

УДК: 621.798.3:004.4 (043.3)

## METHODOLOGICAL BASICS OF CREATION OF MECHATRONIC MODULES' FUNCTIONAL CLUSTERS OF PACKING EQUIPMENT

M. Iakymchuk, O. Gavva

National University of Food Technologies

---

<b>Key words:</b> <i>Mechatronic module Clusters Module element Structural synthesis</i>	<b>ABSTRACT</b> Swift development of nanotechnologies that is accompanied by the miniaturization of executive modules and components allowed to create new technical equipments for packing. Their creation is possible by the use of the functional mechatronic modules. Concept of the use of mechatronic principle of planning that allows the formation of libraries of module elements' functional clusters and their subsequent merger with each other that allows to create a wide line of mechatronic modules' parametric series of packing equipment is examined in the article. Scientific approach of forming of functional groups of clusters is established on the basis of undertaken analytical studies, the process of sorting of module elements is considered in functional clusters by introduction of initial criteria and carrying out the function to cost analysis of module elements of the same type in each generated functional area.
<b>Article history:</b> Received 12.09.2017 Received in revised form 04.10.2017 Accepted 15.10.2017	
<b>Corresponding author:</b> M. Iakymchuk <b>E-mail:</b> mykolaiiakymchuk.2016@gmail.com	
<b>DOI:</b> 10.24263/2225-2924-2017-23-5-2-8	

---

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КЛАСТЕРІВ МЕХАТРОННИХ МОДУЛІВ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

М.В. Якимчук, О.М. Гавва

Національний університет харчових технологій

*Стрімкий розвиток нанотехнологій, що супроводжуються мініатюризацією виконавчих модулів і компонентів дав змогу отримати нові технічні засоби пакування. Їх створення відбувається шляхом використання функціональних мехатронних модулів. У статті розглядається концепція використання мехатронного принципу проектування, який надає можливість утворювати бібліотеки функціональних кластерів модуль-елементів і поєднувати їх між собою, створюючи широку лінійку параметричних рядів мехатронних модулів пакувального обладнання. На основі проведених аналітичних досліджень обґрунтовано науковий підхід формування функціональних груп кластерів, розглянуто процес сортування модуль-елементів у функціональні кластери шляхом введення початкових критеріїв і проведення функціонально-вартісного аналізу однотипних модуль-елементів кожної утвореної функціональної області.*

**Ключові слова:** мехатронний модуль, кластери, модуль-елемент, структурний синтез.

**Постановка проблеми.** Враховуючи кризові явища в економіці, реалії сьогодення пакувальної індустрії характеризуються нестабільністю та непрогнозованістю номенклатури ринку пакованої продукції, його залежністю від фінансового стану споживача, що потребує від виробників суттєвих кроків щодо особливих вимог до пакувального обладнання.

При цьому має згортатися виробництво великих партій однотипних пакованих харчових продуктів, а натомість — швидке переналагодження залежно від кон'юнктури ринку та інші види виробів, інші типи упаковок за ємкістю, дизайном, зручністю користування тощо.

З огляду на це подальше вдосконалення і розвиток пакувального обладнання має відбутись з тенденцією гнучкості виробництва, здатного легко і швидко переналагоджуватись на випуск продукції, якої ринок потребує сьогодні.

Протягом тривалого часу провідним напрямком вирішення цієї проблеми була модернізація існуючих зразків пакувального обладнання, спрямована на збільшення виконуваних ним допоміжних функцій. Однак такий підхід поступово вичерпує свої можливості і потребує зміни філософії методів проектування на основі використання функціональних мехатронних модулів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням, пов'язаним з розвитком і проектуванням пакувального обладнання останнім часом приділяється велика увага [1]. Проглядається тенденція взаємозв'язку між сучасними технологічними процесами пакування та пакувальним обладнанням як невід'ємною складовою розвитку автоматизованих та роботизованих ліній пакувальних [2]. Так, у [3; 4] описані конструкції пакувального обладнання та наведені методики розрахунків і підбору робочих органів механізмів та пристроїв. В особливу групу можна об'єднати праці, у яких наведені методики формування обладнання з мехатронних модулів [5; 6]. Однак цілісна методологія підбору, формування кластерів (груп) модуль-елементів та проектування з них функціональних мехатронних модулів у цих працях відсутня.

**Мета дослідження:** розробка методологічних засад створення функціональних кластерів (груп) модуль-елементів мехатронних модулів пакувальних машин шляхом підбору окремих їх зразків за попередньо встановленими критеріями.

**Викладення основних результатів дослідження.** Конструктивну, технологічно завершену типову або стандартну збірну одиницю, яка має індивідуальну документацію на виготовлення, пройшла функціональну перевірку і готова до монтажу, називають «модуль-елементом» [7]. Виділено [6] три види модуль-елементів: виконавчі, апаратні та інформаційні.

До виконавчих модуль-елементів відносяться механізми з пневматичним, гідравлічним або електричним приводом. Апаратні модуль-елементи включають блоки керування приводом з уніфікованими каналами зв'язку і постійними габаритними розмірами. Інформаційні модуль-елементи забезпечують отримання інформації, необхідної для функціонування системи керування та визначення стану навколишнього середовища. Для кожної функціональної

групи модуль-елементів можна сформувати масив з елементів різної фізичної природи. Масив, або бази даних, дає можливість ефективно здійснювати проектування пакувальних машин.

Відомі дві основні методики підбору модуль-елементів [8; 9]. Перша методика базується на основі уніфікації модуль-елементів. Для цього використовується метод статичного аналізу елементів. За визначенням даної методики надійними й технологічними вважають однотипні елементи, що найбільш широко використовувались у різних зразках обладнання. Такі елементи можна розглядати як модуль-елементи для формування функціональних груп. Недоліком такої методики є відсутня або обмежена інформація на нові вироби модуль-елементів, які за незначний час експлуатації мали порушення в роботі, що не дає можливості провести їх повноцінний статичний аналіз. Як наслідок, застосування такої методики для формування функціональних груп призведе до використання морально застарілих модуль-елементів, які відрізнятимуться великою надійністю та якістю виготовлення, однак матимуть збільшені енерговитрати, габарити, питому вагу та обмежені функціональні можливості тощо.

Друга методика базується на основі теорії «наступності», яка передбачає, що конструкція будь-якого обладнання існує й розвивається в єдності та взаємодії змінних і повторюваних елементів та повинна оцінюватись комплексно за допомогою двох критеріїв — новизни системи й повторюваності елементів, з яких складається обладнання, їх зв'язків і взаємодії.

Для розгляду послідовності формування пакувального обладнання з мехатронних модулів використаємо базові принципи другої методики. Прийmemo твердження, що будь-який мехатронний модуль пакувального обладнання ( $P$ ) можна навести у вигляді взаємодії повторювальних ( $M_{\Pi}$ ) та змінних ( $M_3$ ) модулів-елементів:

$$P = P(M_{\Pi}, M_3). \quad (1)$$

Удосконалення пакувального обладнання за теорією наступності передбачає заміну старих змінних ( $M_3$ ) модуль-елементів на нові ( $M_3$ )<sub>н</sub>. Така заміна можлива лише у випадку, коли нові модуль-елементи за своїми параметрами приєднувальних і габаритних розмірів, величини напруг, струмів, тиску повітря будуть повністю збігатися зі старими або лежатимуть у межах допустимих відхилень. Використовуючи теорію впорядкування структури технічної системи методами багатомірної класифікації, більш відомими як методи кластерного аналізу, наведено будь-який функціональний мехатронний модуль як сукупність змінних різно-функціональних модуль-елементів  $M_{i,j}$  із заданою кількістю кінцевих значень:

$$M_{i,j} = (X_{i,1}, \dots, X_{i,g}, \dots, X_{i,n})_j, \quad (2)$$

де  $g = \overline{1, n}$  — змінна кількість кінцевих значень.

Класифікація таких модуль-елементів методом сортування на однорідні групи за заданими технічними параметрами називається кластерами [7; 9].

Кожний модуль-елемент ( $X_{i,n}$ ) має власні технічні й технологічні параметри, які в загальному вигляді можна навести вектором:

$$X_{i,j}^{n(i)} = \|d_{i,\gamma,\beta}\|_j. \quad (3)$$

Якщо врахувати, що на початок сортування було скінченне число модуль-елементів із різними технологічними параметрами, то формування кластера можливе за умови визначення одного або декількох із них як основних критеріїв формування:  $d_\gamma$ , де  $\gamma = \overline{1, n}$ , або  $d_{\gamma,\beta}$ , де  $\gamma = \overline{1, n}$ ,  $\beta = \overline{1, n}$ .

Припустимо, що утворені кластери ( $A_k$ ) складаються з  $N$ -кількості модуль-елементів, які відповідають заданим критеріям підбору. Відповідно, отримана кількість кластерів повинна мати не менше модуль-елементів за початкову кількість, тобто

$$M_{i,j}^{A_k} \subset M_{i,j}, \quad (4)$$

за умови:

$$\sum_i \sum_j M_{i,j}^{A_k} = M_{i,j}. \quad (5)$$

Такий варіант формування є ідеальним і тому малоімовірним. Існує ряд модуль-елементів, які частково відповідають заданим критеріям формування.

Похибка відхилення технологічних параметрів модуль-елементів від заданих критеріїв визначається:

$$\left[ (d_{\gamma,\beta_{\max}} - d_{\gamma,\beta_{\min}}) / d_{\gamma,\beta_{\text{сеп}}} \right] \cdot A_k \leq R, \quad (6)$$

і попередньо обмежується граничним значенням від 5% до 15%, що дає можливість у подальшому відбракувати модуль-елемент під час сортування.

Метод сортування змінних модуль-елементів для мехатронних модулів передбачає таку послідовність дій: приймаємо, що існує  $N$ -конструкцій однотипних модуль-елементів різної природи  $X_{i,1}, \dots, X_{i,g}, \dots, X_{i,n}$ .

Для утворення кластера введемо початкові критерії сортування. Серед найбільш використовуваних є габаритні  $d_{i,\beta=1} = l_g$ , приєднувальні розміри модуль-елементів  $d_{i,\beta=1} = b$  та частота їх використання  $m_g$ .

Початкові умови наведемо у вигляді матриці розміром  $N \cdot 3$ , а множину  $N$ -конструкцій модуль-елементів — статичним рядом спостережень над двомірною генеральною сукупністю, в якій значення  $(l_g, b_g)$  зустрічаються  $m_g$  раз.

Припустимо, що генеральна сукупність характеризується щільністю  $f(l, b)$ , яка є мультимодульним розподіленням. Попереднє поділення на кластери здійснюємо шляхом знаходження мод функції щільності  $M_0$ . Для цього межі зміни кожного заданого критерію поділяємо на інтервали з кроком

$$\Delta b_\alpha (\alpha = \overline{1, g}), \Delta l_\delta (\delta = \overline{1, p}). \quad (7)$$

Довжину кроків визначаємо шляхом перебору і перевіряємо за умови максимального відхилення отриманих інтервалів від їх середини в межах заданих значень похибки  $R$ .

$$\frac{\Delta b_\alpha}{2(b_0 + \sum_1^\alpha \Delta b_\alpha - \frac{\Delta b_\alpha}{2})} = R, \quad \frac{\Delta l_\delta}{2(l_0 + \sum_1^\delta \Delta l_\delta - \frac{\Delta l_\delta}{2})} = R. \quad (8)$$

Графічна інтерпретація розв'язку рішення рівнянь (8) наведена на рис. 1.

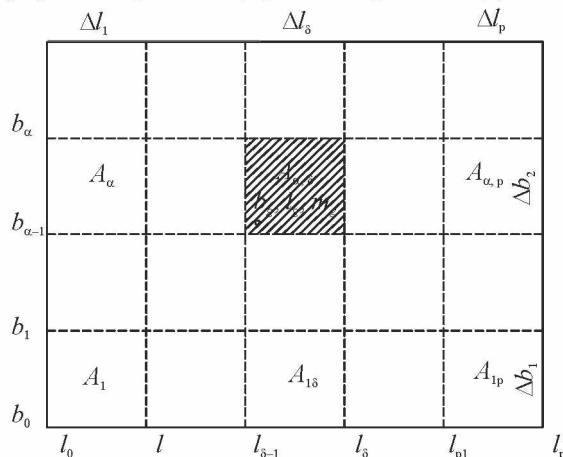


Рис. 1. Область формування кластера однотипних модуль-елементів за заданими критеріями  $f(l_g, b_g)$  в межах похибки:  $b_{\alpha-1} - b_\alpha = \Delta b_\alpha$ ;  $l_{\delta-1} - l_\delta = \Delta l_\delta$

З отриманої області підраховуємо кількість сформованих кластерів і спостережень, які потрапили в прямокутник  $A_{\alpha\delta}$  зі сторонами  $(b_{\alpha-1}, b_\alpha)$  і  $(l_{\delta-1}, l_\delta)$ , за умов  $b_{\alpha-1}, b_\alpha$ ,  $l_{\delta-1} - l_\delta = \Delta l_\delta$ .

Після прийняття додаткових обмежень типу

$$\varepsilon_{\alpha\delta} \begin{cases} 1, & \text{якщо } X_g \in A_{\alpha\delta}; \\ 0, & \text{якщо } X_g \notin A_{\alpha\delta}, \end{cases} \quad (9)$$

визначимо кількість об'єктів, які потрапили в прямокутник  $A_{\alpha\delta}$

$$\bar{N}_{\alpha\delta} = \sum_{g=1}^N \varepsilon_{\alpha\delta g}. \quad (10)$$

Загальна кількість спостережень в одному прямокутнику становитиме:

$$M_{\alpha\delta} = \sum_{g=1}^N m_g \cdot \varepsilon_{\alpha\delta g}. \quad (11)$$

Якщо задатись кінцевим значенням функції щільності  $M_0$ , то прямокутники, в яких виконується умова  $M_{\alpha\delta} > M_0$ , є кластерами. Тобто модуль-

елементи, що відповідають заданим критеріям підбору та знаходяться в певних допустимих межах  $b_{\alpha-1} < b_g \leq b_\alpha$ ,  $l_{\delta-1} < l_g \leq l_\delta$ , потрапили в кластер  $A_{\alpha\delta}$ . Загальна кількість елементів кластера  $A_{\alpha\delta}$  залежить від значення функції щільності  $M_{\alpha\delta}$ . Центр тяжіння кластера визначаємо з рівнянь:

$$\bar{b}_{\alpha\delta}^{(1)} = \frac{1}{M_{\alpha\delta}} \sum_{g=1}^N m_g \cdot b_g \cdot \epsilon_{\alpha\delta g} ; \quad (12)$$

$$\bar{l}_{\alpha\delta}^{(1)} = \frac{1}{M_{\alpha\delta}} \sum_{g=1}^N m_g \cdot l_g \cdot \epsilon_{\alpha\delta g} . \quad (13)$$

Послідовність операцій проведення структурного синтезу мехатронних модулів із використанням функціональних груп кластерів наведено у вигляді блок-схеми (рис. 2). Вирішення задачі структурного синтезу відбувається в два етапи. На першому етапі визначається обмежена кількість модуль-елементів у кожному кластері шляхом введення початкових критеріїв. Пошук проводиться шляхом відсікання всіх конструкцій, які не задовольняють прийняті критерії. Як наслідок, задача зводиться до задачі другого рівня складності та вирішується методом перебору та порівняння функціонально-вартісних характеристик різнотипних модуль-елементів у кожному кластері. Для проведення структурного синтезу мехатронних модулів за запропонованою блок-схемою був розроблений відповідний математичний апарат, підпрограми якого були адаптовані до використання баз даних модуль-елементів різних виробників через мережу Інтернет, що дає можливість в автоматичному режимі поповнювати кластери новими зразками однотипних модуль-елементів. Формування кластерів забезпечує суттєву перевагу при їх подальшому використанні модуль-елементів. Модуль-елементи в таких кластерах є уніфікованими виробами на базі визначених параметричних рядів приєднувальних розмірів за системою ISO або ДСТУ, тобто є повністю або частково взаємозамінними.

Підпрограма формування функціональних кластерів пневматичних виконавчих елементів, за запропонованою блок-схемою, наведена на рис. 3. На першому етапі формування попередньо визначається та задається перелік критеріїв оптимізації для пневматичних виконавчих модуль-елементів: пневмоциліндрів односторонньої/двосторонньої/поворотної дії. До таких критеріїв прийнято обмеження геометричних, силових і кінематичних параметрів. У даній підпрограмі такими критеріями були: магістральний тиск, бар; хід, мм, зведена маса, кг; додаткові сили тертя та удару, Н; напрям руху — висування/втягування; кут нахилу, град; діаметр циліндра, мм; приєднувальні розміри, мм (рис. 3,а). На другому етапі формуються кластери, які характеризуються утворенням параметричного ряду однотипних модуль-елементів відповідно до заданих початкових умов оптимізації. Результатом динамічного синтезу для пневматичних виконавчих пристроїв на основі пневмоциліндра двосторонньої дії отримано функціональний кластер, який складається з 30 пневмоциліндрів.

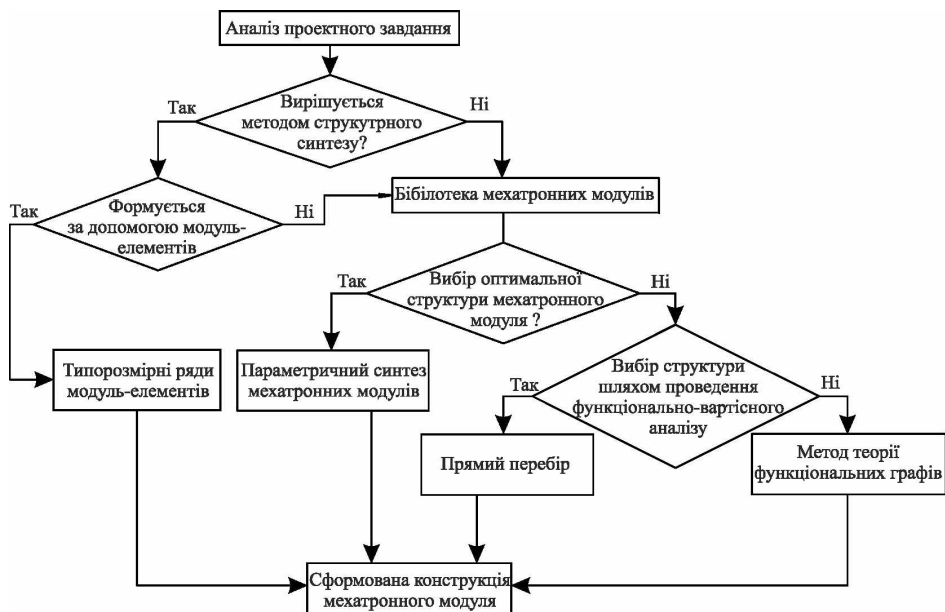


Рис. 2. Послідовність проведення структурного синтезу мехатронних модулів із використанням функціональних груп кластерів

**Исходные параметры цилиндра**

Требуемый ход: 400 mm

Угол установки: 16 deg

Направление движения:  Выдавливание  Втягивание

**Подвод питания**

Рабочее давление: 6 bar

Длина шланга БГВ > распределителя: 1 m

Распределитель > цилиндр: 1 m

**Задать нагрузку**

Двигущаяся масса: 20 kg

Дополнительная сила удара: 7 N

Дополнительная сила трения: 5 N

Регулируемое демпфирование в конце хода (PPV)

Только бесштоковые приводы

Только прямой шток (исключение S2)

Только с защитой от перекоса

только в Требуемый ход 400 [mm]

только в Переменная длина хода

Выбранный диаметр поршня: 32

Найденные позиции (29) Показать 10

Тип	Идентификатор	Резьба	Ход [mm]
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPV	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	1/8	400
<input type="radio"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	1/8	400

а б

Рис. 3. Динамічний синтез та утворення кластерів з пневмоциліндрів одностороньої/двостороньої/поворотної дії за обраними критеріями: а — на першому; б — на другому етапах формування

Подібна підпрограма використовується для формування функціональних кластерів інших модуль-елементів пакувальних машин.

### Висновки

На основі проведених аналітичних досліджень була створена методика формування функціональних груп кластерів для утворення з них параметричних функціональних рядів мехатронних модулів.

Розглянуто процес сортування модуль-елементів у функціональні кластери шляхом введення початкових критеріїв і проведення функціонально-вартіс-

ного аналізу однотипних модуль-елементів кожної утвореної функціональної області.

На основі розробленої методики запропоновано програмне забезпечення для формування функціональних кластерів модуль-елементів, яке адаптоване до використання баз даних різних виробників модуль елементів через мережу Інтернет.

### **Література**

1. *Гавва О.М.* Пакувальне обладнання: Підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.
2. *Анишин С.С.* Проектирование и разработка промышленных роботов/ С.С. Анишин, А.В. Бабич, А.Г. Баранов и др.; Под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. — Москва : Машиностроение, 1989. — 272 с.
3. *Блейз Е.С.* Следящие приводы: Т. 1: Теория и проектирование следящих приводов / Е.С. Блейз, М.В. Баранов, А.В. Зимин [и др.]; Под ред. Б.К. Чемоданова. — В 3 т. 2-е изд., доп и перераб. — Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. — 904 с.
4. *Пальчевський Б.О.* Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. / Б.О. Пальчевський. — Львів : Світ, 2007. — 392 с.
5. *Лопота В.А.* Мехатроника — основа интеллектуальной техники будущего / В.А. Лопота, Е.И. Юревич // Микросистемная техника. — 2003. — № 1 — С. 36.
6. *Васильев А.Л.* Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев. — Москва : Издательство стандартов, 1989. — 240 с.
7. *Васильев А.Л.* Модульный принцип в судостроении / А.Л. Васильев // Стандарты и качество. — 1983. — №1. — С. 8 — 14.
8. *Адлерштейн Л.А.* Модульная постройка судов / Г.В. Бавыкин, А.Л. Васильев и др. — Ленинград : Судостроение, 1983. — 320 с.
9. *Аверьянов О.И.* Модульный принцип построения станков ЧПУ / О.И. Аверьянов. — Москва : Машиностроение, 1987. — 232 с.