

# Аналіз компонування і методологія синтезу пакувального обладнання

О.М. Гавва, д.т.н., Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

*Актуальними проблемами сучасного пакувального машинобудування є: комплексна автоматизація технологічного процесу, упровадження гнучких технологій з можливістю швидкого переналаджування обладнання на виготовлення високоякісних виробів різних форм і розмірів, забезпечення високої продуктивності за мінімальних енерго- і металовитрат, компонування універсальних пакувальних ліній (all inclusive) від одного виробника. Передумовою розвитку пакувального обладнання є аналіз і синтез існуючих конструкцій машин та ліній, виділення переваг і недоліків окремих функціональних модулів. Одним з напрямків вирішення проблеми створення нового покоління пакувального обладнання є залучення принципу модульного проектування, відповідно до якого будь-яка частина системи синтезується з окремих елементів (модулів). Модульне проектування обладнання узгоджується з еволюційним підходом і надає виробнику обладнання можливість проектувати складні технічні системи з послідовними і паралельними, плоскими і просторовими внутрішньомашинними транспортними системами. Сукупність функціонально зв'язаних між собою модулів утворює модульну структуру машини.*

Одним з важливих параметрів під час проектування технологічних потоково-транспортних систем є коефіцієнт використання технологічного простору на всіх ієрархічних рівнях:

$$K_p = V_k / V_{Op}, \quad (1)$$

де  $V_k$  — об'єм простору, у якому розташовують обладнання (технологічні елементи);

$K_p$  — коефіцієнт використання технологічного простору на  $p$ -рівні;

$V_{Op}$  — загальний об'єм простору, який обмежує функціональну технологічну одиницю.

Принцип роботи фасувально-пакувального обладнання базується на взаємопов'язаному русі кількох матеріальних потоків: потоку пакувального матеріалу, допоміжних пакувальних засобів, тари та продукції. Якщо проектується складні технологічні системи з  $n$ -потоково-просторових модулів, необхідно їх компонувати у просторі, формуючи виробничі ділянки, а потім ділянки просторово компонувати відносно всього об'ємного простору виробничого цеху [1]. При цьому слід зауважити, що їхнє розміщення потрібно проводити з розрахунку підвищення щільності потоково-просторових технологічних модулів у виробничому цеху.

Можливі шляхи підвищення ефективності роботи пакувального обладнання і напрямки його розвитку можна проаналізувати на основі внутріш-

ньомашинних зв'язків і ліній пакування. Внутрішньомашинні зв'язки відображають структуру пакувальних машин і залежать від їхніх класу, групи та виду.

Клас машини-автомата визначається співвідношенням тривалості робочого  $T_p$ , технологічного  $T_m$  і кінематичного  $T_k$  циклів машини. Робочий цикл — це проміжок часу між виходом з машини чергової пакувальної одиниці, технологічний — це сумарна тривалість всіх несуміщених у часі основних і допоміжних технологічних операцій, кінематичний — проміжок часу, з плином якого положення, швидкості і прискорення робочих органів повторюються.

Сьогодні нагальним завданням є максимальне зменшення загального часу виготовлення виробу за збереження його початкових параметрів якості і реалізації максимальної продуктивності обладнання.

У різних структурних схемах пакувальних машин можлива реалізація чотирьох співвідношень даних циклів:

$$T_p = T_m, T_p > T_k, T_m > T_k; \quad (2)$$

$$T_p < T_m, T_p = T_k, T_m > T_k; \quad (3)$$

$$T_p < T_m, T_p < T_k, T_m < T_k; \quad (4)$$

$$T_p < T_m, T_p < T_k, T_m > T_k. \quad (5)$$

У відповідності із приведеними співвідношеннями машини-автомати поділяють на чотири класи.

Група машин-автоматів характеризується способом переміщення про-

дукції, тари та упаковки. Розрізняють дві групи машин-автоматів. Машини першої групи характеризуються тим, що продукція та упаковка переміщуються послідовно робочими органами, з одночасним виконанням технологічних операцій. Машини другої групи здійснюють технологічні переміщення спеціалізованим робочим органом (транспортними системами). Вид машин-автоматів залежить від траєкторії переміщення продукції та упаковки. Виокремлюють чотири види машин-автоматів: перший вид — переміщення здійснюється по лінійній траєкторії, другий — по дузі і по колу, третій — по комбінованих траєкторіях, четвертий — по складних траєкторіях [1].

Використовуючи класифікацію структури машин Благодарського В.А. (рис. 1), спробуємо виокремити основні типи внутрішньомашинних транспортних засобів у пакувальному обладнанні (рис. 2).

На основі аналізу роботи і конструкцій пакувального обладнання встановлено, що найбільш ефективним способом транспортування об'єктів оброблення (пакування) є транспортні засоби напрямленої дії з вільним режимом (ритмом) роботи. У цьому випадку всі робочі органи можуть проявити власні індивідуальні характеристики. Основним принципом побудови внутрішньомашинного транспортування продукції є безперервність

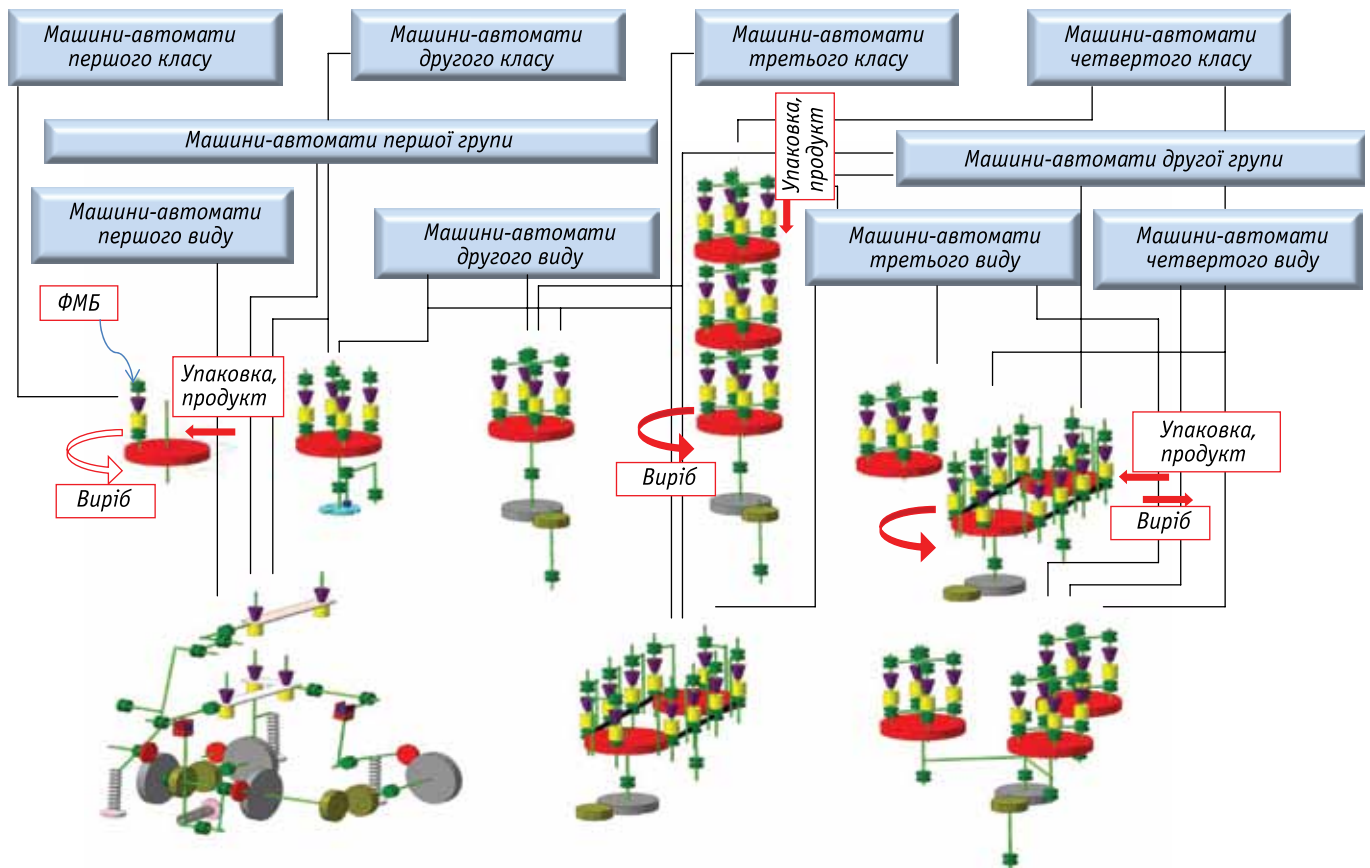


Рис. 1. Класифікація структури пакувальних машин-автоматів (ФМБ — функціональні модульні блоки)

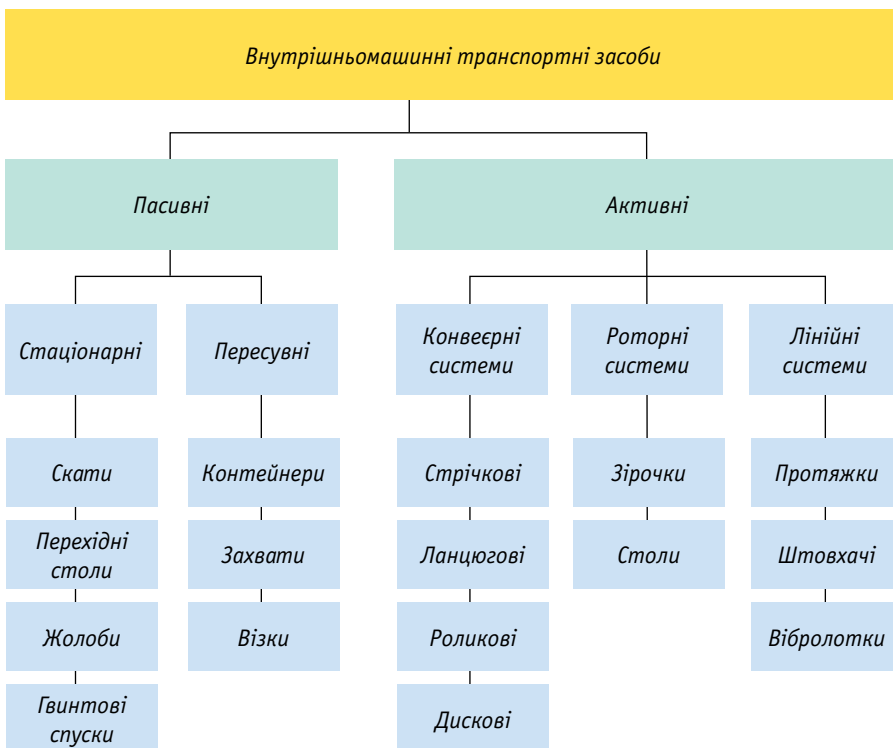


Рис. 2. Класифікація внутрішньомашинних транспортних засобів за видом робочих органів

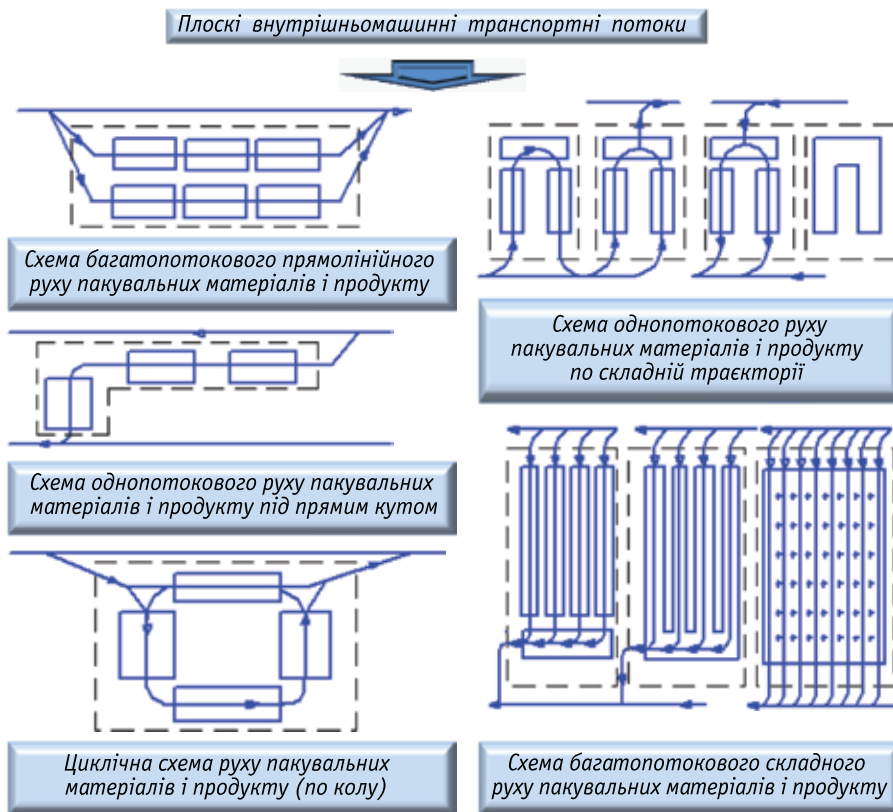
її подачі на етап оброблення. Крім цього для зручності обслуговування необхідно обирати мінімальну кількість видів транспортних засобів для оброблення одного матеріального потоку — тобто потоку продукції або упаковки.

Під час складання компонування пакувального обладнання (машини або лінії) при розробленні внутрішнього циклу оброблення продукції потрібно враховувати можливі варіанти переміщення продукції у внутрішньомашинному транспортному модулі. Причому внутрішні зв'язки і напрямки матеріальних потоків у модулі можуть суттєво відрізнитися (рис. 3, 4).

Невід'ємною складовою процесу аналізу і синтезу обладнання є визначення його продуктивності. Фактична продуктивність урахує всі компоненти робочого циклу:

$$Z_{\phi} = \tau_{p,x} / \{T(\tau_{p,\Sigma} + \tau_{TOS} + \tau_{BS})\}, \quad (6)$$

де  $\tau_{p,\Sigma}$ ,  $\tau_{TOS}$ ,  $\tau_{BS}$  — математичне очікування сумарного часу відповідно роботи системи, технічного обслуговування,



**Рис. 3.** Класифікація внутрішньомашинних транспортних зв'язків у плоских компоувальних системах пакувального обладнання

відновлення обладнання після експлуатації;

$T$  — час роботи до зупинки обладнання. Технічна продуктивність урахує власні технічні втрати (простой), які можуть бути викликані відмовами системи:

$$Z_T = \tau_{p,x} / \{T(\tau_{p,\Sigma} + \tau_{B\Sigma})\}, \quad (7)$$

де  $\tau_{p,x}$  — час робочого ходу обладнання. У разі моделювання пакувального обладнання методом блочної адаптації готових модулів урахують саме технічну продуктивність пакувальної машини.

Для визначення загального обсягу продукції  $Z_0$ , що виробляється за період  $T$ , потрібно розрахувати технічний час роботи:

$$\tau_T = \tau_\Sigma - \tau_{T0\Sigma} = \tau_{p,\Sigma} + \tau_{B\Sigma}. \quad (8)$$

де  $\tau_\Sigma$  — заданий період експлуатації обладнання.

Тоді загальний обсяг продукції визначаємо:

$$Z_0 = Z_T \tau_T = Z_\phi \tau_\Sigma = \tau_{p,x} / T. \quad (9)$$

Питання надійності і продуктивності під час створення високоефективного обладнання є технічною основою для побудови обладнання за модульним блоковим принципом [2].

Будь-яке виробництво має ієрархічну структуру, а отже, і процеси, що реалізуються в ньому, мають таку саму структуру.

Виробничий процес — це сукупність дій, пов'язаних з функціонуванням даного виробничого підрозділу. А тому виробничий процес підприємства, цеху, дільниці або ж обладнання можна навести у вигляді технологічної схеми.

У моделі виробничого процесу присутні такі елементи: предмет праці — продукція, упаковка, продукт праці — пакувальна одиниця, транспортно-технологічна система (ТТС). На підставі цієї моделі можна сформулювати розгорнуте визначення виробничого процесу: технічно і організаційно упорядкована взаємодія засобів праці та праці людей на предмет праці з метою отримання необхідного продукту

праці і функціонування всіх супутніх виробничих підрозділів у необхідному режимі.

Визначення технологічних і виробничих процесів може сумішатися в часі (паралельно або з перекриттям). Поєднання зазначених елементів є одним із прийомів скорочення загальної тривалості процесу.

Технології пакування здебільшого розглядають як поточну систему процесів з детермінованими зв'язками. Таку систему доречно представити у вигляді орієнтованого графа (рис. 5), який дає можливість приймати оптимальне рішення по внутрішньомашинних транспортних зв'язках.

Детерміновані зв'язки між елементами процесу вимагають синхронізації швидкостей виконання цих елементів. Тому технологічні параметри кожного індивідуального елемента процесу можуть бути не оптимальними. Але сукупність усіх параметрів повинна забезпечувати безперебійну роботу пакувальних машин-автоматів [3]. Проектування таких машин-автоматів зводиться до послідовного вирішення таких завдань:

- за заданими характеристиками продукції, що пакується, і пакувальної одиниці вибирають модель і марку пакувальної машини-автомата;
- за заданої кількості пакованих одиниць, що повинна виготовлятися, та продуктивності вибраної фасувально-пакувальної машини-автомата розраховують їхню необхідну кількість;
- визначають оптимальне компоновання фасувально-пакувальних машин-автоматів і необхідні виробничі площі;
- визначають принципи з'єднання і ділення всіх матеріальних потоків, у результаті чого вибирають схему і обладнання для забезпечення виробництва необхідними основними і допоміжними матеріалами;
- залежно від виду тари та упаковки розробляють технологічну схему і вибирають відповідне обладнання для формування тари в об'ємну конструкцію, її орієнтування і транспортування в зону фасування;
- за виглядом та розмірами заповненої продукцією споживчої тари визначають розміри і проектують транспортну тару, керуючись

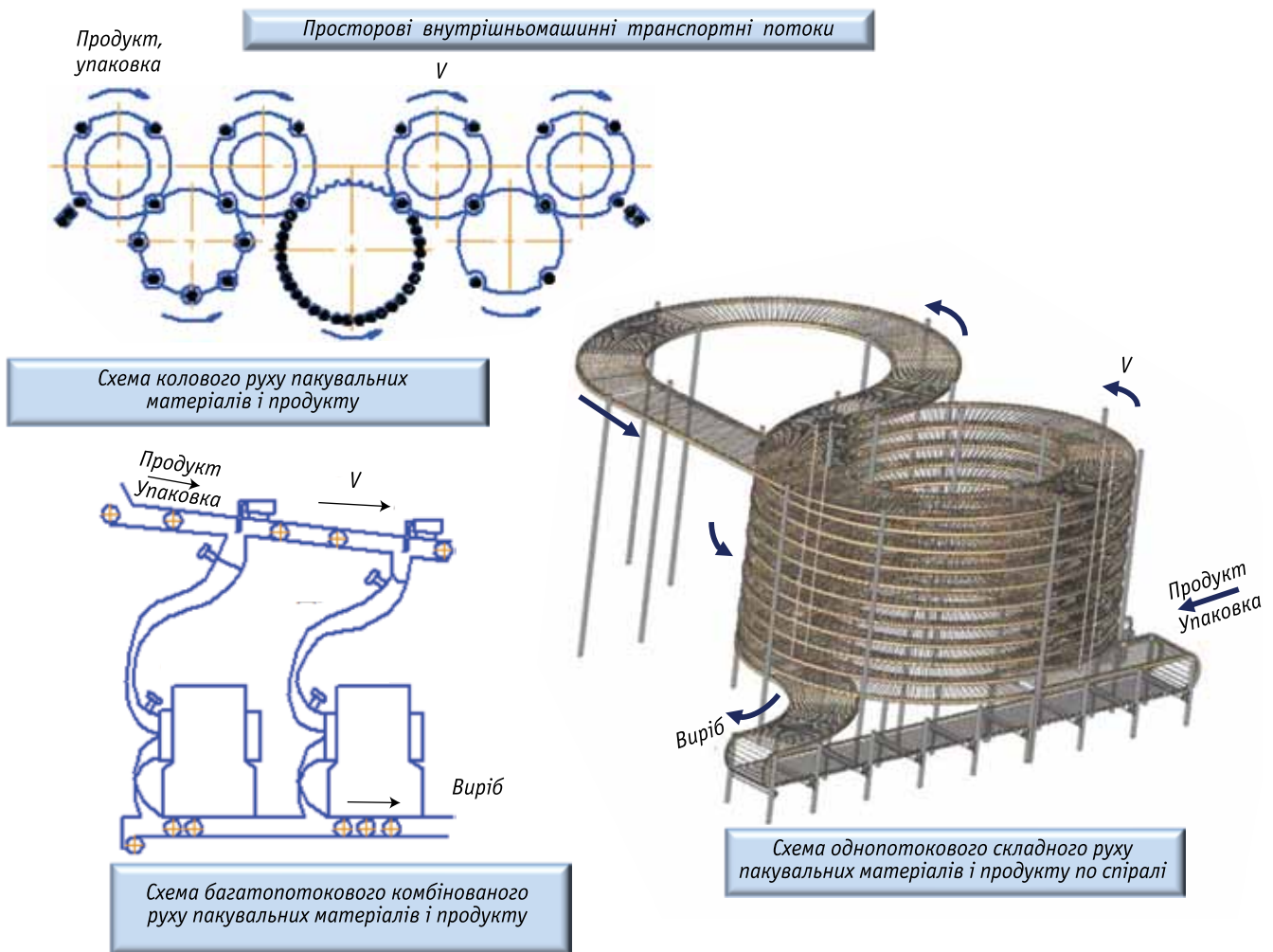


Рис. 4. Класифікація внутрішньомашинних транспортних зв'язків у просторових структурах пакувального обладнання

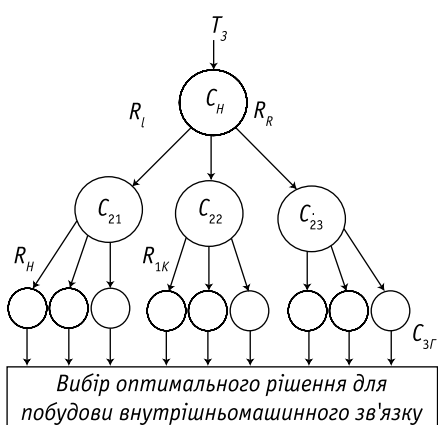


Рис. 5. Модель багаторівневого процесу проектування пакувальних машин-автоматів з вибором найбільш раціонального рішення на останньому рівні:  $T_3$  — технічне завдання;  $C_{ij}$  — операції синтезу проектних рішень ( $C_{1r}, C_{21}, \dots$  — можливі варіанти компонування вузлів системи);  $R_{ok}$  — проектні варіанти

$$G(L, U) = C_0 \varphi_1 L_1 \begin{matrix} \varphi_2 L_3 \\ \varphi_2 L_3 \varphi_3 L_4 \\ \varphi_2 L_3 \varphi_3 L_4 \\ \varphi_2 L_3 \varphi_3 L_4 \end{matrix} \rightarrow \varphi_2 L_3 \varphi_3 L_4$$

Рис. 6. Структурна форма внутрішньомашинних зв'язків у технологічному процесі

принципами максимального використання площі стандартних транспортних піддонів;

- розробляють технологічну схему і вибирають необхідне обладнання для групування заповненої продукцією споживчої тари у певному порядку, укладання її в транспортну тару, герметизації транспортної тари і транспортування її в зону формування збільшеної вантажної одиниці.

У загальному вигляді функціональну структуру внутрішньомашинної

транспортної системи можна представити послідовністю перетворень у технологічному циклі. При цьому вхідна сировина на початковому етапі переводиться із проміжного заготовельного етапу  $L_1, L_2, L_3, \dots$  на заключний етап формування пакованої одиниці продукції. Результат моделі проектування можна представити у вигляді графа  $G(L, U)$ , де  $L$  — множина вершин, що відповідають стану перетворення виробу,  $U$  — множина ребер, які відтворюють операції і переходи в структурованій формі (рис. 6).

Дана форма запису дає можливість представити, яка з виробом (упаковкою)  $S_0$  виконується операція  $\Phi_1$ , що перетворює його в стан  $L_1$ . У подальшому виконуються операції  $\Phi_2$  або  $\Phi_3$ , які переводять виріб у стан  $L_2$  і  $L_3$ . На виході графа отримуємо готовий виріб (сформовану пакувальну одиницю).

На формування ланцюгів внутрішньомашинних зв'язків, послідовності відтворення операцій обробки на різних етапах впливають такі фактори: технологічні можливості обладнання і вузлів, кількість стадій оброблення, особливості технології виготовлення виробу, множина операційних переходів під час оброблення, операції укрупнення, особливості пакувальної одиниці. Тому синтез внутрішньомашинних транспортних систем розділяють на ряд взаємопов'язаних завдань, які враховують усі ці фактори. Таким чином, вирішуючи завдання комплексної автоматизації технологічного процесу, впровадження гнучких технологій з можливістю швидко переналагоджування обладнання на виготовлення високоякісних виробів

різної форми і розмірів, забезпечення високої продуктивності за мінімальних енерго- і металовитрат, компонування універсальних пакувальних ліній, доречно використовувати модульний принцип побудови обладнання з відповідними внутрішньомашинними транспортними системами.

Це дає змогу враховувати пріоритетність операцій оброблення (пакування), розраховувати і обирати маршрут виробів і упаковок, обирати вузли певного компонування для забезпечення раціонального технологічного процесу на виробництві.

### Література

1. *Благодарский В.А.* Машины-автоматы для упаковки пищевых продуктов: Справочник. — К.: Техника, 1985. — 229 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н.М. Капустин. — М.: ВШ., 2004. — 400 с.
3. Проектування поліграфічних і пакувальних машин / А.С. Главацький. — Львів: УАД, 2009. — 120 с. *У*

### Анализ компонования и методология синтеза упаковочного оборудования

*А.Н. Гавва, д.т.н., Л.А. Кривопляс-Володина, к.т.н.*  
Предпосылкой развития упаковочного оборудования является анализ и синтез существующих конструкций машин и линий, выделение достоинств и недостатков отдельных функциональных модулей.

В данной статье проанализированы пути повышения эффективности работы упаковочного оборудования и направления его развития на основе компонования и синтеза внутримашинных связей и линий упаковки.

*Ключевые слова:* упаковочное оборудование; компонование; функциональный модуль; синтез; внутримашинные транспортировочные системы.

### Analysis of the composition and methodology for the synthesis of packaging equipment

*A.N. Gavva, Dr., L.A. Krivoplyas-Volodina, Ph.D.*  
Prerequisite for the development of packaging equipment is the analysis and synthesis designs and lines of existing machine, the definition of the strengths and weaknesses of individual functional modules.

This article are analyzed the ways to improve the efficiency of packaging equipment and the direction of its development on the basis composition and synthesis of intra-machine communication and packaging lines.

*Key words:* packaging equipment; composition; function module; synthesis; intra-machine transport system.

**VIDEOJET**  
Передовые технологии промышленной маркировки

Капеструйные принтеры  
Системы лазерной маркировки  
Термотрансферные принтеры  
Крупносимвольные принтеры  
Принтеры-апликаторы этикеток

**Альянс-КМ**  
Официальный дистрибьютор  
Videojet Technologies Inc.  
ООО "Альянс-КМ" г. Киев  
www.alyans-km.com.ua  
info@alyans-km.com.ua  
Тел.: (044) 258-0555  
(044) 527-8933  
Факс: (044) 527-8935

Компания «ЛЕКО-ПЛЮС»  
представляет на рынке Украины  
пластиковую упаковку  
для производства  
косметической продукции

- флаконы от 4 до 1000 мл более 400 видов
- баночки от 5 до 500 мл более 150 видов
- упаковки для медицинской и химической продукции, декоративной косметики

ЧП «ЛЕКО-ПЛЮС» Украина, г. Киев,  
ул.Чистяковская, 2-а, оф. 517  
Тел./факс (044) 583-14-21  
Тел. (044) 581-56-33  
www.leko-plus.com.ua  
E-mail: leko-plus@ukr.net