводити недоцільно. Тому застосування перестановної моделі, яка суттєво обмежує кількість варіантів, придатних для розгляду, суттєво спрощує процес оптимізаційного синтезу. В

даному випадку врахуємо тільки варіанти технологічного процесу, які починаються із операції виготовлення тари або відмірювання дози продукту.

Таблиця 1.

Вибіркові варіанти технологічного процесу пакування

№	Послідовність реалізації елементів упаковки	Приклад реалізації
1	Д-Т-В-Г-І	Дозування сипкого матеріалу, виготовлення пакета із плівки, переміщення матеріалу в пакет, герметизація (заварювання) пакету, нанесення інформації на пакет
2	Д-І-Т-В-Г	Дозування сипкого матеріалу, нанесення інформації на напівфабрикат (плівку) для пакету, виготовлення пакета із плівки, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету
3	Д-Т-І-В-Г	Дозування сипкого матеріалу, виготовлення пакета із плівки, нанесення інформації на пакет, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету
4	(Д-Т)-І-В-Г	Дозування сипкого матеріалу і виготовлення пакета із плівки одночасно на двох позиціях, нанесення інформації на пакет, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету
5	(Д-Т-І)-В-Г	Дозування сипкого матеріалу і виготовлення пакета із плівки одночасно на двох позиціях з нанесенням інформації на пакет, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету
6	(Д-Т)-В-(Г-І)	Дозування сипкого матеріалу і виготовлення пакета із плівки одночасно на двох позиціях, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету з одночасним нанесенням інформації на пакет
7	І-Т-Д-В-Г	Нанесення інформації на плівку, виготовлення з неї пакету, дозування сипкого матеріалу, переміщення матеріалу в пакет, заварювання пакету
8	Т-Д-В-Г-І	Подача тари в машину, відмірювання дози, вміщення дози в тару, герметизація тари, нанесення інформації

В таблиці 1 наведено тільки 8 із 125 можливих варіантів послідовності виконання окремих технологічних операцій пакування. Якщо врахувати, що у випадку їх виконання на одній багатоопераційній машині, стає можливим як одночасне (суміщене) виконання двох і більше операцій на одній позиції, а також їх виконання паралельно на різних позиціях, то кількість варіантів структури технологічного процесу пакування стає ще більшим.

Методика моделювання і автоматизованого синтезу ГВС

Бурхливий розвиток пакувального виробництва викликає швидке моральне старіння пакувального устаткування і приводить до необхідності створення на базі такої САПР технології «прискореного» проектування. У основу вдосконалення технології проектування ГВС покладена методика покрокового структурного синтезу з оцінкою результату на кожному кроці. Завдання структурного синтезу проектного рішення, з погляду можливості формалізації, належить до найбільш складних, оскільки часто доводиться вибирати варіант з безлічі дуже великої кінцевої або навіть рахункової потужності.

Для забезпечення постійного скорочення термінів створення ГВС стало необхідним створення САПР ГВС. Велика розмірність завдання синтезу ГВС робить доцільним застосування ієрархічного підходу, коли синтезується не весь об'єкт в цілому, а на кожному ієрархічному рівні

© О.А.Крестьянполь

синтезуються певні підсистеми, рівень деталізації яких відповідає прийнятому способу декомпозиції системи на підсистеми.

Така технологія проектування припускає зворотні зв'язки на кожному кроці створення проекту ГВС, за результатами перевірки на моделі результатів дії цього кроку на характеристики ГВС. У основу проектування ГВС покладений процес безперервного ускладнення її моделі, починаючи з абстрактної моделі на початковому рівні і закінчуючи рівнем, коли проектування завершується робочим проектом.

Не дивлячись на істотні відмінності існуючих технологічних комплексів для всіх них можна запропонувати загальну постановку завдання синтезу. А саме, задана службова функція технологічного комплексу, потрібно розробити опис технологічного комплексу, який реалізує задану службову функцію і задовольняє деякій сукупності обмежень і особливих умов.

ГВС як складну систему слід розглядати в двох аспектах: функціональному і структурному.

Функціональний аспект встановлює круг функцій, які повинні виконувати ГВС. Ці функції визначені цілями, для яких створена ГВС, тобто її службовим призначенням. У результаті воно визначають склад завдань, що вирішуються пристроями і елементами ГВС (тобто визначає функціональну структуру ГВС).

Структурний аспект передбачає встановлення компонентного складу ГВС. Його вивчення необхідне для синтезу структури ГВС і її аналізу і оптимізації при проектуванні. Він дозволяє виявити необхідний склад технічних засобів (тобто визначити компонентну структуру ГВС) і забезпечити доцільну організацію роботи функціональних підсистем і окремих елементів.

Завдання структурного синтезу проектних рішень, з погляду можливості формалізації, належить до найбільш складних. Це пов'язано з тим, що з одного боку, властивості об'єкту, що синтезується, залежить від великого числа часто випадкових, суперечливих, але не до кінця досліджених, чинників. Ця причина має об'єктивний характер. З іншого боку, при рішенні задачі синтезу часто доводиться вибирати варіант з безлічі дуже великої кінцевої або навіть рахункової потужності.

Велика розмірність завдань синтезу технічних об'єктів робить доцільним застосування блоково-ієрархічного підходу, при якому весь процес синтезу об'єкту розбивається на сукупність взаємозв'язаних ієрархічних рівнів. Це означає, що синтезується не весь об'єкт в цілому, а на кожному ієрархічному рівні синтезуються певні підсистеми, рівень деталізації яких відповідає прийнятому способу декомпозиції системи на підсистеми. Такий підхід істотно спрощує рішення задачі синтезу.

Весь процес проектування із застосуванням САПР представляється таким, що складається з проектних процедур

$$\dot{I} = \{\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_N\}.$$

Кожна проектна процедура переводить модель проектуваного об'єкту M_i в наступний стан:

$$\Pi_1: M_1 \rightarrow M_2; \quad \Pi_2: M_2 \rightarrow M_3; \quad \dots \quad \Pi_N: M_N \rightarrow M_{N+1}.$$

Окрема проектна процедура виходить при взаємодії трьох множин: множина моделей M , множина операцій над моделями O і множина оцінок і критеріїв проектування K

$$\Pi_j = \langle O_j, M_j, K_j \rangle.$$

Множина M включає різні по вигляду і ступені завершеності моделі проектованих ГВС:

- Функціональні моделі ГВС, розвиток яких завершується створенням транспортно-технологічної схеми системи машин, принциповими схемами функціонування окремих машин, алгоритмом управління ГВС.

- Структурні моделі ГВС (компоновки ГВС) у вигляді електронних моделей або макетів, креслень, дослідних зразків — на подальших етапах.

При виконанні проектної процедури повинні виконуватися умови

$$\forall M_j \in M \exists \Pi_j: M_j \rightarrow M_{j+1},$$

$$\text{де } M_j \subset M_{j+1}, \quad K_j \subset K_{j+1}, \quad O_j \subset O_{j+1}, \quad j \in [0, n].$$

Ітераційний процес взаємодії M , K і O складається з циклів, що повторюються на кожному етапі проектування і при виконанні типових проектних процедур. Кожна процедура $\Pi_i \in \Pi$ займає певне місце в маршруті проектування, має на вході вихідні дані, а на виході — проектне

рішення в вигляді проектного документа, яким проект або закінчується, або стає вихідним для подальшого процесу проектування.

Для виявлення проектних процедур синтезу, що підлягають автоматизації, може бути використаний наступний підхід. Припустимо, що для кожна проектна процедура синтезу $\Pi_i \in \Pi$ полягає в приєднанні до ГВС окремої машини, вибраної серед готових або знов створених «нових» технологічних машин TM_i , які виконують всі або частину операцій технологічного процесу. Це припущення можна записати у вигляді:

$$\forall \Pi_i \in \Pi \exists T_j \in T : M_{i-1} \rightarrow M_i.$$

Встановимо правило введення відносин передування $Q=\{q_{ij}\}$ для етапів виготовлення чи пакування виробу:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \Pi_i \text{ передує } \Pi_j; \\ -1, & \text{якщо } \Pi_i \text{ слідує за } \Pi_j; \\ 0, & \text{якщо зв'язку нема, } i \neq j. \end{cases}$$

Складемо матрицю з ТМ:

$$\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N} = [F(\tilde{O}_n) \times F(\tilde{O}_n)] = \begin{matrix} & \tilde{O}_1 & \tilde{O}_2 & \dots & \tilde{O}_i \\ \begin{matrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{matrix} & \tilde{O}_1 \\ & \tilde{O}_2 \\ & \dots \\ & \tilde{O}_i \end{matrix},$$

де число стовпців відповідає числу технологічних операцій ТО, а число рядків — числу варіантів конструктивних виконань ТМ. Елемент матриці $c=1$, якщо дана машина входить в ГВС, і $c=0$ — якщо не входить.

Досягнення надійного забезпечення всієї безлічі технологічних операцій в ГВС досягається введенням надмірності як за рахунок універсальності самих ТМ, так і застосуванням декількох ТМ для однієї технологічної операції.

При виборі методу оптимізації врахуємо також, що кожна окрема одиниця обладнання може виконувати відразу декілька операцій. Тому кількість одиниць обладнання, необхідного для створення автоматизованої лінії не обов'язково буде рівною кількості операцій. Також очевидно, що при оптимізації слід враховувати вартість транспортного обладнання, причому вартість конвеєра, наприклад, буде залежати саме від кількості одиниць основного обладнання.

Враховуючі всі перераховані зауваження зупинимось на методі "віток та меж". Цей метод полягає у наступному. Варіанти структури автоматизованої лінії описуються у вигляді дерева із розгалуженнями на кожній операції, що виконуватиметься в автоматичній лінії (рис. 1). Line є масив, який містить список обладнання, а Price – ціну кожної одиниці цього обладнання. Кожне розгалуження вітки являє собою вибір варіанта обладнання, яке включається у автоматизовану лінію. Рівень вітки визначає операцію, яку дане обладнання виконує. Завдання методу полягає у знаходженні найкоротшого шляху від найвищого рівня до найнижчого. Причому при пошуку запам'ятовуються вже знайдені варіанти. Якщо на деякому рівні N шлях буде більший, чим в уже знайденому варіанті, то далі дана вітка та всі її дочірні вітки не розглядаються. На першому кроці вибирається модель обладнання для виконання першої операції, потім другої та всіх інших операцій, включаючи транспортну. Далі знаходиться перший варіант структури, який задовольняє умові. Приймаємо його вартість за максимально допустиму $варт_{max}$.

При подальшому пошуку на кожному розгалуженні порівнюється вже набрана вартість із $варт_{max}$. Якщо отримане значення менше, то пошук продовжується, в протилежному випадку здійснюється повернення до попереднього розгалуження та шукають в інших вітках дерева.

У разі, коли пошук дійшов до кінця дерева $варт_{max}$ присвоюється вартість отриманого варіанта. Далі повторюємо попередні кроки до тих пір, поки не обійдемо всі вітки дерева. Таким чином різко зменшується кількість варіантів, що розглядаються.

Отже метод "віток та меж" поєднує у собі простоту методу повного перебору та швидкодію направленої методу пошуку.

Створюються дві змінні: **Price** - містить вартість структури, яка на даному етапі пошуку оптимальна та **tmpPrice** - містить вартість шляху, який проходиться у даний момент. Спочатку **Price** присвоюється максимально можливе значення. Після вказаного підготовчого етапу починається обхід віток дерева. Послідовно перевіряються елементи масиву **Oborud**, доки не отримано елемент, який задовольняє заданій продуктивності, та виконує операції, на які вказує вказівник поточної операції. Далі заноситься індекс елемента в масив **tmpLine**, а до змінної **tmpPrice** додається вартість цього елемента. Якщо **tmpPrice** більше значення **Price**, то відновлюються попередні значення **tmpPrice** та **tmpLine**, і продовжується перевірка елементів масиву **Oborud**.

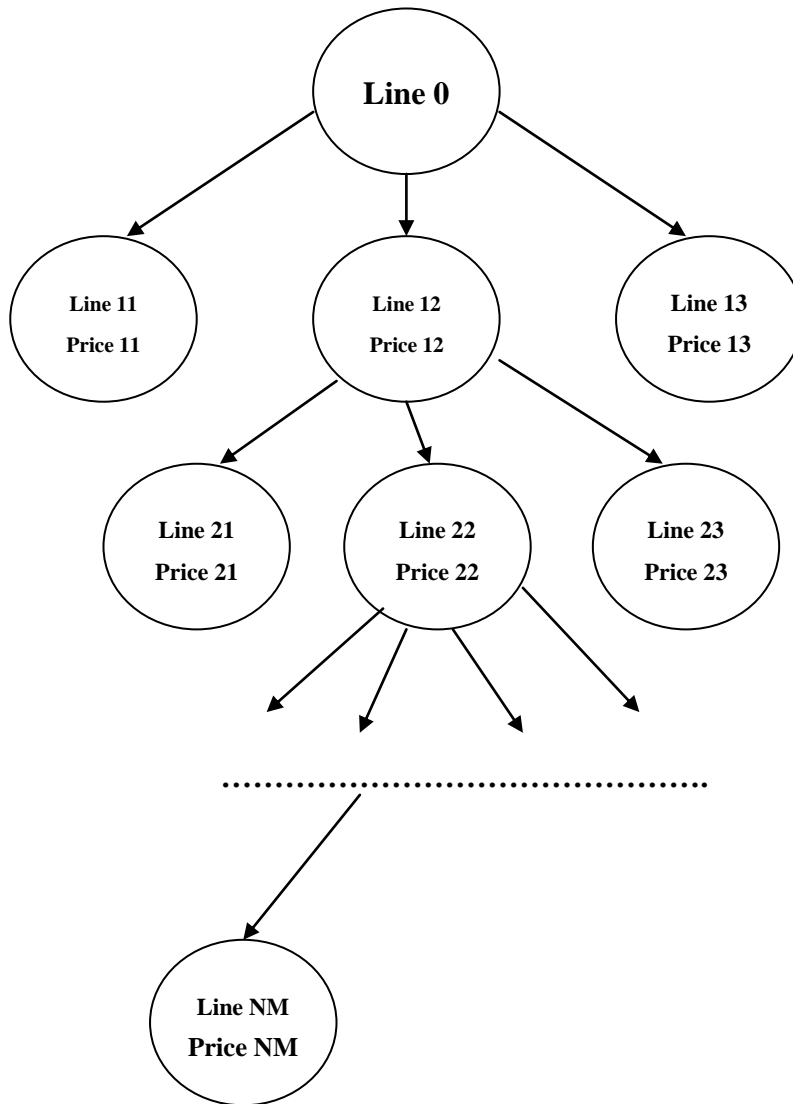


Рис .1 Схема застосування методу віток та меж для формування структури ГВС

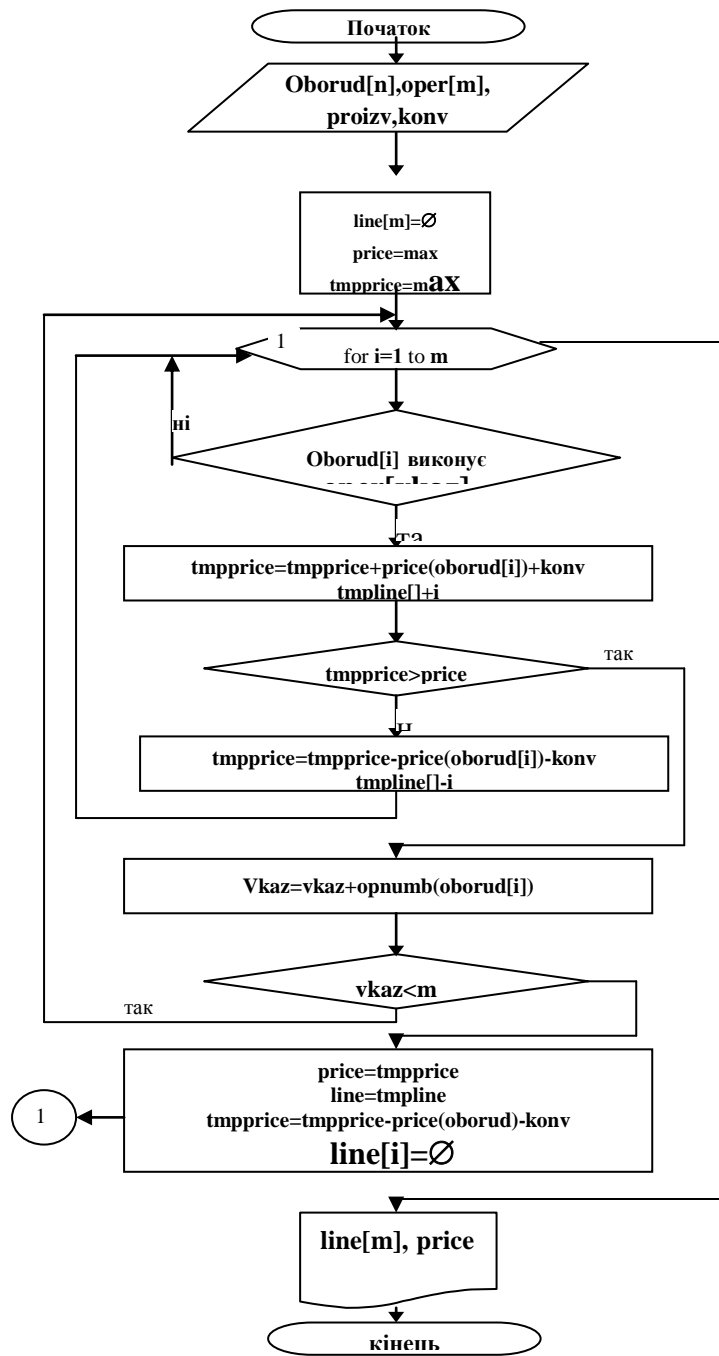


Рис.2. Алгоритм оптимізації структури ГВС пакування

У протилежному випадку збільшується значення вказівника поточної операції на кількість операцій, які виконує обладнання, та процес починається спочатку, тобто здійснюється перехід на вітку рівнем нижче. Коли вказівник поточної операції вказує на кінець масиву **Oper**, змінній **Price** присвоюється значення змінної **tmpPrice**, а масиву **Line** значення масиву **tmpLine**. Далі продовжується пошук. Якщо досягнуто кінця масиву **Oborud**, здійснюється перехід на вітку рівнем вище. Процес повторюється поки не буде досягнуто кінця останньої вітки.

Таким чином після здійснення вказаного алгоритму у змінній **Price** міститься вартість оптимізованої структури автоматизованої лінії, а у масиві **Oborud** список обладнання, із якого вона складається. Згідно до описаного алгоритму можна навести блок-схему оптимізації структури автоматичної лінії фасування (рис. 2).

Висновок

Проаналізувавши процес еволюції ГВС в провідних галузях промисловості, можна передбачити вірогідні тенденції їх розвитку в пакувальному виробництві.

1. Агрегування пакувальних машин з уніфікованих функціональних модулів відкриває шлях до створення пакувальних комплексів. У них передбачається концентрація практично всіх технологічних переходів (виготовлення тари, дозування, герметизація, нанесення інформації тощо в одній технологічній системі.

2. Впровадження засобів активного контролю має велике значення для перспектив розвитку ГВС. Інформація, що отримується на основі безконтактних вимірювань, повинна поступати в реальному масштабі часу в мікроконтроллерну систему керування машиною для використання її в управлінні процесом пакування.

3. Використання способу інтелектуальної адаптації до змін виробничій ситуації і автоматична діагностика стану складного технологічного устаткування і автоматичне усунення несправностей.

1. Сольнищев Р.И. и др. Автоматизация проектирования гибких производственных систем.-Л.: Машиностроение, 1990.-415 с.
2. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация .-М.: Мир, 1985 .-486 с.