

Б.П. Валецький, Т.І. Четвержук, Ю.В. Федорусь, С.П. Шимчук

Луцький національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ПАКУВАННЯ

В роботі розглядається оптимізація характеристик автоматизованого керування процесом великогабаритного пакування. Здійснено структурно-параметричний синтез системи керування машини для великогабаритного пакування, застосовано методом повного перебирання можливих варіантів структури з подальшою їх оцінкою за заданими критеріями та вибору кращого серед отриманих при генеруванні.

На основі модульного принципу проектування описана система керування установки для пакування великогабаритних вантажів, проведено синтез компоновки системи керування з основних конструктивних механізмів цієї системи.

Ключові слова: пакувальна машина, синтез, керування, стягування, зварювання.

B. Valetskyi, T. Chetverzhuk, Y. Fedorus, S. Shymchuk

OPTIMISING PERFORMANCE OF AUTOMATED PROCESS CONTROL FOR LARGE PACKAGING

This article deals with optimizing the parameters of the automated control of the large-size packaging process. Structural and parametric synthesis of the machine control system for large-size packaging is performed by the exhaustive search method of available structural variants followed by evaluation based on the provided criteria and selection of the most suitable one of those obtained in the generation process.

Under the modular construction theory, the large-sized product equipment control system of packaging is described, and the configuration of the control system is synthesized from the main structural mechanisms of the equipment control system packaging.

It combines information technologies with the functional-modular design principle to ensure the effective solution of many problems related to the creation of new packaging machines. These include optimization of the machine structure and technological process using mathematical methods, development of firm models of assembly units, and generation of working design documents.

Key words: packaging machine, synthesis, control, tying, welding.

Вступ. Упакування великогабаритних вантажів має специфічні відмінності порівняно зі стандартними виробами, основною з яких є забезпечення щільного стягування пакета та формування якісних зварних швів на всій його довжині. Конструкція таких машин має унікальні особливості, оскільки включає механізми для формування пакета і обгортання його плівкою з подальшим зварюванням [1]. Потреба у стягуванні великогабаритних пакетів під час зварювання, а також використання сучасних, зокрема багатошарових полімерних комбінованих матеріалів, вимагають скорочення енерговитрат, вдосконалення наявних методів упакування та відповідного обладнання, а також заміни термоусадкового стягування на механічне [2].

Сучасна пакувальна машина – це складна технічна система, яка включає значну кількість функціональних модулів. Кожен модуль складається з вузлів і механізмів, робота яких синхронізована у часі. Привод є однією з ключових складових будь-якої пакувальної машини [3-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші моделі пакувального обладнання оснащували приводом із одним двигуном. Механічний рух розподілявся машиною за допомогою виконавчих механізмів і передач, які використовували розподільно-керуючий вал. Така конструктивна схема стала широко застосовуватися в пакувальних машинах, де потрібно було забезпечити циклічний рух робочих органів для транспортування продукції або подачі пакувального матеріалу [4].

Систематизація процесу синтезу компоновальних рішень стала можливою після розробки формалізованих моделей їх опису з різним ступенем деталізації. Для кодування функціональних характеристик, параметрів та структур машин застосовуються різні методи [5-6]. Зокрема, у [6] запропоновано метод представлення компоновання за допомогою структурних формул, сформованих на основі принципів алгебри та теорії множин, що дозволяє відображати архітектуру машини та просторове розташування її функціональних модулів. Графічний підхід до опису та синтезу компоновальних рішень технологічних машин, розглянутий у [6], базується на побудові моделей структури у вигляді принципово-структурних схем. Такі схеми не тільки відображають

склад і просторову конфігурацію функціональних модулів, але й містять інформацію про взаємозв'язки між ними та траєкторію руху робочих органів, забезпечуючи більш детальне представлення функціональних особливостей пакувальної машини порівняно зі структурними формулами [7].

Проте для сучасного обладнання, оснащеного мікропроцесорними технологіями, така схема втратила актуальність. Вона складна у виробництві, експлуатації та потребує значних витрат матеріальних і енергетичних ресурсів. Крім того, зросли вимоги до системи приводів, що спричинило необхідність впровадження нових рішень.

Контроль та моніторинг виробничих процесів мають здійснюватися з максимальною ефективністю і точністю для оптимізації виробництва. Системи автоматизації виробничих процесів представляють собою комплексні технічні рішення, призначені для управління послідовністю процедур, інтегрованих у робочі цикли компанії, які спрямовані на вирішення технічних і логістичних завдань та забезпечення відповідності продукції встановленим стандартам якості [8-10].

Постановка проблеми. У процесі багатокритеріальної оптимізації структури об'єкта керування виникає етап, на якому збільшення одного параметра призводить до зниження іншого. Це обумовлює потребу у впровадженні системного підходу до проектування подібних систем.

Мета роботи. Використавши модульний принцип проектування для опису системи керування установки для пакування великогабаритних вантажів, провести синтез компоновки системи керування з основних конструктивних механізмів цієї системи.

Виклад основного матеріалу. Запропонована модель багатокритеріального оптимізаційного синтезу структури системи автоматизованого керування процесом включає такі основні елементи:

Формалізація задачі: Оскільки структуру автоматизованого керування процесом можна представити у вигляді графа, то задачу багатокритеріального поетапного вибору рішень можна формалізувати як задачу вибору на графах [11, 12]. У результаті перетворень формується орієнтований граф $G = (V, E)$, де $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина вершин, що відображають можливі технологічні впливи системи керування. $E = \{[v_i, v_j]\} = \{e\}$, $(i, j = 1, n, i \neq j)$ – множина дуг, що з'єднують вершини (тобто потоки інформації, енергії), при цьому кожна дуга $e \in E$ характеризується набором ваг $\omega_k(e)$, $k = 1, m$. Вибраний варіант розв'язку відповідає підграфу: $g = (V_g, E_g)$, де $V_g \subseteq V$, $E_g \subseteq E$ початкового графа, який описує послідовність технологічних впливів системи керування.

На множині всіх допустимих рішень $\{g\}$ вводиться векторна критеріальна функція $x(g) = (x_1(g), x_2(g), \dots, x_m(g))$, де $x(g) = \sum \omega_k(e)$, $e \in E_g$, $k = 1, m$ – критерії ефективності розв'язку, що мають властивість адитивності.

Таким чином, задача багатокритеріального вибору полягає у відборі множини ефективних альтернатив $X = \{x(g)\} = C(\{g\}) \subseteq PAR$, де PAR – Парето-множина, обрана проектантом за методом Парето-ефективності; C – функція відбору.

Формування інтегральних рішень: Ефективні напрямки на графі комбінуються з урахуванням обмежень та взаємозв'язків для збереження цілісності системи керування. У результаті формується множина інтегральних варіантів рішень DX , кожен з яких характеризується набором критеріїв. Неєфективні варіанти відсіюються, що приводить до отримання множини ефективних рішень DX^* , з якої здійснюється оптимальний вибір.

Оптимальний вибір: Форма представлення результатів залежить від поставленої задачі. Це може бути окрема оптимальна альтернатива, множина можливих альтернатив або оцінки кожної альтернативи в балах тощо.

Моделювання. Як показав аналіз, для утворення якісного пакування необхідно використати щонайменше три механізми: механізм розмотування плівки; механізм обгортання пакета, до складу якого безпосередньо входить механізм зварювання; механізм подачі пакета.

Технологічна операція пакування пінополістирольних плит складається із таких технологічних і допоміжних переходів.

1. Формування комплекту (рис. 1, а). плит в заданій кількості.
2. Подача сформованого пакета (рис. 1, б) для обтягування плівкою з трьох сторін.
3. Остаточне вільне формування пакета (рис. 1, в) або з його стягуванням (рис. 1, д).
4. Зварювання пакета і відрізання готового пакування від рулонного плівкового матеріалу (рис. 1, г або рис. 1, е).
5. Відведення сформованого та запакованого пакета зі стола готової продукції.

На основі цього графу була розроблена таблиця синтезу структури ПМ для великогабаритних вантажів, яка нараховує 24 можливих її варіанти.

З метою вибору кращого варіанта для великогабаритного пакування застосовано аналіз варіантів структури ПМ. За критерії оцінки конструкції прийнято вартість і надійність ПМ при відомих вартостях і надійності її механізмів.

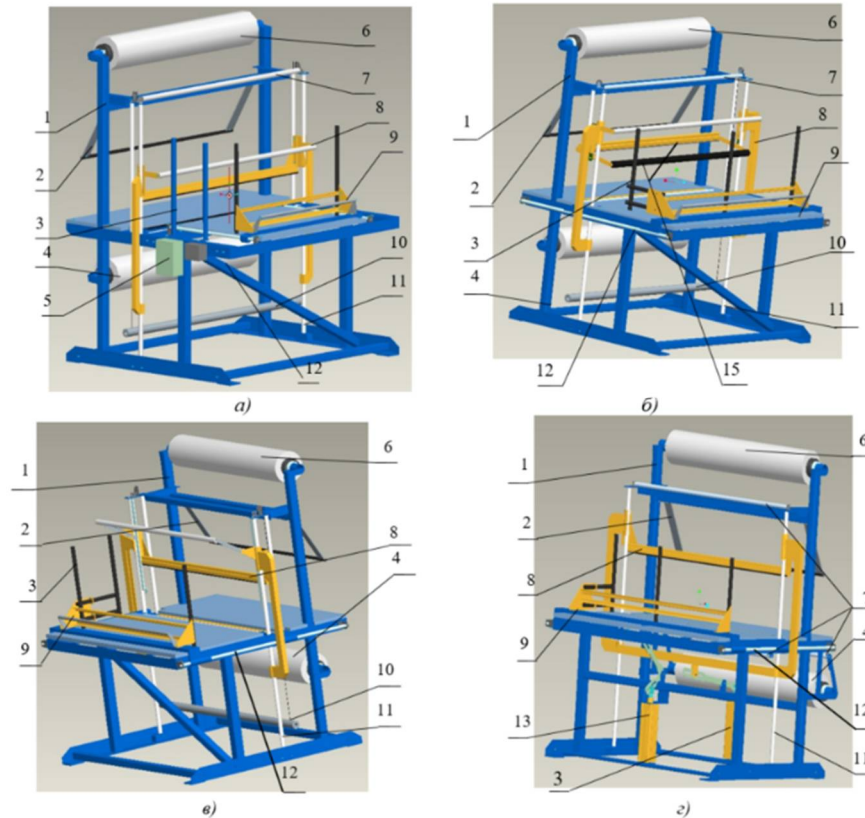


Рис. 1. Варіанти установки для пакування великогабаритних пакетів: а) - ручна, б, в) - ручна механізована, г) – напівавтоматична; 1 - рама, 2 - притискна лижа, 3 - стійки, 4 - нижній рулон, 5 - пульт керування, 6 - верхній рулон, 7 - направляючий ролик, 8 - механізм обгортання, 9 - механізм завантаження, 10 - механізм противаг, 11 - вертикальні направляючі, 12 - горизонтальні направляючі, 13 - привід механізму подачі, 14 - привід механізму обгортання, 15 – механізм стягування

Всі вище перераховані переходи виконуються наступними функціональними модулями керування, які входять до складу базової системи керування машини.

Передбачені варіанти конструкції функціональних модулів, що входять до компоновки машини, дають можливість отримати наступну кількість варіантів компонувань самої машини:

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 = 1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 2 = 24 \text{ варіанта.}$$

де n_i – кількість варіантів функціональних модулів i -го виду.

Кожен з цих варіантів функціонального модуля може бути реалізований спочатку у вигляді твердотільної електронної моделі (з використання однієї з систем твердотільного проектування, наприклад SolidWorks), а потім шляхом їх об'єднання – в одному із варіантів компонувань машини.

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 компонування установки (10 варіант, рис. 2), структурний склад якої представимо аналітично у вигляді множини А:

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

Граф варіантів розв'язку структури системи керування (рис. 3.) синтезованої ПМ наведеної на рис. 1.

У табл. 1. представлені змішані оцінки за технічною продуктивністю та комплексним показником відношення вартості системи керування до її продуктивності. Отже, найвищу продуктивність забезпечують варіанти «16» та «24». Однак найоптимальнішим є варіант «10».

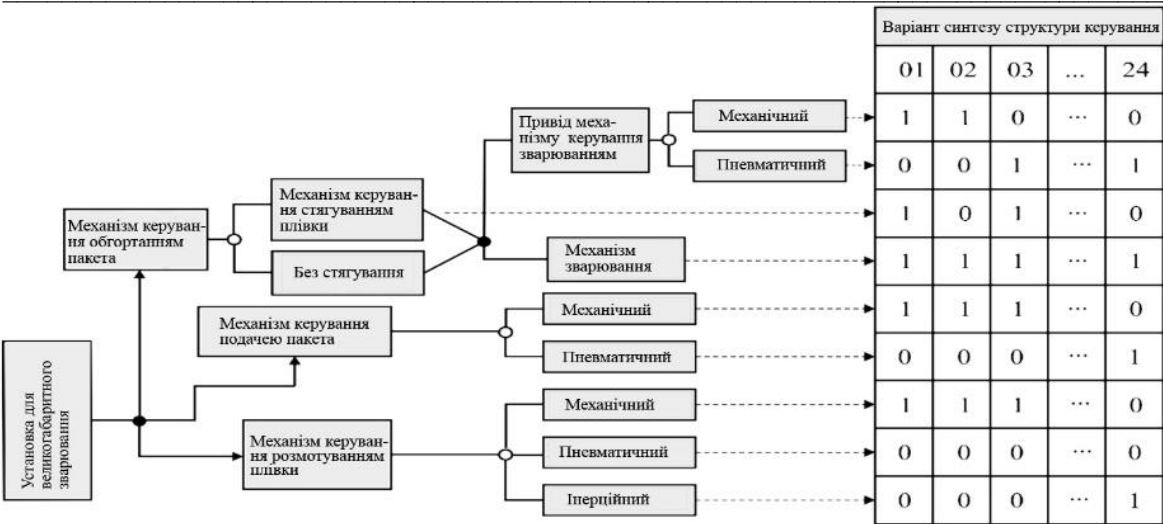


Рис. 2. Двозначний граф синтезу структури установки для пакування великогабаритних вантажів: ● – вершини зв’язані «та»; ○ – вершини зв’язані «або»; 1 – механізм наявний, 0 – механізм відсутній

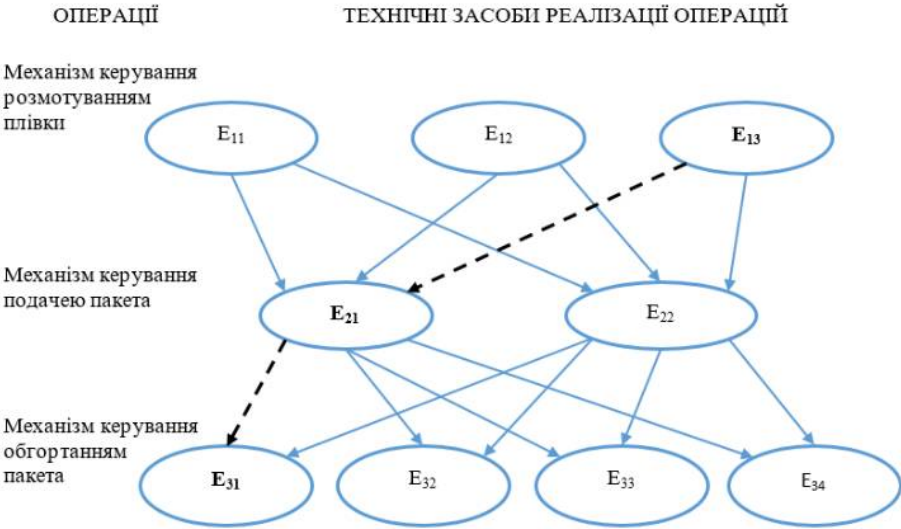


Рис. 3. Граф варіантів розв’язку структури механізмів контролю керуванням установки для пакування великогабаритних пакетів

Табл. 1

Функціонально-вартісний аналіз системи керування установкою для пакування великогабаритних пакетів

Механізм керування	Варіант конструкції	Коефіцієнт готовності	Функції			
			Розмотування плівки	Подача пакета	Стягування плівки	Зварювання і відрізка
Механізм керування розмотуванням плівки	E ₁₁ (механічний)	0,994	•			
	E ₁₂ (пневматичний)	0,962	•			
	E ₁₃ (інерційний)	0,99	•			
Механізм керування подачею пакета	E ₂₁ (механічний)	0,982		•		
	E ₂₂ (пневматичний)	0,96		•		
	E ₃₁ (без стягув., звар. мех.)	0,98				•

Механізм керування обгортанням пакета	E ₃₂ (без стягув., звар. пневм.)	0,965				•
	E ₃₃ (з стягув., звар. мех.)	0,985				•
	E ₃₄ (з стягув., звар. пневм.)	0,952				•
Рама	E ₄	1				

Висновки. Отже використовуючи функціональні зв'язки між критеріями ефективності і структурою пакувальної машини вдосконалено табличну модель синтезу компоновання пакувальної машини шляхом розробки комплексного критерію її оцінки для вибору кращого для заданих умов використання. Встановлено, що комплексний критерій (відношення вартості машини до її технічної продуктивності) коливається для різних варіантів компоновань.

Інтеграція інформаційних технологій з функціонально-модульним принципом проектування дозволяє ефективно вирішувати комплекс завдань, пов'язаних зі створенням нових пакувальних машин. Це включає оптимізацію структури машини та технологічного процесу за допомогою математичних методів, розробку твердотільних моделей складальних одиниць, а також створення робочої конструкторської документації.

Список використаних джерел

1. Валецький Б.П. Структурна оптимізація пакувальних машин з плівкозварювальними механізмами / Б.П. Валецький // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Випуск 8. – Луцьк, 2012. – С.135-139.
2. Bohdan Valetskyi, Mykola Tolstushko, Nataliya Tolstushko, Yurii Fedorus. RESEARCH ON OVERSIZED LOAD PACKAGING. 23 rd International Scientific Conference «ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT» Proceedings, Volume 23 May 22-24, 2024, pp.927-932/ DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF185
3. Функціонально-модульне компоновання пакувальних машин : моногр. / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. – К.: Видавництво «Сталь», 2015. – 547 с. ISBN 978-617-676-079-5
4. Валецький Б.П. Транспортне обладнання гнучких виробничих систем пакування / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.53-58.
5. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
6. Системна інженерія пакувальних машин-автоматів : моногр. / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук, Л.В. Марцинкевич, О.О. Гавва – К.: Видавництво «Сталь», 2023. – 466 с.
7. Mahalik, N.P. Automation and Control in Processing and Packaging and Students Research. In Jordan College of Agricultural Sciences and Technology (JCAST) Centennial Poster, May 4th; WET Lab, CSU: Fresno, CA, USA, 2011.
8. Мокін, Б. І. Теорія автоматичного керування. Методологія та практика оптимізації : навчальний посібник / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 210 с.
9. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations and CNC design (2nd ed.) Cambridge. 2012. 382 p. DOI: 978-1-107-00148-0
10. Mahalik, N.P. Advances in Packaging Methods, Processes and Systems. Challenges 2014, 5, 374-389. <https://doi.org/10.3390/challe5020374>
11. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами. Навчальний. посібник / Ладанюк А.П., Архангельська К.С., Власенко Л.О. – К.: НУХТ, 2014. – 274с.
12. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.

Рецензент: Марчук Віктор Іванович, д.т.н., професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки Луцького національного технічного університету