

УДК 621.798: 621.79.03

Б.П.Валецький

Луцький національний технічний університет

СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН З ПЛІВКОЗВАРЮВАЛЬНИМИ МЕХАНІЗМАМИ

У статті проведено аналіз конструкції пакувальних машин з плівкозварювальними механізмами, та запропоновано синтезу їх функціонально-модульної будови з критерієм оптимізації за комплексним критерієм для вибору найбільш придатної машини залежно від умов експлуатації.

Пакувальна машина, синтез, стягування, зварювання, плівкозварювальний механізм, плівка.

Пакувальні машини (ПМ) з плівкозварювальними механізмами (ПЗМ) кожного року набувають в пакувальному виробництві все більшого поширення за рахунок зростання обсягів великогабаритної продукції, що підлягає пакуванню [1, 2, 4]. Конструкція таких машин є специфічною, бо включає як механізми заповнення полімерних пакетів, так і механізми їх формування із плівки та закривання і зварювання. Постійне вдосконалення конструкції ПМ, з метою підвищення їх продуктивності, універсальності і рівня автоматизації, призводить до зростання їх складності, та кількості механізмів, і як результат знижується надійність машин [6].

Застосування функціонально-модульного принципу побудови ПМ передбачає виділення в її структурі окремих функціонально незалежних механізмів – функціональних модулів (ФМ), створення списку їх модифікацій та розробка правил їх синтезу. У цьому випадку процес проектування зводиться до синтезу компонування машини із функціональних модулів.

Створюючи структуру ПМ при функціонально-модульному проектуванні можна виділити такі проектні процедури [5]:

$$ПМ = \langle A, S, W \rangle,$$

де A – аналіз та декомпозиція задачі проектування, яка задається службовою функцією ПМ, що дає змогу виділити множину функціональних модулів і зв'язків між ними;

S – синтез та генерування варіантів модулів у структуру машини;

W – оцінка, порівняння та відхилення неперспективних варіантів.

Перша проектна операція A – це аналіз службової функції ПМ, її декомпозиція та виділення множини вихідних функціональних модулів і зв'язків між ними.

На *другій проектній операції S* за допомогою комбінаторних методів генеруються варіанти структури шляхом різних поєднань виділених вихідних елементів.

Третя проектна операція W передбачає оцінку кожного варіанта ПМ, відхилення неперспективних і вибір оптимального за допомогою розроблених критеріїв та обмежень.

Використавши даний принцип проектування, розглянемо конструкцію установки для пакування великогабаритних пакетів та проведемо синтез її конструкції із основних конструктивних механізмів, необхідних для пакування.

Як показав аналіз подібних пристроїв [1, 2, 3, 4], для утворення подібного пакування необхідно щонайменше три механізми:

- механізм розмотування плівки;
- механізм обгортання пакета, до складу якого безпосередньо входить механізм зварювання;
- механізм подачі пакета.

Для полегшення процесу проектування та вибору найкращого варіанта ПМ з ПЗМ необхідно провести структурну оптимізацію, яка ґрунтується на знаходженні оптимального розв'язку, що містяться у скінченій множині допустимих варіантів. З метою полегшення синтезу структури ПМ для великогабаритного пакування застосуємо функціонально-вартісний аналіз.

За критерії оптимізації конструкції прийнято вартість і надійність ПМ при відомих вартостях і надійності її механізмів. Варіанти конструкції механізмів позначимо як E_{ij} у послідовності, яка відповідає графу. Призначенням її є наочне відображення виконання тим чи іншим ФМ певної функції у складі ПМ, що розглядається.

Одним з головних критеріїв надійності ПМ є комплексний показник ефективності – коефіцієнт готовності, який характеризує безвідмовність та ремонтпридатність всієї машини, або її вузлів (рис.1).

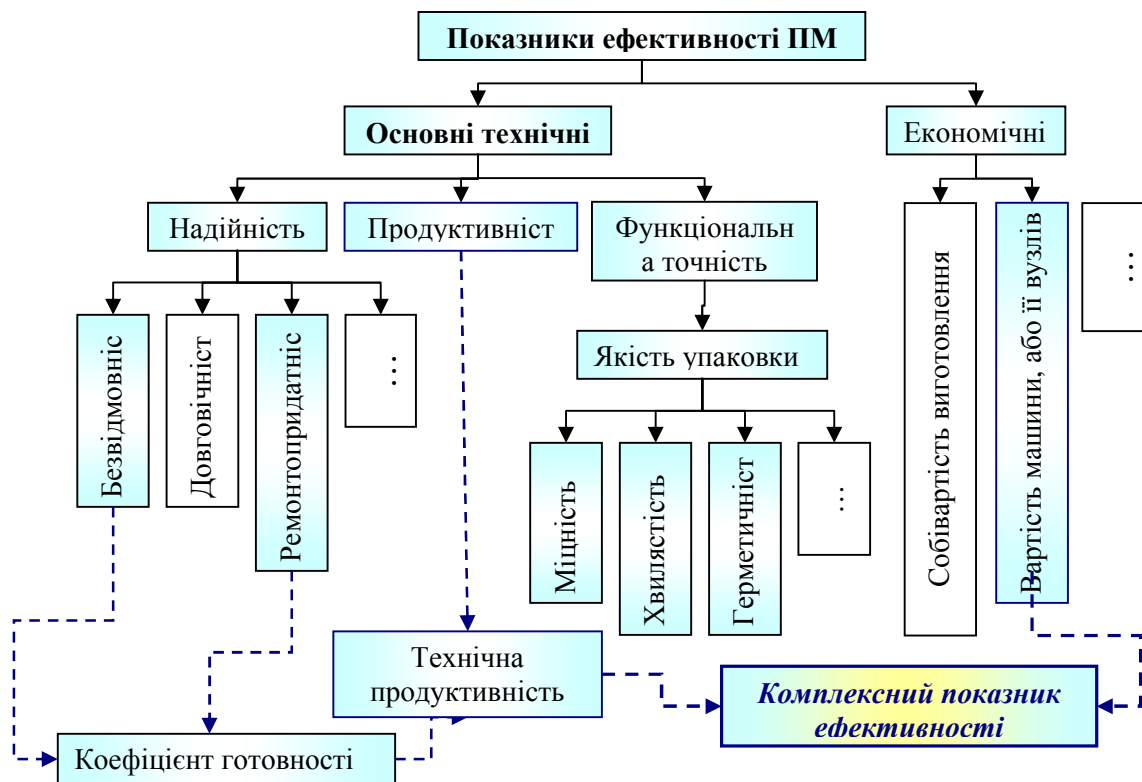


Рис. 1. Основні показники ефективності роботи ПМ з ПЗМ

Коефіцієнт готовності показує ймовірність того, що ПМ буде в працездатному стані в довільний момент часу, окрім запланованих періодів, під час яких її використання за призначенням не передбачається. Він є близьким до коефіцієнта технічного використання технологічної машини, який враховує окрім втрат часу для виявлення і усунення відмов також і втрати часу на їх попередження при технічному обслуговуванні.

Суть методу оцінки структури ПМ з ПЗМ полягає у наступному:

- 1) опис варіантів структури у вигляді дерева, вершини якого відповідають елементам матриці, а стрілки позначають їх зв'язки;
- 2) знаходження першого варіанта структури та прийняття його вартості за максимально допустиму B_{max} , а надійності – за мінімально допустиму $K_{Гmin}$;
- 3) перебирання варіантів конструювання ПМ за всіма відгалуженнями графа та порівняння отриманих значень B_{ij} та $K_{Гij}$ із вже набраною вартістю B_{max} та $K_{Гmin}$, який обчислюється за загальною формулою [5]:

$$K_G = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_{Gi}} - 1 \right)}, \quad (1)$$

де K_G – коефіцієнт готовності всієї ПМ,
 K_{Gi} – коефіцієнт готовності i -го механізму;

- 4) вибір варіанта із оптимальними результатами.

Для повної оцінки синтезованих варіантів МП необхідно враховувати обмеження за продуктивністю. Тобто введем технічну продуктивність $Q_{ТЕХ}$, як додатковий параметр оптимізації. Поєднання коефіцієнта готовності K_G і теоретичної продуктивності Q_T визначає технічну продуктивність:

$$Q_{ТЕХ} = Q_T \cdot K_G. \quad (2)$$

Для цього провівши аналіз машин аналогів, їх вузлів та механізмів приводів були визначені середні тривалості основних операцій, що представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Тривалості основних операцій роботи ПМ з ПЗМ

| Операція | Варіант конструкції приводу | Час виконання операції, сек. |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Подача пакета | Механічний привід | 10 |
| | Пневматичний привід | 5 |
| Обгортання пакета | Механічний привід | 8 |
| | Пневматичний привід | 3 |
| Стягування пакета | | 1 |
| Зварювання плівки | | 2 |

Оцінка можливих теоретичних продуктивностей синтезованих варіантів, наведено у табл. 2. Причому основний час $t_{осн}$ поваріантно підраховувався для всіх синтезованих варіантів, а допоміжний $t_{доп} = 20с$ був для всіх однаковий.

Отже мінімальну теоретичну продуктивність 88 шт/год мають варіанти «1», «5» та «9», а максимальну – 120 шт/год – «16», «20» та «24».

Таблиця 2.

Тривалості виконання робочих операцій різних варіантів ПМ, сек.

| Механізм | Привід | Варіанти синтезу структури машини великогабаритного пакування | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|---|----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Тривалість обгортання Пакета, сек. | механічн. | 8 | | | | 8 | | | | 8 | | | | 8 | | | | 8 | | | | 8 | | | |
| | пневматичн. | | | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | | 3 | 3 |
| | стягування | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | |
| | зварювання | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Тривалість подачі, сек. | механічн. | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | пневматичн. | | | | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | |
| Тривалість робочих операцій, сек. | | 21 | 20 | 16 | 15 | 21 | 20 | 16 | 15 | 21 | 20 | 16 | 15 | 16 | 15 | 11 | 10 | 16 | 15 | 11 | 10 | 16 | 15 | 11 | 10 |
| Продуктивність теоретична, шт./год | | 88 | 90 | 100 | 103 | 88 | 90 | 100 | 103 | 88 | 90 | 100 | 103 | 100 | 103 | 116 | 120 | 100 | 103 | 116 | 120 | 100 | 103 | 116 | 120 |

Спробуємо оцінити оптимальний варіант за економічним показником:

$$E_{ПМ} = B_{ПМ} / Q_{ТЕХ} \tag{3}$$

де $B_{ПМ}$ – вартість ПМ; $Q_{ТЕХ}$ – технічна продуктивність ПМ.

Побудуємо матричну таблицю, яка складається із переліку функцій, які необхідні для здійснення заданого технологічного процесу і типових для даного виду ПМ механізмів (табл. 3).

Перейдемо до побудови графічної моделі опису, який реалізується методом морфологічного аналізу, тобто простого перебирання, що є найбільш придатним при незначній кількості варіантів для оптимізації структури установки для великогабаритного пакування.

В результаті аналізу проведених розрахунків обрано варіант компоновання установки (10 варіант, [7]), структурний склад якої представимо аналітично у вигляді множини А:

$$A = \{ E_{13}, E_{21}, E_{31}, E_4 \},$$

Тоді сума вартостей отриманого набору ФМ складе:

$$B = B_{13} + B_{21} + B_{31} + B_4 = 1260 + 4840 + 5700 + 5500 = 17300 \text{ грн},$$

а коефіцієнт готовності всієї ПМ буде рівний:

$$K_T = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0,99} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,982} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,98} - 1 \right)} = 0,953.$$

Однак з точки зору надійності перевагу слід надати варіанту компоновання, відображеному множиною D:

$$D = \{ E_{11}, E_{21}, E_{33}, E_4 \},$$

а коефіцієнт готовності цього варіанта установки буде рівний:

$$K_G = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0,994} - 1\right) + \left(\frac{1}{0,982} - 1\right) + \left(\frac{1}{0,985} - 1\right)} = 0,962.$$

оскільки коефіцієнт готовності K_G такого варіанта буде найвищий.

Таблиця 3

Функціонально-вартісний аналіз установки для пакування великогабаритних пакетів

| Елемент (механізм) | Варіант конструкції | Коефіцієнт готовності | Функції | | | | Вартість V_{ij} , грн. |
|------------------------------|--|-----------------------|---------------------|---------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | Розмотування плівки | Подача пакета | Стягування плівки | Зварювання і відрізання | |
| Механізм розмотування плівки | E ₁₁ (механічний) | 0,994 | • | | | | 4400 |
| | E ₁₂ (пневматичний) | 0,962 | • | | | | 7300 |
| | E ₁₃ (інерційний) | 0,99 | • | | | | 1260 |
| Механізм подачі пакета | E ₂₁ (механічний) | 0,982 | | • | | | 4840 |
| | E ₂₂ (пневматичний) | 0,96 | | • | | | 6250 |
| Механізм обгортання пакета | E ₃₁ (без стягув., звар. мех.) | 0,98 | | | | • | 5700 |
| | E ₃₂ (без стягув., звар. пневм) | 0,965 | | | | • | 8200 |
| | E ₃₃ (з стягув., звар. мех.) | 0,985 | | | • | • | 6600 |
| | E ₃₄ (з стягув., звар. пневм.) | 0,952 | | | • | • | 9350 |
| Рама | E ₄ | 1 | | | | | 5500 |

Оціним оптимальний варіант за економічним показником:

$$E_{ПМ} = V_{ПМ} / K_{ГПМ}$$

де $V_{ПМ}$ – вартість ПМ.

У табл. 4. представлена оцінка за даним критерієм. Найменший критерій у варіанта «10».

Таблиця 4.

Оцінка ПМ за комплексним критерієм (відношення вартості до коефіцієнта готовності)

| Механізм | Принцип | Варіанти розв'язку структури машини великогабаритного пакування | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Обгортання пакета | механічн. | - | - | | | - | - | | | - | - | | | - | - | | | - | - | | | - | - | | |
| | пневматичн. | | | + | + | | | + | + | | | + | + | | | + | + | | | + | + | | | + | + |
| | стягування | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | | + | |
| | зварювання | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 | 6701 | 5816 | 9821 | 8497 |
| Вартість, К _Г , грн | подачі | 4929 | | | | | | | | | | | | 6197 | | | | | | | | | | | |
| | розмотування | 4127 | | | | | | 7588 | | | | | | 4127 | | | | | | 7588 | | | | | |
| | | | | | | 1273 | | | | | | | | | | | | 1273 | | | | | | | |
| Всього, гра | | 22185 | 21355 | 23892 | 24331 | 26011 | 23166 | 29912 | 38272 | 18095 | 18145 | 22602 | 21081 | 24132 | 23291 | 27947 | 26342 | 28067 | 27210 | 32076 | 30691 | 20881 | 20029 | 24596 | 23031 |

Для об'єктивного вирішення цього завдання оцінимо дані результати з врахуванням комплексного показника ефективності.

Граф варіантів розв'язку структури (рис.2) синтезованої ПМ.

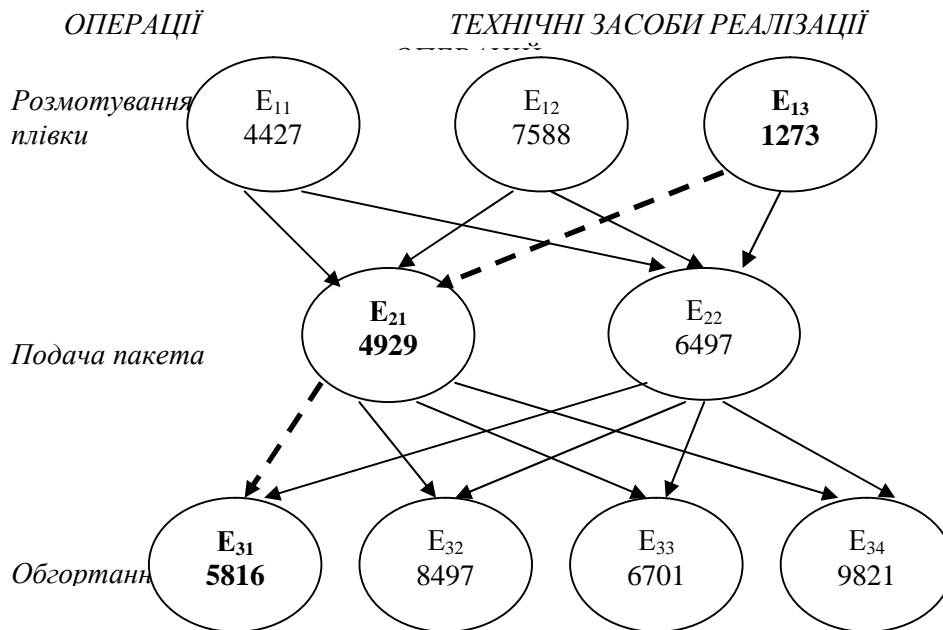


Рис. 2. Граф варіантів розв'язку структури установки для пакування великогабаритних пакетів

У табл. 4. представлені змішані оцінки за технічною продуктивністю та комплексним показником відношення вартості ПМ до її продуктивності. Отже, найвищу продуктивність забезпечують варіанти «16» та «24». Однак найоптимальнішим є варіант «10».

При накладанні обмежень на продуктивність варіантів і типів приводів основних механізмів оптимальним може бути інший варіант ПМ.

Висновки

На основі розробленої моделі синтезу компонувань пакувальної машини, з врахуванням специфіки великогабаритного пакування виявлено необхідність введення у структуру машини вузла стягування пакета при зварюванні плівки для забезпечення якості пакування. Виділені основні схеми компонувань, придатні для подальшого аналізу.

Проведено теоретичний аналіз 24 синтезованих варіантів компонувань структури установки для великогабаритного пакування з врахуванням продуктивності та вартості відповідних механізмів.

Запропоновано комплексний критерій $E_{ПМ}$ оцінки синтезованих варіантів, до складу якого входять коефіцієнт готовності модулів структури, вартість цих модулів, або машини в цілому та продуктивність.

1. Гавва О.М. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 2 кн. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. [За ред. А.І.Волчка]. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2007. – 136с.

2. Гавва О.М. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 3 кн. Обладнання для обробки транспортних пакетів / Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. [За ред. А.П. Безпалька]. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2006. – 96с.

3. Мартинців М.П. Теоретичні основи розроблення несучих і тягових канатних систем / М.П. Мартинців // Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал. Машинознавство. – №6. – 2002. – С.28–32.

4. Шипинский В.Г. Упаковка и средства пакетирования / В.Г. Шипинский Минск: УП "Технопринт", 2004. – 416с.

5. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): [Навч. посіб.] / Б.О. Пальчевський, – Львів: Світ, 2007. – 392с.

6. Якимчук М.В. Шляхи зменшення енергозатрат у пакувальному обладнанні / Якимчук М.В., Гнатюк Ю.Й., Берегенко К.І. // Упаковка. – 2005. – №3. – С.45–47.

7. Валецький Б.П. Особливості проектування плівкозварювальних автоматів зі зварними механізмами значної довжини // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Випуск 21., Луцьк, 2008.-С.9-14.