

УДК 621.002.5.001

Крестьянполь О.А., к.т.н., доцент

Луцький національний технічний університет

## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ПАКУВАННЯ

*Показано методику використання інформаційних технологій при проектуванні узагальнених маршрутів і групових операцій в пакувальному виробництві*

Функціональне проектування, гнучка виробнича система.

### 1. Формальний опис технологічних і переналагоджувальних операцій в ГВС

Функціональний проектування ГВС — це побудова моделі функцій ГВС, які реалізують її службове призначення. Така модель дозволяє розв'язати задачі [1-2]:

- побудова структури групового технологічного процесу ГВС;
- раціональний розподіл сукупності функцій, що реалізуються в ГВС, між окремими функціональними елементами;
- визначення структури процесу переналагодження.

За призначенням розділимо функції, що виконуються в ГВС, на три види: технологічні, допоміжні та переналагодження. До технологічних віднесемо функції, що реалізують заданий технологічний процес і визначають технічний контроль стану виробу, до допоміжних — функції переміщення виробів, їх складування і обліку, діагностування стану ГВС, видалення відходів тощо, а до функцій переналагодження — ті, які забезпечують адаптацію ГВС до пакування і випуску іншої продукції заданої номенклатури або до нових умов роботи.

За основу методу формалізованого відображення процесів функціонального проектування ГВС приймемо модель структурної одиниці групового процесу — технологічної операції (ТО). Під моделлю технологічної операції ГВС розумітимемо відносно самостійний фрагмент технологічного процесу, в якому визначені вхід, вихід, оператор керування, технічні засоби реалізації та зв'язок з іншими операціями технологічного процесу.

Процедурна модель групової технологічної операції задається діаграмою та вектором [2]:

$$TO = \{X, Y, Q, U\},$$

- де  $X$  — вектор входу, що складається з множини параметрів  $\{x_i\}$ ,  $i=1, n$ ;  
 $Y$  — вектор виходу, що складається з множини параметрів  $\{y_j\}$ ,  $j=1, m$ ;  
 $Q$  — технічні засоби, необхідні для реалізації технологічної операції;  
 $U$  — вектор керування реалізацією технологічної операції для забезпечення заданого  $Y$ ,  
 $S$  — вектор керування переналагодженням технологічної операції.

Як видно із процедурної моделі групової технологічної операції в складі технологічного ГВС, така операція повинна відповідати не тільки вимогам забезпечення якості виробу, але і умовам гнучкості для адаптації (переналагодження) для виготовлення виробів заданої номенклатури із заданою продуктивністю.

**Процеси переналагодження** є одними з основних в ГАВ, вони мають такі ж характеристики як і технологічні процеси, тобто мають свою структуру, відрізняються складністю і рівнем автоматизації, характеризуються тривалістю проведення тощо.

Джерела, які призводять до переналагодження ГВС, як правило можуть бути:

1. **Конструкторські** - зміна конструкції виробу (форма, розміри, властивості поверхонь, фізико-механічні характеристики, структура тощо).
2. **Технологічні** - зміна технологічного методу, маршруту, структури операції, зміна контрольних і керуючих методів.
3. **Організаційні** - зміна методів транспортування, накопичення, зберігання, зміна програми випуску чи послідовності випуску партій різних виробів.

Придатність технологічного обладнання до переналагодження при реалізації групових технологічних операцій характеризується їх універсальністю.

## 2. Проектування групового технологічного процесу пакування

Основним в пакувальному виробництві є технологічний процес пакування, результатом якого є отримання пакування, яке розглядатимемо як виріб, до складу якого входить доза пакованого продукту, комплект пакувальних засобів (тара та допоміжні пакувальні засоби – ДПЗ) і носій інформації про пакований продукт і про умови його отримання, пакування і використання.

Технологічний процес пакування включає технологічні і допоміжні операції.

Не дивлячись на різноманіття пакованих продуктів, технологічні операції зводяться до наступних:

- фасування, що включає дозування продукту і переміщення його в тару;
- герметизацію, що забезпечує фіксацію і зберігання дози;
- нанесення носія інформації, наприклад етикетування.

До допоміжних операцій, які забезпечують можливість виконання основних, відносяться:

- транспортно-накопичувальні, які забезпечують доставку тари, продукту, ДПЗ в устаткування, що реалізує їх взаємодію для отримання пакоівнів, а також виведення цих паковань із технологічної пакувальної системи;
- контрольні, які фіксують якість процесу пакування. Вони можуть здійснюватися в явній або неявній формі.

Послідовність виконання технологічних операцій в процесі пакування не є жорстко регламентованою. Вона може бути:

- паралельною, при якій всі взаємодії відбуваються одночасно, а технологічний цикл процесу визначиться найбільш тривалою операцією;
- послідовною, при якій всі взаємодії відбуваються крок за кроком в певній послідовності, а технологічний цикл визначається сумою тривалостей всіх операцій;
- змішаною, при якій використовують послідовну і паралельну взаємодію операцій.

Використання різних варіантів поєднання технологічних операцій створює можливості для існування декількох варіантів технологічних маршрутів та, як наслідок, і конструктивних варіантів пакувального обладнання. Оскільки отримані таким чином технологічні схеми мають різні експлуатаційні характеристики навіть при пакуванні одного і того ж продукту в однаковій кількості, то тут відкриваються широкі можливості для оптимізації конструкторсько-технологічних рішень при синтезі пакувального обладнання.

### 1. Принципи проектування узагальненого маршруту пакування

Проектування узагальненого маршруту пакування групи виробів заданої номенклатури може здійснюватися двома шляхами [3]:

1. **технологічний синтез узагальненого маршруту**, який включає аналіз індивідуальних процесів для конкретних виробів заданої номенклатури та об'єднання однотипних операцій в групові, які здійснюються на одному обладнанні при певному рівні переналагодження;
2. **синтез комплексного виробу**, який включає аналіз конструкцій виробів заданої номенклатури, побудова віртуального комплексного виробу, що включає всі елементи групи виробів заданої номенклатури, побудова групового процесу із груповими операціями для виготовлення цього віртуального виробу і вичленування із узагальненого маршруту індивідуальних процесів для кожного виробу заданої номенклатури.

**Процедура технологічного синтезу** узагальненого маршруту є частиною проектного завдання синтезу ГВС з оптимальним набором технологій [3]. Виявлення сполучуваності технологій, пов'язаних з функціонуванням конкретної ГВС, що полягає у використанні для них одного і того ж устаткування і інструменту, дозволяє максимально скоротити витрати, підвищити коефіцієнт використання устаткування (рис. 1).

Аналіз сполучуваності технологій, що реалізуються в ГВС, дозволяє визначити необхідність залучення додаткових індивідуальних технологічних процесів в узагальнений маршрут або виключення з нього діючих, але малоефективних.

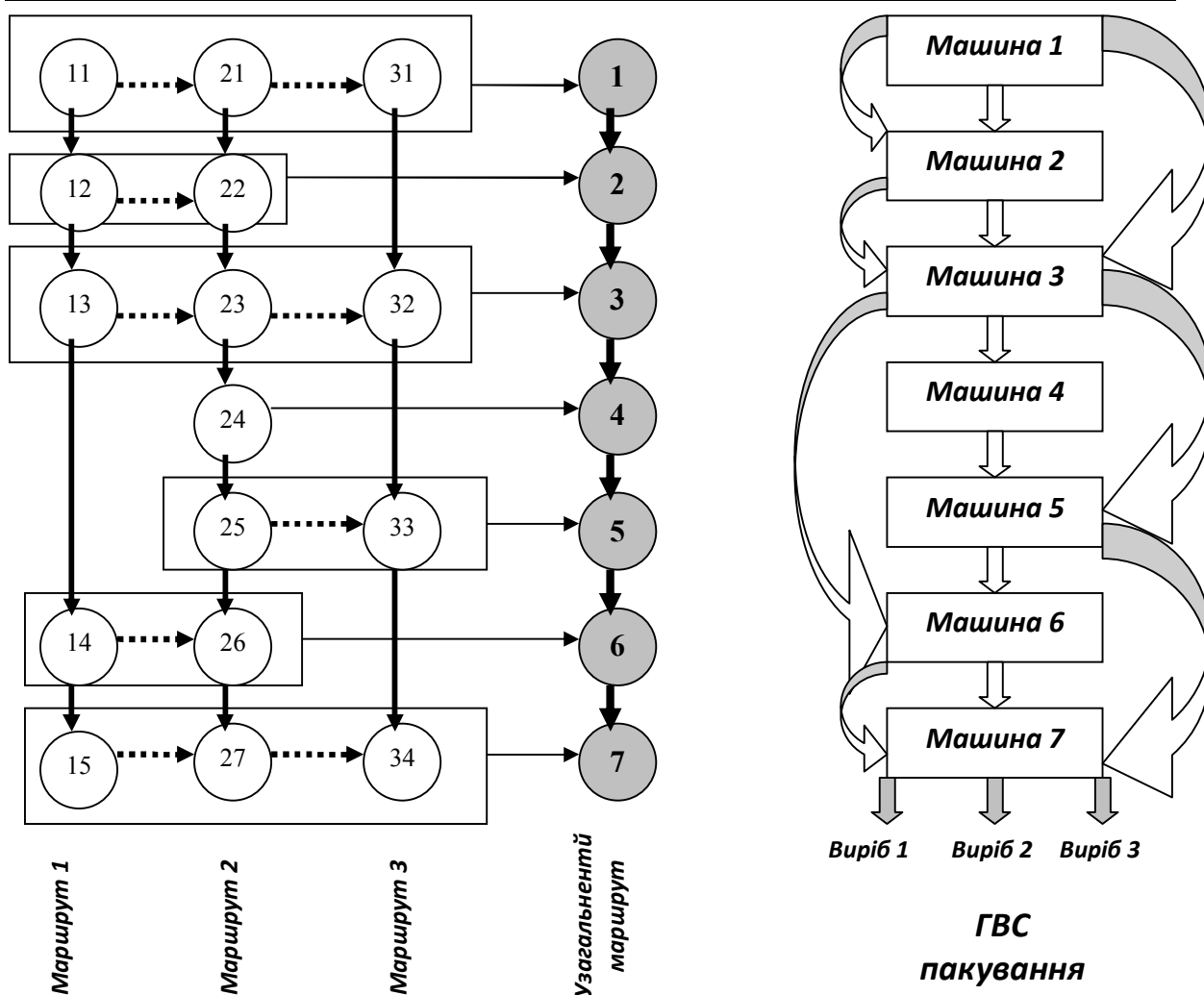


Рис.1. Формування узагальненого маршруту із індивідуальних процесів

Для цього необхідно розрахувати коефіцієнт ефективності включення технології в груповий процес як відношення ефекту  $E$ , що забезпечується технологією, до витрат на її організацію  $W$

$$K_{BT} = \frac{E}{W}.$$

Якщо значення цього коефіцієнту є високим для технології, що планується до впровадження в порівнянні з наявними, то необхідно прийняти рішення про доповнення нею узагальненого маршруту ГВС.

Для підвищення гнучкості ГВС необхідно прогнозувати послідовність заявок на ту або іншу продукцію, щоб відповідно до цього готувати індивідуальні маршрути до використання. При цьому вірогідність використання технологій можна оцінювати і на основі наявного статистичного матеріалу.

**Процедура синтезу комплексного виробу [4].** В основу процедури синтезу комплексного виробу покладено групування виробів і розробка їх спільної моделі на основі модульно-елементного опису кожного виробу, створення на основі цієї моделі групового технологічного процесу пакування.

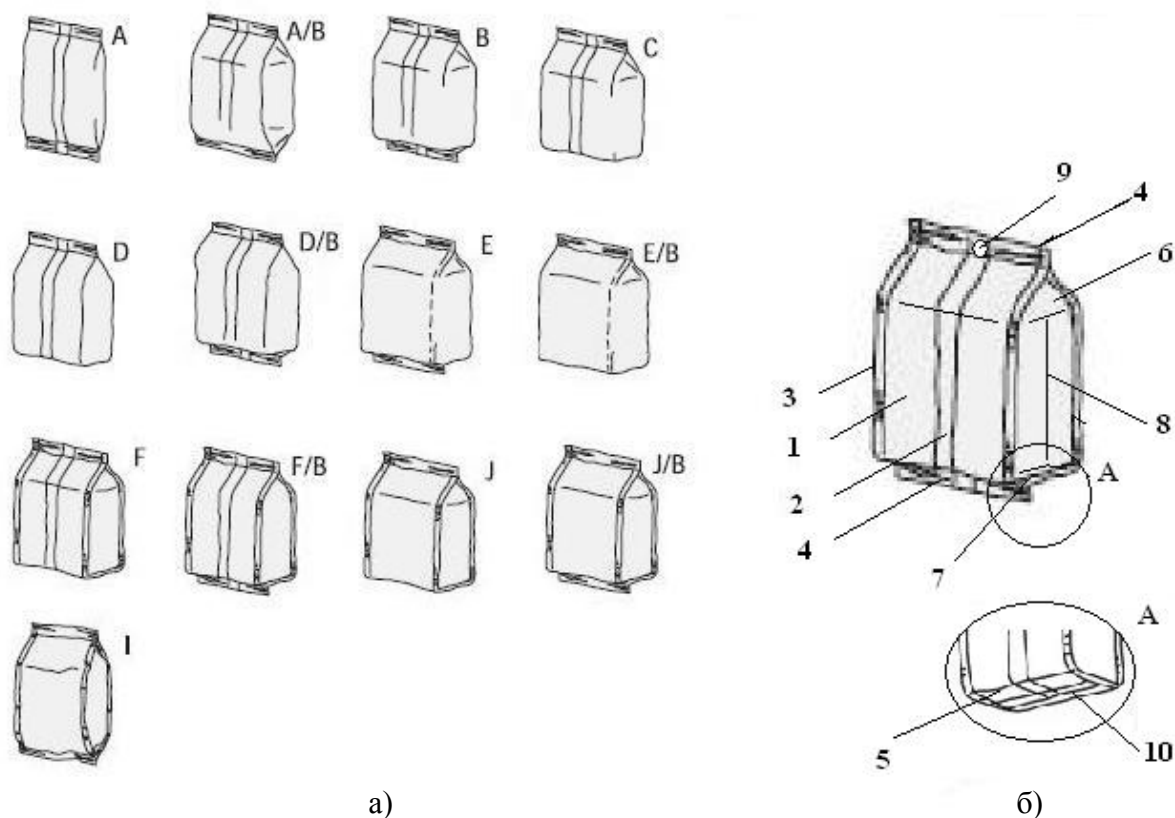


Рис. 2. Типові конструкції пакетів для сипких продуктів (а) та елементи комплексного пакета (б):  
 1 – корпус, 2 – поздовжній шов, 3 – бічна спайка, 4 – поперечні шви, 5 – дно, 6 – верхня складка, 7 – нижня складка, 8 – бічні складки, 9 – отвір для підвішування, 10 – підігнутий нижній шов

Як приклад, розглянемо застосування такого підходу до формування узагальненого маршруту пакування сипких речовин. Для цього необхідно зібрати й проаналізувати вихідну інформацію про об'єкти виробництва; обґрунтувати їх детальний вибір (конструкцію, вид, тип матеріалу, спосіб формоутворення, герметизації, запаковування, пакування упаковки, допоміжні пакувальні засоби), що підлягає технологічній обробці або виготовленню; розробити послідовність основних та допоміжних операцій обробки об'єктів; визначити вимоги до обладнання, що входять до складу технологічного комплексу; обрати обладнання; скласти планування технологічної дільниці, а також дати техніко-економічне обґрунтування організаційно-технологічної структури виробничої системи.

Найбільш розповсюдженою споживчою упаковкою із плівкових матеріалів є пакет – м'яка упаковка з корпусом у формі рукава, з дном різної конфігурації, з відкритою горловиною, з клапанами чи без них. На першому кроці визначається множина конструктивних елементів групи пакувань (рис. 2, а). Кожен пакет групи, відповідно до типу, може мати набір тих чи інших конструктивних елементів. Комплексний пакет (рис. 2, б)), на основі якого і створюється груповий технологічний процес виготовлення групи пакувань, містить елементи, властиві всім наведеним вище конструктивним типам пакувань. Позначимо ці елементи  $a_1, a_2, \dots, a_{10}$  відповідно. Окрім цього важливими будуть і розміри пакета, від яких залежить ширина плівки та величина її протягування на крок при налагодженні машини.

На основі конструктивних елементів комплексного пакета будується системна модель групи виробів. Можна вважати, що ця модель є множиною, підмножинами якої є всі реальні пакети групи. Оскільки для реалізації кожного конструктивного елементу пакета  $a_{ij}$  необхідно виконати певний технологічний перехід, то для виготовлення всієї групи пакувань ГВС повинна мати технологічні можливості для реалізації  $N$  технологічних переходів

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{ij},$$

де  $a_{ij}$  - j-ий елемент i-ої конструкції пакування,  
 $n$  – кількість конструктивних типів пакувань в групі;  
 $m_i$  – кількість елементів в i-тому пакуванні.

Оскільки в реальних умовах на кожній з технологічних машин можна реалізувати декілька переходів, то загальна кількість переходів  $N$ , для якої створюється ГВС при розгляді може бути суттєво зменшена. Причому, чим вище універсальність устаткування, тим суттєвіше це зменшення, тим менше одиниць обладнання в ГВС і тим простіша її структура.

При цьому результатом реалізації кожного технологічного переходу чи операції є утворення чи модифікація відповідного конструктивного елемента. Тоді узагальнений маршрут пакування включатиме всі можливі переходи чи операції (табл.1).

Табл. 1.

Кодування технологічних (f) і допоміжних (d) переходів та їх відповідність елементам конструкції пакета (рис. 5,б)

| Елемент конструкції пакета | Технологічний перехід | Зміст переходу                      |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| a1                         | f <sub>1</sub>        | Формування рукава                   |
| a2                         | f <sub>2</sub>        | Утворення поздовжнього шва          |
| a3                         | f <sub>3</sub>        | Утворення бічних спайок             |
| a4                         | f <sub>4</sub>        | Утворення поперечного шва           |
| a5                         | f <sub>5</sub>        | Підгинання дна                      |
| a6                         | f <sub>6</sub>        | Загинання верхніх складок           |
| a7                         | f <sub>7</sub>        | Загинання нижніх складок            |
| a8                         | f <sub>8</sub>        | Утворення бічної складки            |
| a9                         | f <sub>9</sub>        | Вирубання отворів у поперечному шві |
| a10                        | f <sub>10</sub>       | Підгинання нижнього шва             |
|                            | Допоміжний перехід    | Зміст переходу                      |
|                            | d <sub>1</sub>        | Протягування на крок                |
|                            | d <sub>2</sub>        | Відрізання готового пакета          |
|                            | d <sub>3</sub>        | Подача продукту                     |

Після виокремлення технологічних переходів чи операцій, здійснюється аналіз необхідності їх реалізації для кожного типу пакетів та створення узагальненого маршруту пакування. За його основу взято послідовність технологічних переходів чи операцій, необхідних для створення комплексного пакета. Очевидно, що такий процес повинен забезпечувати утворення конструктивних елементів, властивих усім типам пакетів у визначеній послідовності та реалізацію допоміжних операцій. Наведений груповий технологічний процес охоплює всі можливі способи пакування сипких продуктів в пакети усіх конструктивних типів.

При створенні індивідуальних маршрутів із сформованого групового технологічного процесу може бути задана послідовність виконання групових технологічних маршрутів, як це характерно для гнучких автоматизованих ліній, або послідовність виконання групових операцій не задається, як це характерно для гнучких автоматизованих дільниць. В другому випадку гнучкість ГВС є вищою.

Загальна кількість елементо-переходів – 86

Загальна кількість ФМ - 17

Кількість елементо-переходів, що припадає на один ФМ

$$N_{e-p} = \frac{86}{17} \approx 5$$

Матриця реалізації функцій для різних типів пакетів

|   | A        | A/<br>B  | B        | C        | D        | E        | E/<br>B  | D/<br>B  | F        | J        | J/<br>B  | F/<br>B  | I        | H        | Узага<br>ль-<br>нена<br>ТО | Кільк<br>ість<br>ФМ |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|---------------------|
| f <sub>1</sub><br>формування рукава             | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •                          | 1                   |
| f <sub>2</sub> -<br>утвор.позд.шва              | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •                          | 1                   |
| f <sub>3</sub> - бічні спайки                   |          |          |          |          |          |          |          |          | •        | •        | •        | •        | •        |          | •                          | 4                   |
| f <sub>4</sub> -попер.шов                       | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •                          | 1                   |
| f <sub>5</sub> - підгинан. дна                  |          |          | •        | •        | •        |          | •        | •        | •        | •        | •        | •        |          |          | •                          | 2                   |
| f <sub>6</sub> - загин.верхн.<br>складок        |          | •        | •        | •        |          | •        | •        | •        |          |          | •        | •        |          |          | •                          | 2                   |
| f <sub>7</sub> - загин.нижн.<br>складок         |          | •        |          |          |          | •        |          |          |          |          |          |          |          |          | •                          | 2                   |
| f <sub>8</sub> - утвор.бічних<br>складок        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | •        | •                          | 2                   |
| f <sub>9</sub> – висікання<br>отвору            | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •        | •                          | 1                   |
| f <sub>10</sub> -<br>підг.нижн.шва              |          |          |          | •        |          |          | •        | •        | •        | •        |          |          |          |          | •                          | 1                   |
| <b>Технологічна<br/>складність<br/>упаковки</b> | <b>4</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>7</b> | <b>7</b> | <b>7</b> | <b>7</b> | <b>7</b> | <b>5</b> | <b>5</b> | <b>10</b>                  | <b>17</b>           |

Універсалізація ГВС має на меті збільшення функцій технологічних машин для розширення номенклатури оброблюваних виробів. Оскільки сучасне пакувальне обладнання конструюється із готових функціональних модулів, то використовується ряд напрямів підвищення універсальності, що враховують модульність їх структури (рис. 6).

Ці напрями можуть бути розділені на дві великі групи:

1. Підвищення універсальності окремих функціональних модулів шляхом
  - збільшення можливостей їх регулювання;
  - розчленування робочих органів із подальшим комбінаторним використанням їх частин.
2. Підвищення універсальності машини зміною її структури шляхом:
  - використання змінних функціональних модулів;
  - зміни послідовності використання функціональних модулів, тобто їх перестановкою;
  - створення надлишкової кількості функціональних модулів в машині.

При створенні індивідуальних маршрутів із сформованого групового технологічного процесу може бути задана послідовність виконання групових технологічних маршрутів, як це характерно для гнучких автоматизованих ліній, або послідовність виконання групових операцій не задається, як це характерно для гнучких автоматизованих дільниць. В другому випадку гнучкість ГВС є вищою.

1. Świć A.: Elastyczne systemy produkcyjne. Technologiczno-organizacyjne aspekty projektowania i eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1998.

2. Gola A., Świć A., Kramar V.: A multiple-criteria approach to machine-tool selection for focused flexible manufacturing systems. Management & Production Engineering Review. Vol. 2, No 4, 2011, p. 21 – 32.

3. O.Krestianhol. Information software for design of flexible manufacturing systems (FMS) of packaging. Technological complexes scientific journal № 2(8), 2013, p. 169-176.

4. Крестьянполь О.А. Развитие методов проектирования гнучких виробничих систем пакування. Технологічні комплекси науковий журнал № 1,2 (5,6), 2012, с. 244-248.