

УДК 62-1

METHODOLOGY OF THE QUANTITATIVE APPROACH TO THE SELECTION OF OPTIMAL STRUCTURES OF ADAPTRONIC FUNCTIONAL MODULES OF PACKAGING MACHINES

O. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina*National University of Food Technologies***Key words:**

Packaging machine,
Adaptronic functional
module,
Quantification approach,
Optimal structure,
Given criterion

Article history:

Received 27.11.2023
Received in revised form
15.12.2023
Accepted 18.12.2023

Corresponding author:

krivoplyas-volodina@ukr.net

ABSTRACT

Modern samples of packaging equipment are complex technical systems built on the aggregate-module principle. Such integral technical complexes are formed from adaptronic functional modules, each of which is both functionally and constructively an independent product with a high number of synergistically interconnected characteristics and parameters. The aggregate-module design principle involves the creation of clusters of adaptronic functional modules of various functional purposes. The selection of the functional module from the cluster is based on the output data of the packaging machine and compliance with the quality parameters of their functioning. The article presents the methodology for choosing the optimal structure of the packaging machine based on the technology of functional-cost analysis. Based on the results of expert evaluations, an integral parameter, i. e. priority, is determined. The selection of the optimal structure of the adaptronic functional module was made on the basis of criterion analysis. The criterion analysis method takes into account the functional features of the functional module. On the basis of comparisons of the given coefficient of perfection, the optimal structure of the adaptronic functional module is chosen. The implementation of the developed methodology was tested at the stage of designing machines for packing light-flowing loose products into consumer containers. The performed studies made it possible to substantiate the methodology of the quantification approach to the selection of optimal structures of both the packaging machine as a whole and individual adaptive functional modules. It is appropriate to select the optimal structure of the packaging machine by the methods of functional and cost analysis. Comparing the priority values makes it possible to select the optimal option from the cluster. It is appropriate to select the optimal structures of adaptive functional modules using the methods of criterion analysis, which takes into account the features of the module's functioning.

DOI: 10.24263/2225-2916-2023-33-34-15

МЕТОДОЛОГІЯ КВАНТИФІКАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ СТРУКТУР АДАПТРОННИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН

О.О. Гавва,

Л.О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

Сучасні зразки пакувального обладнання — це складні технічні системи, що побудовані на агрегатно-модульному принципі. Такі інтегральні технічні комплекси формуються з адаптронних функціональних модулів, кожен з яких є як функціонально, так і конструктивно самостійним виробом з високою кількістю синергетично зв'язаних між собою характеристик і параметрів.

У статті наведена методологія вибору оптимальної структури пакувальної машини на основі теорії функціонально-вартісного аналізу. За результатами експертних оцінок визначається інтегральний параметр, тобто пріоритет.

Ключові слова: пакувальна машина, адаптронний функціональний модуль, квантифікаційний підхід, оптимальна структура, приведений критерій.

Постановка проблеми. Створення прогресивних зразків пакувальних машин-автоматів є складною науково-технічною проблемою, що базується на початкових умовах і включає розвиток технологій проектування, машинобудування та пакування [1—4]. Новітні методології створення пакувальних машин здійснюються на основі функціонально-модульної концепції [1—7]. Ця концепція передбачає створення кластерів функціональних модулів різного функціонального призначення. Під час формування структури машини, відповідно до вихідних даних, вибирається модуль з оптимальною структурою та оптимальними технічними параметрами. Методики вибору оптимальної структури пакувальної машини, функціонального модуля наведено в наукових працях [2, 6, 8]. Здебільшого ці методики базуються на одно- або багатофакторній оптимізації за критерієм Парето. Під час проведення таких оптимізацій враховуються реальні значення технічних характеристик досліджуваних модулів. Функціональний підхід проектування передбачає врахування таких факторів, що характеризують параметри якості виконання заданих функцій. Для комплексного вирішення завдань проектування доречно використовувати квантифікаційний підхід, що передбачає числове оцінювання параметрів якості функціонування машини загалом та її функціональних модулів.

Оцінювання параметрів якості пакувальних машин та їх модулів здійснюють за одиничними і комплексними властивостями, які поділяють на експлуатаційні і виробничо-технічні [9—11]. До експлуатаційних властивостей відносять показники призначення, надійності, ергономіки та естетики. До виробничо-технічних властивостей відносять трудомісткість, металомісткість, енергомісткість, блочність, показники конструктивної стандартизації та уніфікації. Розроблення методології проектування пакувальних машин на основі модульного принципу враховує виробничо-технічні й експлуатаційні їх властивості є важливим і актуальним науково-практичним завданням.

Мета дослідження: розроблення та апробація алгоритму вибору оптимальної структури машини-автомата і кластеру подібних та оптимальної структури адаптронних функціональних модулів цих машин. Необхідність вибору оптимальної

структури адаптронних функціональних модулів пакувальних машин спричинена тим, що машини з оптимальною структурою можуть компонуватися з функціональних модулів різної структури та конструкції, тому створення ефективних пакувальних машин на основі модульного принципу передбачає морфологічний аналіз і синтез як машини загалом, так і модулів окремо.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є машини-автомати та їх адаптронні функціональні модулі для пакування харчових продуктів у споживчу тару. Основним методом вибору оптимальної структури пакувальної машини з кластеру подібних є функціонально-вартісний аналіз. За цим методом на основі експертного оцінювання визначають пріоритет відповідної машини. Для вибору оптимальної структури адаптронних функціональних модулів із кластеру подібних застосовувався метод критеріального аналізу. Цей метод враховує збурюючі фактори процесу пакування, його недоліки і похибки. За мінімальним значенням приведенного критерію індексів параметрів визначають оптимальну структуру адаптронного функціонального модуля.

Результати дослідження. Під час створення технічно ефективних пакувальних машин-автоматів, при застосуванні модульного принципу проектування, перед розробником постає завдання вибору функціонального модуля з кластеру подібних, який буде відповідати оптимальному значенню інтегрованого коефіцієнта ефективності. Вирішення такого завдання потребує багатоетапного підходу, що включає: аналіз технологічної схеми пакування; декомпозицію службової функції машини; морфологічний аналіз і синтез структури як машини, так і окремих функціональних модулів. На етапі морфологічного синтезу формують вимоги або параметри ефективності, що відображені в карті технічного рівня машини (ДСТУ 3974-2000). Однак наведені в ДСТУ 3974-2000 параметри є загальними і не відображають функціональні особливості машини та її функціональних модулів. А тому доречно для конкретного типу машин, або функціонального модуля, сформулювати свій перелік параметрів ефективності. Так, для машини-автомата пакування сипкої продукції в споживчу тару можна виділити такі параметри ефективності:

I. Враховують вид продукції:

1. Вид продукції.
2. Ємність бункера.
3. Точність дозування.
4. Діапазон зміни дози.
5. Тривалість переналагодження машини з одного на інший вид продукції.

II. Технічні:

1. Технічна продуктивність.
2. Фактична продуктивність.
3. Напруга електроживлення машини.
4. Споживана електрична потужність.
5. Споживання повітря.
6. Тиск повітря.
7. Ступінь автоматизації.
8. Вага машини;
9. Габаритні розміри машини.
10. Основні матеріали з яких виготовлена машина.

III. Враховують тип і вид упаковки та пакувального матеріалу:

1. Коливання різновитовщинності пакувального матеріалу.

2. Діапазон ширини пакувального матеріалу.
3. Різновиди упаковки.
4. Діапазон габаритів упаковки.
5. Вид герметизації упаковки.
6. Діапазон температур зварювання, або склеювання.

IV. Економічно-організаційні:

1. Вартість машини-автомата.
2. Втрати пакувального матеріалу.
3. Термін окупності машини-автомата.
4. Кількість операторів.
5. Вимоги до кваліфікації операторів.
6. Наявність сервісного обслуговування.

V. Додаткові:

1. Ергономічні показники машини.
2. Наявність автоматичної системи захисту операторів під час роботи машини.
3. Рівень системи керування машиною.
4. Наявність автоматичної системи змащування.
5. Наявність пристроїв для виконання додаткових функцій (очищення, облік, діагностика тощо).
6. Наявність запасних функціональних модулів.

Отже, пакувальна машина-автомат - це складна багатofакторна система, яка потребує комплексного підходу для встановлення вагових параметрів, які будуть суттєво впливати на вибір машини або її функціональних модулів. Розв'язок таких систем базується на використанні методу функціонально-вартісного аналізу. Під час розв'язання подібних багатofакторних систем потрібно прийняти одне з двох рішень, що суперечать одне одному. Так, за першого рішення бажано прямувати до того, щоб статистична модель була б максимально вивчена, тобто в такій моделі мають бути враховані всі параметри. За другого рішення для скорочення об'єму експериментальних досліджень враховують тільки ті параметри, які є вагомими для цієї функціональної групи пакувальних машин.

Вибір вагомих параметрів проводять із застосуванням експертів пакувального машинобудування та пакувальних виробництв.

Відповідно до методики [9, 12, 13] послідовного експертного опитування рекомендується формувати групу експертів із 7 фахівців, тому що ймовірність правильного рішення одного експерта складає 0,70, а ймовірність правильного рішення при 5 експертах 0,528 ($m_e \geq 4$), при 7 експертах — 0,647 ($m_e \geq 5$), при 10 експертах — 0,65 ($m_e \geq 7$).

Закономірно, що окремі експерти по-різному оцінять параметри в ранжируваному ряду. А тому для погодженості їх рішення використаємо таку методику обчислення [12]:

- сума S_j рангів R_{ij} і середня сума рангів S_{cp} , визначених експертами, визначається за формулами:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}; S_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j. \quad (1)$$

Для встановлення значущості кожного параметра визначаємо коефіцієнт вагомості k_j :

$$k_j = \frac{mn - S_j}{0.5mn(n-1)}, \quad (2)$$

де m — число експертів; n — число параметрів; S_j — значення суми рангів, встановлених i -м експертом j -у параметру.

Із n параметрів виділяють n_0 найбільш значимих, для яких $k_j > k_{кр}$, $k_{кр} = 1/n$, тобто для нашого випадку $k_{кр} = 1/33 = 0,0303$, і розраховують для них коефіцієнт вагомості $k_{кр0}$:

$$k_{кр0} = \frac{mn - S_j}{mn n_0 - \sum_{j=1}^n S_j}. \quad (3)$$

Оцінка зв'язків T_i розраховується за формулою:

$$T_i = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^n (t_k^3 - t_k), \quad (4)$$

де N — число видів зв'язаних рангів, що надано i -м експертом; t_k — кількість рангів N -го виду в i -му рядку ранжування.

Значення коефіцієнта конкордації W розраховують за формулами для таких умов:

а) всім параметрам присвоєно відповідний ранг:

$$W = 12 \sum_{j=1}^n (\rho_j - \rho_{cp})^2 \cdot [m^2(n^3 - n)]^{-1}; \quad (5)$$

б) деяким параметром присвоєно один і той же ранг:

$$W = \sum_{j=1}^n (S_j - S_{cp})^2 \cdot \left[\frac{1}{2} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{i=1}^l T_i \right]^{-1}, \quad (6)$$

де l — число рядків, що мають однакові ранги.

Для оцінювання значимості W використовують критерій Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = Wm(n-1) \quad (7)$$

та порівнюють його з табличним значенням $\chi^2_{\text{табл}}$ при вибраному рівні вагомості $\alpha = 0,05$ і числу вільності $\nu = n-1$.

Об'єктивність рішення експертів оцінюється як:

$$\chi^2_{\text{розр}} \geq \chi^2_{\text{табл}}. \quad (8)$$

Результати опитування експертів наведено в табл. 1—5.

З точки зору експертів, вагомими параметрами, що характеризують машини-автомати пакування сипкої продукції у споживчу тару, є:

I. Для групи параметрів, що враховують:

1. Вид продукції.
2. Тривалість переналагодження машини з одного на інший вид продукції.
3. Точність дозування.

II. Технічні:

1. Фактична продуктивність.
2. Споживана електрична потужність.

III. Тип і вид упаковки:

1. Різновиди упаковки.
2. Вид герметизації упаковки.

IV. Економічно-організаційні:

1. Термін окупності обладнання.

V. Додаткові:

1. Наявність автоматичної системи захисту операторів під час роботи машини.
2. Наявність пристроїв для виконання додаткових функцій (очищення, облік, діагностика тощо).
3. Рівень системи керування машиною.

Таблиця 1. Результати опитування експертів щодо вагомості параметрів, пов'язаних із продукцією

Шифр експерта	Рангові оцінки R_{ij} параметрів						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$S_{i=5}$	T_i
1	2	5	4	3	1	15	0
2	1	6	2	3	3	15	0,5
3	2	5	3	3	2	15	1
4	1	5	2	3	4	15	0
5	2	4	2	5	2	15	2
6	2	5	2	3	3	15	1
7	1	5	3	4	2	15	0
S_j	11	35	18	24	17	105	4,5
$m_n - S_j$	24	0	17	11	18		
k_j	0,34	0	0,24	0,16	0,26	1	
k_{j0}	0,41	—	0,29	—	0,31	1,00	
$(S_j - S_{cp})^2$	100	196	9,00	9,00	16,00	330,0	
$W = 0,7197; \chi^2 = 20,15 \geq \chi^2_{табл} = 9,49; \text{при } \alpha = 0,005; \gamma = 4$							

Таблиця 2. Результати опитування експертів щодо вагомості параметрів, пов'язаних із технічними характеристиками

Шифр експерта	Рангові оцінки R_{ij} параметрів											
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	$S_{i=10}$	T_i
1	6	1	7	2	6	6	6	7	7	7	55	10
2	7	1	7	1	4	5	3	9	9	9	55	3
3	6	2	5	1	7	7	5	8	7	7	55	5,5
4	5	1	4	2	5	5	4	10	9	10	55	3
5	6	1	6	1	6	6	5	8	8	8	55	7,5
6	6	2	4	2	7	6	9	7	6	6	55	6
7	6	1	6	2	4	6	6	9	8	7	55	5
S_j	42	9	39	11	39	41	38	58	54	54	385	40
$m_n - S_j$	28	61	31	59	31	29	32	12	16	16		
k_j	0,09	0,19	0,10	0,19	0,10	0,09	0,10	0,04	0,05	0,05	1,0	
k_{j0}	—	0,51	—	0,49	—	—	—	—	—	—	1,0	
$(S_j - S_{cp})^2$	12,25	870,25	0,25	756,3	0,25	6,25	0,25	380,25	240,25	240,25	2506,50	
$W = 0,6662; \chi^2 = 41,97 \geq \chi^2_{табл} = 16,92; \text{при } \alpha = 0,05; \gamma = 9$												

Таблиця 3. Результати опитування експертів щодо вагомості параметрів, пов'язаних із упаковкою та пакувальними матеріалами

Шифр експерта	Рангові оцінки R_{ij} параметрів						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$S_{i=6}$
1	5	4	1	4	2	5	21
2	3	6	2	5	2	3	21
3	5	5	2	3	1	5	21
4	4	4	2	5	3	3	21

Продовження таблиці 3

5	6	5	1	1	2	6	21	1
6	2	3	2	6	4	4	21	1
7	6	3	1	4	2	5	21	0
S_j	31	30	11	28	16	31	147	7
$m_n - S_j$	11	12	31	14	26	11		
k_j	0,10	0,11	0,30	0,13	0,25	0,10	1,0	
k_{j0}	—	—	0,54	—	0,46	—	1,0	
$(S_j - S_{cp})^2$	42,25	30,25	182,25	12,25	72,25	42,25	381,50	
$W=0,47; \chi^2=16,0 \geq \chi^2_{табл}=11,07; \text{при } \alpha=0,05; \gamma=5$								

Таблиця 4. Результати опитування експертів щодо вагомості параметрів, пов'язаних з організаційно-економічними характеристиками

Шифр експерта	Рангові оцінки R_{ij} параметрів							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$S_{i=6}$	T_i
1	4	2	1	4	5	5	21	1
2	4	3	1	3	5	5	21	1
3	4	3	2	4	4	4	21	5
4	5	2	2	4	5	3	21	1
5	5	3	1	3	6	4	21	0,5
6	4	3	1	4	5	4	21	2
7	4	3	2	3	4	5	21	1
S_j	30	19	10	25	34	30	148	11,5
$m_n - S_j$	12	23	32	17	8	12		
k_j	0,11	0,22	0,30	0,16	0,08	0,11	1,0	
k_{j0}	—	0,42	0,58	—	—	—	1,0	
$(S_j - S_{cp})^2$	28,44	23,11	215,11	0,11	87,11	28,44	391,33	
$W=0,5036; \chi^2=17,63 \geq \chi^2_{табл}=11,07; \text{при } \alpha=0,005; \gamma=5$								

Таблиця 5. Результати опитування експертів щодо вагомості параметрів, пов'язаних із додатковими характеристиками

Шифр експерта	Рангові оцінки R_{ij} параметрів							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$S_{i=6}$	T_i
1	3	2	4	5	1	6	21	0
2	4	1	3	6	2	5	21	0
3	5	2	2	3	4	5	21	1
4	4	3	4	4	2	4	21	5
5	4	3	3	3	4	4	21	4
6	5	3	5	2	3	4	21	1
7	4	4	3	2	5	3	21	1
S_j	29	15	24	25	21	31	148	12
$m_n - S_j$	13	27	18	17	21	11		
k_j	0,12	0,26	0,17	0,16	0,20	0,10	1,0	
k_{j0}	-	0,41	0,27	—	0,32	—	1,0	
$(S_j - S_{cp})^2$	0,36	213,16	31,36	21,16	73,96	1,96	341,96	
$W=0,4421; \chi^2=17,63 \geq \chi^2_{табл}=11,07; \text{при } \alpha=0,005; \gamma=5$								

Для визначення оптимальної структури пакувальної машини з кластеру подібних машин визначають інтегральну оцінку кожної машини в кластері. Для цього потрібно для всіх 11 параметрів для кожної машини отримати числове значення кожного параметра. Ефективним методом для цього є експертна розстановка пріоритетів з точки зору «важливо-неважливо» [9, 12, 13].

За сумою добутків коефіцієнтів вагомості k_j кожного параметра на ступінь задоволеності параметра Б визначають пріоритет П відповідної пакувальної машини з:

$$P^z = \sum_{j=1}^n k_j B_j^z. \quad (9)$$

Отже, за допомогою функціонально-вартісного аналізу можна визначити оптимальний варіант структури пакувальної машини. Водночас потрібно врахувати, що для конкретного виду продукції можна використати різні структурні схеми адаптронних функціональних модулів. Вибір оптимальної структури функціонального модуля для конкретної продукції можна виконати за допомогою критеріального аналізу.

Теорія критеріального аналізу і синтезу враховує «збурюючі фактори» процесу пакування, його недоліки і похибки, до яких можна віднести порушення товарного вигляду об'єкта, що пакується: пульсацію, поштовхи, вібрацію, складність процесу тощо. Ці параметри можна функціонально класифікувати і реалізувати у вигляді спеціальних критеріїв синтезу k_j і відповідних їм критеріальних індексів j .

На основі фотограмметричного аналізу руху продукції в каналах дозувально-фасувальних модулів запропоновано врахувати такі критеріальні індекси:

- n — враховує кількість технологічних переходів, що виконуються під час дозування. Для визначення його числового значення здійснюється підрахунок кількості виконуваних переходів:

$$n = \sum n_j - n_{\min}, \quad (10)$$

де n_j — поточні значення виконуваних переходів; $n_{\min}$ — мінімально можливе число виконуваних переходів. У випадку $n_0=0$ при $n_j=n_{\min}$, де n_0 — оптимальне числове значення цього критеріального індексу. Тобто при $n_0=0$ операція є оптимальною, що виконується мінімально можливою кількістю переходів і є надійно і економічно доцільною;

- η — циклічність операції з урахуванням тривалості холостого ходу t_{xx} ; $\eta = t_{xx}(c^{-1})$; $\eta_0=0$ при $t_{xx}=0$, де η_0 — оптимальне числове значення цього критеріального індексу. При $\eta=\eta_0$ операція є безперервною;

- c — складність траєкторії об'єктів дозування в часі: $c=\sum c_j$, $c_0=0$ при $\sum c_j=0$, де c_0 — оптимальне числове значення цього критеріального індексу. При c_0 — траєкторія пряма лінія;

- δ — динамічність елементів траєкторії продукції в часі: $\delta=\sum \delta_0$, $\delta_0=0$, при $\sum \delta_i=0$, де δ_0 — оптимальне числове значення цього критеріального індексу. При δ_0 динамічність операції (удари, поштовхи, затори тощо) відсутня;

- u_n — швидкість переміщення продукції із мірної (дозуючої) ємності в тару (лійку фасувального елемента). Цей критерій можна підрахувати за формулою: $u_n = (1 + f_{вих}/f_{вх})$, де $f_{вих}$ — площа поперечного перерізу вихідного каналу із мірної ємності; $f_{вх}$ — площа поперечного перерізу вхідного каналу в фасувальний елемент (лійка) або тару; $u_{n0}=0$ при $f_{вих}=f_{вх}$, де u_{n0} — оптимальне числове значення цього критеріального індексу. При $u_{n0}=0$ канал не фігурний, а циліндричний і значення швидкості переміщення продукції наближене до швидкості вільного падіння частинки, тобто буде максимальне значення продуктивності.

- m_{en} — порушення товарного вигляду продукції під час дозування — порушення цілісності продукції, злипання, піноутворення тощо. Підрахунок кількості порушень товарного вигляду продукції можна виконати за формулою:

$$m_{en} = \sum m_{en j}$$

при $m_{\text{ено}}=0$ — оптимальне числове значення цього критеріального індексу.

$$m_{\text{ено}}=0 \text{ при } \Sigma m_{\text{ен}j}=0.$$

При $m_{\text{ено}}$ відсутні будь-які порушення товарного виду продукції.

Залежно від структурно-механічних властивостей продукції можуть бути враховані й інші критерії. Всі виявлені «збурюючі фактори» процесу дозування та фасування є безрозмірними, що надає можливість їх сумувати.

Для визначення оптимального варіанта процесу, що виконується відповідною конструкцією адаптронно-функціонального модуля, потрібно знайти мінімальну суму добутку числових значень критеріїв на відповідний їм ваговий коефіцієнт:

$$k = n \cdot f_n + \varphi \cdot f_{\varphi} + c \cdot f_c + d \cdot f_d + u_n \cdot f_{u_n} + m_{\text{ен}} \cdot f_{m_{\text{ен}}} \Rightarrow \min. \quad (11)$$

Вибір коефіцієнта вагомості здійснюється шляхом зіставлення критеріальних індексів за критеріями з вибраним рядом вагових показників ефективності, наприклад: фактична продуктивність; споживана потужність електроенергії; маса та габарити адаптронного модуля; ймовірність безвідмовної роботи; коефіцієнт використання модуля.

Алгоритм ранжування критеріальних індексів полягає в експертній розстановці пріоритетів. Так, при повному впливі показників k_i на параметр ефективності ставиться число 1, при частковому впливі — 0,5, а при відсутності впливу — 0. У табл. 6 наведено ранжування критеріїв.

Таблиця 6. Результати ранжування критеріїв

Параметри ефективності	Критерії					
	c	d	φ	n	e_n	$m_{\text{ен}}$
Фактична продуктивність	1	1	1	1	1	0
Споживана потужність електроенергії	0,5	1	0,5	1	0	0
Маса модуля	0,5	0	0	1	0	0
Габаритимодуля	1	0	0	1	0,5	0,5
Ймовірність безвідмовної роботи	1	1	1	1	1	1
Коефіцієнт використання модуля	1	1	1	1	1	1
Кількість балів	5	4	3,5	6	3,5	2,5
Сумарна кількість балів	24,5					
Ваговий коефіцієнт, f_i	0,21	0,16	0,14	0,25	0,14	0,10

Результати дослідження критеріальних індексів в адаптронних функціональних модулях дозування легкоплинної сипкої продукції (крупа з рису) наведено в табл. 7. Для дослідження вибрано однотипні дозатори, що забезпечують формування дози об'ємним способом.

Таблиця 7. Числові значення критеріальних індексів для дозаторів об'ємного типу

	A_c	A_d	A_{φ}	A_n	A_{e_n}	$A_{m_{\text{ен}}}$	ΣA_j	$\Sigma A_j \cdot f_i = k$
Дозатор стаканчикового типу	3	6	0,38	6	0,5	6	21,88	3,8132
Роторний (камерний) дозатор	3	7	1,20	5	0,67	7	23,87	3,9618
Дозатор шибєрного типу	2	7	1,20	5	0,70	7	22,9	3,37560
Маятниковий дозатор	5	8	1,20	6	0,96	8	29,16	4,9324
f_i	0,21	0,16	0,14	0,25	0,14	0,10		

Відповідно до одержаних числових значень приведенного коефіцієнта k найефективнішими адаптронними модулями дозування легкоплинної продукції є дозатор шибєрного і стаканчикового типу. За експериментальними даними можна оцінювати шляхи зменшення приведенного коефіцієнта k для всіх досліджуваних конструкцій модулів дозування. Це один зі шляхів вибору оптимальної структури функціональних модулів з кластеру подібних та підвищення їх технічної і функціональної досконалості.

Висновки. Виконані дослідження надали можливість обґрунтувати методологію квантифікаційного підходу до вибору оптимальних структур як пакувальної машини загалом, так і окремих адаптронних функціональних модулів. Вибір оптимальної структури пакувальної машини доречно виконувати методами функціонально-вартісного аналізу. Для цього визначають інтегральний параметр, тобто пріоритет відповідної машини. Порівняння значень пріоритету надає можливість із кластеру вибрати оптимальний варіант. Вибір оптимальних структур адаптронних функціональних модулів доречно виконувати методами критеріального аналізу, в який покладено особливості функціонування модуля. На основі порівнянь приведенного коефіцієнта досконалості вибирають оптимальну структуру адаптронного функціонального модуля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Функціонально-модульне проєктування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. Київ: «Сталь», 2015. 547 с.
2. Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів). Львів: Світ, 2007. 392 с.
3. Monika Kaßmann. Grundlagen der Verpackung — Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. Beuth Verlag GmbH, 2020. 413 p.
4. DIN 8743:2014-01. Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen — Kennzahlen zur Charakterisierung des Betriebsverhaltens und Bedingungen für deren Ermittlung im Rahmen eines Abnahmelaufs.
5. Інформаційне забезпечення гнучких виробничих систем: монографія// Богдан Пальчевський, Антоні Швіц, Володимир Павлишта інші; За заг. ред. Богдана Пальчевського і Антоні Швіца. Луцьк: Вежа-Друк, 2014. 344 с.
6. Пальчевський Б. О., Шаповал О. М., Великий О. А. Оптимізаційний синтез функціонально-модульної структури пакувального устаткування: монографія / за ред. проф. Пальчевського Б. О. Луцьк: Луцький НТУ, 2013. 165 с.
7. ДСТУ 2379–94 Пристрої устаткування для пакування функціональні. Терміни та визначення.
8. Кривопляс-Володіна Л. О. Багатокритеріальний синтез мехатронних функціональних модулів машин пакування харчових продуктів: дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв»/ Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна: НУХТ. К., 2019.
9. Гунько І. В., Галушак О. О., Кравець С. М. Аналіз технологічних систем. Обґрунтування інженерних рішень: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 216 с.
10. Yoram Koren. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems. Wiley, 2010. 421 p.
11. Кривопляс-Володіна Л. О., Гавва О. М., Волчко А. І. Методологія синтезу компоновочних рішень. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Київ, 2013. № 3. С. 178—182.
12. Основи наукових досліджень у прикладних задачах [Текст]: навч. посіб. для студентів ВНЗ / Л. О. Кривопляс-Володіна, О. М. Гавва, В. Л. Яровий та ін. Київ: Сталь, 2016. 272 с.
13. Агрегатно-модульне технологічне обладнання. Ч 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання: навч. посіб. / Ю. М. Кузнецов, А. М. Кириченко та ін.; за заг. ред. проф. Ю. М. Кузнецова. Кіровоград, 2003. 422 с.