УДК 621.01.004.021(045)

[1]**В. М. Синєглазов,** д-р техн. наук, проф.,
[2]**А. О. Титарчук,** канд. техн. наук

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ-АВТОМАТА

[1]Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: [1]svm@nau.edu.ua,
[2]Черкаський державний технологічний університет

Вирішено завдання визначення оптимальної структури технологічної машини та максимальної продуктивності за заданої вартості.

Ключові слова: вартість, продуктивність, оптимальна структура, виконавчі органи, конструктивні варіанти виконавчих органів, надійність, термін налагодження.

Вступ. Для оцінювання корисного ефекту від використання виробу за призначенням важливими показниками якості продукції є його ціна та продуктивність. На етапі технічної пропозиції визначається оптимальна структура технологічної машини, яка є основою конструкції, від якої залежать показники якості, витрати на створення та вартість продукції.

Постановка завдання. Визначити оптимальну структуру та максимальну продуктивність технологічної машини за заданої вартості. Підхід до вирішення завдання розглянемо на прикладі визначення оптимальної структури пакувального автомата.

Опис технічної системи. Автомат призначено для фасування рідких і пастоподібних продуктів у пластмасові стаканчики, запаювання кришечкою із валкіда або алюмінієвої фольги та закупорювання зовнішньою кришкою (рис. 1) [1].

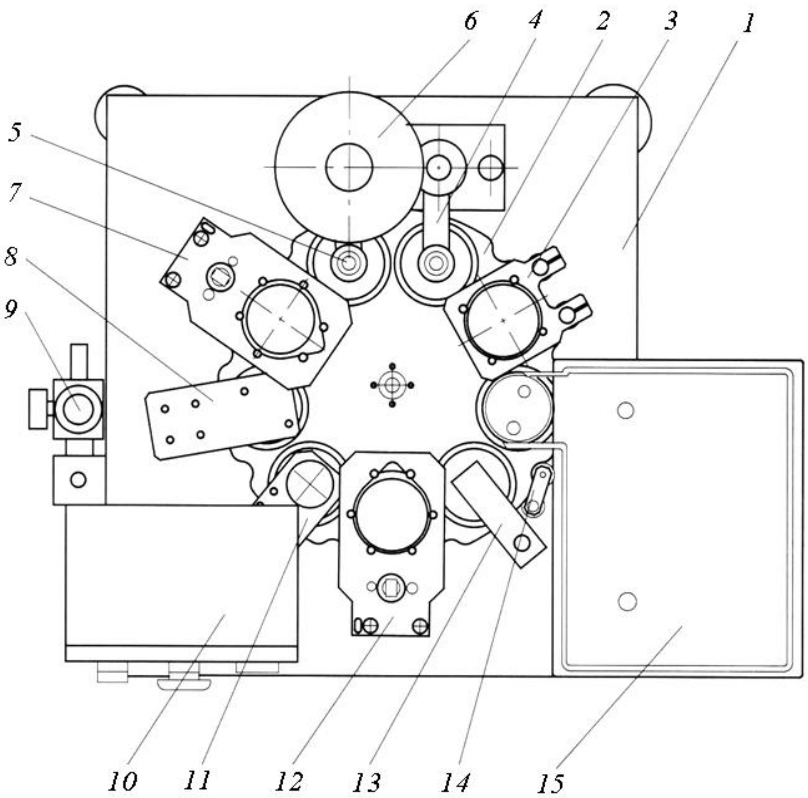

Рис. 1. Вигляд зверху на виконавчі органи пакувального автомата:
1 – стіл; *2* – карусель; *3* – вузол подачі стаканчика; *4* – дозатор І; *5* – дозатор ІІ; *6* – посудина з продуктом; *7* – вузол укладання пластинки; *8* – вузол припаювання пластинки; *9* – блок підготовки повітря; *10* – блок керування; *11* – маркер дати; *12* – вузол укладання кришки; *13* – вузол закупорювання кришки; *14* – вузол знімання стаканчика; *15* – стіл-нагромаджувач

В автоматі реалізовано технологічний процес:
– подачі стаканчика;
– дозування продукту;
– укладання кришечки;
– припаювання кришечки;
– нанесення дати;
– укладання кришки;
– закупорювання кришки;
– видачі стаканчика.

Цикл роботи автомата T = 3,0 с, з них 1,4 с – виконання технологічних операцій, 1,6 с – поворот каруселі. Кінематична продуктивність автомата – 1200 пакувань за годину.

Конструктивні варіанти виконавчих органів (ВО) пакувального автомата, показники надійності, їх вартість і термін налагодження, кількість збоїв виконавчих органів та сумарні витрати часу на їх налагодження за термін експлуатації 360 000 с (100 год) наведено в табл. 1.

Уведемо позначення: X_i^k – k варіант i-го ВО; j – загальна кількість ВО; $t_{з_i}^k$ – виникнення збою k варіанта i-го ВО; $t_{н_i}^k$ – термін налагодження k варіанта i-го ВО; S_i^k – вартість пристрою ВО, грн; $\Delta\sum_{i=1}^{j} S_i^k$ – допустиме відхилення сумарної вартості пристроїв ВО; N_i^k – кількість збоїв N_i^k k варіанта i-го ВО за встановлений термін:

$$N_i^k = \frac{T}{t_{з_i}^k},$$

де T – установлений термін спостереження, с.

Продуктивність автомата

$$Q = \frac{T - \sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} N_i^k t_{н_i}^k}{t_ц},$$

де $\sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} N_i^k t_{н_i}^k$ – сумарні витрати часу на налагодження ВО за встановлений термін; $t_ц$ – цикл роботи автомата.

Обмеження:

1) на обов’язковість входження всіх ВО: $\sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} X_i^k \le 7$;
2) за витратами: $\sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} S_i^k - \Delta S = S$;
3) на змінні:

$$X_i^k \text{ – булеве;} \quad X_i^k = \begin{cases} 1, \text{ якщо } k \text{ варіант } i\text{-го ВО застосовується в конструкції;} \\ 0, \text{ якщо } k \text{ варіант } i\text{-го ВО не застосовується в конструкції.} \end{cases}$$

Для визначення оптимальної структури пакувального автомата розв’яжемо задачу: за заданої сумарної вартості ВО автомата визначити, які варіанти ВО забезпечать максимальну продуктивність автомата:

$$\sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} X_i^k S_i^k + \Delta\sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} X_i^k S_i^k \le 20000;$$

$$Q = \frac{T - \sum_{i=1}^{j}\sum_{1}^{k} N_i^k t_{н_i}^k}{t_ц} \to \max.$$

Таблиця 1

Показники надійності виконавчих органів пакувального автомата

Виконавчий орган	Варіанти ВО	Виникнення збою, с	Термін налагодження, с	Вартість ВО, грн	Кількість збоїв ВО та сумарні витрати часу на налагодження за 360000 с	Кількість збоїв	Сумарні витрати часу на налагодження за 360000 с
Подача стаканчика	1	25000	300	2400		14,4	4320
	2	32000	280	3400		11,25	3150
	3	20000	350	2200		18	6300
Дозування	1	80000	500	5400		4,5	2250
	2	100000	550	7000		3,6	1980
Подача кришки	1	23000	270	2000		15,65	4217,4
	2	30000	280	2800		12	3360
Припаювання кришки	1	63000	600	2500		5,71	3426
	2	70000	550	2600		5,14	2827
	3	80000	500	3000		4,5	2250
Нанесення дати	1	23000	300	1600		15,65	4695
	2	30000	300	2000		12	3600
Накладання кришки	1	24000	280	2400		15	4200
	2	30000	280	2800		12	3360
	3	20000	250	2200		18	4500
Закупорювання кришки	1	40000	250	1600		9	2250
	2	28000	300	1440		12,86	3858

За заданої сумарної вартості ВО автомата 20000 грн із застосуванням структури ВО^1_1, ВО^1_2, ВО^2_3, ВО^3_4, ВО^2_5, ВО^2_6, ВО^1_7 максимальна продуктивність автомата $Q = 1130$.

Результати моделювання: $Q = 1128$, кількість зупинок 75.

Обчислення за сімома ВО та двома-трьома варіантами їх конструкції є складною задачею. Тому обчислення виконано в середовищі MatLab на персональній ЕОМ за розробленою програмою.

Обчислення у разі використання симплекс-методу розв’язання задач лінійного програмування. У процесі конструювання вартість та надійність виконавчих органів змінюється залежно від застосування тієї чи іншої схеми механізму, комплектуючих (підшипників), матеріалу, методу змащування, мастил тощо. Зміну цих показників наведено в табл. 2.

Показником ефективності використання автомата визначимо максимальну продуктивність за заданої сумарної вартості ВО – 20000 грн:

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 \leq 20000.$$

Таблиця 2

Показники вартості та надійності виконавчих органів

Виконавчий орган	Показники ВО			
	Вартість S_i, грн	Зростання вартості	Сумарні витрати часу на налагодження за 360000 с	Зміна витрат часу за конструктивними заходами, с
	A *B*	*B / A*	*C* *D*	*C–D*
Подача стаканчика	2200 – 3400	1,5455	6300 – 3150	3150
Дозування	5400 – 7000	1,2963	2250 – 1980	270
Подача кришки	2000 – 2800	1,4000	4217,4 – 3360	857,4
Припаювання кришки	2500 – 3000	1,2000	3426 – 2250	1176
Нанесення дати	1600 – 2000	1,2500	4695 – 3600	1095
Накладення кришки	2200 – 2800	1,2727	4500 – 3360	1140
Закупорювання кришки	1440 – 1600	1,1111	3858 – 2250	1608

Продуктивність автомата Q збільшується зі зростанням надійності ВО, для її формалізації необхідно знайти залежність $Q = f(\sum X_i)$, де X_i – вартість ВО.

Уведемо позначення:

A – мінімальна вартість ВО;

B – максимальна вартість ВО;

C – максимальні витрати часу на налагодження ВО (за термін 360000 с роботи автомата);

D – мінімальні витрати часу на налагодження ВО (за термін 360000 с роботи автомата).

Залежність надійності ВО від його вартості наведемо на прикладі визначення цієї залежності для механізму подачі стаканчика (вихідні дані для розрахунків наведено в табл. 2).

За вартості механізму подачі стаканчика – X_1 сумарні витрати часу для його налагодження складуть:

$$t_1 = C - \frac{X_1 A}{AB}(C - D) = C - \frac{X_1}{B}(C - D);$$

$$t_1 = 6300 - \frac{X_1}{3400} \cdot 3150 = 6300 - 0,9265 X_1.$$

Для механізмів:

– дозування: $t_2 = 2250 - 0,0386 X_2$;

– подачі кришки: $t_3 = 4217 - 0,3062 X_3$;

– припаювання кришки: $t_4 = 3426 - 0,3853 X_4$;

– нанесення дати: $t_5 = 4692 - 0,5475 X_5$;

– накладання кришки: $t_6 = 4500 - 0,4071 X_6$;

– закупорювання кришки: $t_7 = 3858 - 1,0050 X_7$.

Сумарні витрати часу

$$T = 29246{,}4 - 0{,}9265\,X_1 - 0{,}0386\,X_2 - 0{,}3062\,X_3 - 0{,}3853\,X_4 -$$
$$- 0{,}5475\,X_5 - 0{,}4071\,X_6 - 1{,}0050\,X_7.$$

Обчислення вартості ВО за максимальної продуктивності виконаємо за формулою

$$F(X) = 0{,}9265\,X_1 + 0{,}0386\,X_2 + 0{,}3062\,X_3 + 0{,}3853\,X_4 +$$
$$+ 0{,}5475\,X_5 + 0{,}4071\,X_6 + 1{,}0050\,X_7 \to \max.$$

За обмежень:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \le 20000;$$
$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \ge 19000;$$
$$X_1 \ge 2200;\ X_1 \le 3400;\ X_2 \ge 5400;\ X_2 \le 7000;\ X_3 \ge 2000;\ X_3 \le 2800;\ X_4 \ge 2500;$$
$$X_4 \le 3000;\ X_5 \ge 1600;\ X_5 \le 2000;\ X_6 \ge 2200;\ X_6 \le 2800;\ X_7 \ge 1440;\ X_7 \le 1600.$$

Результати обчислень:

$$X_1 = 3400;\ X_2 = 5400;\ X_3 = 2000;\ X_4 = 2800;\ X_5 = 2000;\ X_6 = 2800;\ X_7 = 1600;$$
$$\sum_{i=1}^{7} X_i = 20000 \text{ грн; продуктивність автомата } Q = 1128{,}5 \text{ стаканчика/год.}$$

Висновки. За результатами розрахунків знайдено оптимальну структуру технологічної машини, що забезпечує максимальну продуктивність за заданої вартості.

Список літератури

1. *Автомат* дозировочно-накопительный АДНК19Д, Ставропольский край, Пятигорск, Профитекс.
2. *Камаев В. А.* Технологии программирования: учеб. / В. А. Камаев, В. В. Костерин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 454 с.

В. М. Синеглазов, А. А. Титарчук

Оптимизация структуры технологической машины-автомата

Решена задача определения оптимальной структуры технологической машины и максимальной продуктивности при заданной стоимости.

V. M. Sineglazov, A. A. Titarchuk

Optimization of the structure of technological machine-machine

The problem of determining the optimal structure of technology machines and maximum productivity for a given value.