

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE OSCILLATION PROCESSES IN THE END DEVICES WITH CORRUGATED SUCKER RETENTION EFFORTS ON STRUCTURAL ELEMENTS OF GROUP PACKING

M. Iakymchuk, A. Bespal'ko

National University of Food Technologies

Key words:

consumer packaging, multiple packaging, the device gain retention, vacuum suction cups, oscillatory phenomena, compensation

Article history:

Received 21.04.2015
Received in revised form 5.06.2015
Accepted 10.06.2015

Corresponding author:

mykolaiakymchuk@mail.ua

ABSTRACT

Authors consider the problem of synthesis of end devices for moving structural elements of group packages from consumer unit packaging with food in the soft and rigid packagings on the basis of vacuum suction cups. Conducted analytical studies of capture packages vacuum corrugated scopic, taking into account the harmonious vibrations that have considerable impact on the value of retention of an object. Together with analytical studies carried out experiments on dedicated systems. A comparison of the obtained experimental data and theoretical constraints have shown sufficient adequacy of past (differences within 5 per cent). To achieve the necessary efforts of retention of consumer packaging with vacuum corrugated scopic is referring to the fluctuations of the vacuum depth increase accordingly (but will increase Energy consumption) or provide devices to compensate for oscillatory phenomena

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ З ГОФРОПРИСОСКАМИ НА ЗУСИЛЛЯ УТРИМАННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГРУПОВОЇ УПАКОВКИ

М.В. Якимчук, А.П. Беспалько, канд. техн. наук,

Національний університет харчових технологій

Автори розглядають проблему синтезу захоплювальних пристроїв для переміщення структурних елементів групових упаковок зі споживчих одиничних упаковок з харчовими продуктами у м'якій та жорсткій тарі на основі вакуумних присосок. Виконано аналітичні дослідження процесу захоплення упаковок вакуумними гофроприсосками з урахуванням гармонійних коливань. Для досягнення необхідного зусилля утримання споживчої упаковки вакуумними гофроприсосками рекомендується з огляду на наявність коливань відповідно збільшувати глибину вакууму або завбачати пристрої компенсації коливальних явищ.

Ключеві слова: споживча упаковка, групова упаковка, захоплювальний пристрій, зусилля утримання, вакуумприсоски, коливальні явища, компенсація.

Вступ. Сьогодення пакувальної галузі характеризується розробкою та використанням великої номенклатури упаковок, які мають різні форми, розміри, маси, фізичні та механічні

характеристики матеріалів з яких вони виготовлені, оригінальні споживчі елементи [1]. Для зручного транспортування упаковок від виробника до споживача з упаковок формують транспортну одиницю у вигляді групової упаковки.

Для створення групової упаковки здебільшого використовуються захоплювальні пристрої. Захоплювальні пристрої служать для захоплення та утримання в певному положенні упаковок під час їх переміщення.

Всі захоплювальні пристрої, залежно від класифікаційних ознак умовно можна поділити на групи, які розрізняються способом контакту робочих органів із елементами групової упаковки. Це наступні способи: механічний, камерний, вакуумний, магнітний, комбінований та пасивний.

За результатами проведеного огляду встановлено, що для формування групової упаковки з продукції, пакованої в «м'яку» споживчу тару, наприклад, з полімеру, яка характеризується змінними розмірами та формою, а також в жорстку упаковку складної форми найбільш широко використання набули вакуумні захоплювальні пристрої.

Одним із основних елементів, які служать для утримання упаковок в таких пристроях, є присоски. Принцип їх дії заснований на явищі створення розрідження в герметично — ущільненій камері, утвореній поверхнею захопленого вантажу і корпусом присоски, що призводить до появи перепаду тиску між ущільненою камерою та навколишнім середовищем і виникненням зусилля захоплення вантажу. За конструктивною глибиною камери захоплення присоски поділяються на: мілкі, середньої глибини та глибокі; за формою захоплювального елемента: круглі та овалні; за кількістю гофр: одно, півтори та три с половиною гофр; за способом захоплення: вакуумні, камерні, струменеві. Найбільш широко використовуються присоски круглої форми, так як виготовлення їх спряжено з достатньо простою технологією — за допомогою прес-форм.

Дослідження технологічних операцій переміщення структурних елементів групової упаковки вакуумними захоплювальними пристроями показало, що на динаміку роботи захоплювального пристрою суттєво впливають наступні фактори: реологічні властивості харчового продукту, фізико-механічні властивості матеріалу упаковок, конструкція захоплювального пристрою та спосіб його кріплення до модулів переміщення. Захоплювальний пристрій з елементами групової упаковки можна розглядати як коливальну систему з пружними елементами [2,3]. Кількість пружних елементів суттєво впливає на гармонійні коливання системи, що відображається на зусиллі утримання. Найбільші гармонійні коливання спостерігаються під час використання гофроприсосок, які мають спеціальні кільця, що дозволяють в широкому діапазоні компенсувати висоти та кути нахилу поверхні захоплення, мінімізувати вплив згинальних моментів тощо.

Метою досліджень є розробка математичної моделі для визначення зусилля утримання структурних елементів групової упаковки вакуумними захоплювальними пристроями з урахуванням параметрів коливальних процесів під час захоплення та переміщення структурних елементів групової упаковки.

Методика досліджень. Прийmemo допущення, що упаковки виготовлені з картону і є абсолютно жорсткими тілами, в яких відсутні пружні коливання. При цьому матеріал упаковок має пористу структуру. Еластичні матеріали присоски в сукупності з кільцями утворюють пружний елемент. Під час підйому структурних елементів групової упаковки виникає динамічне навантаження $F_{дин}$, що є функцією надлишкової сили $F_{над}$, котра залежить від характеру її розвитку в часі t і жорсткості пружного елемента k , тобто $F_{дин} = f(t, k)$. Коливальна система такої конструкції представлена у вигляді одномасової моделі, яка складається із зведеної маси структурних елементів групової упаковки m з одним пружним зв'язком k_M , обумовленим використанням гофроприсоски (рис. 1).

Під час переміщення x_M зведеної маси m з жорсткістю k_M кінетична і потенціальна енергії системи визначаються як:

$$E_k = m\dot{x}_M^2 / 2; \quad E_p = k_M x_M^2 / 2 \quad (1)$$

Рушійною силою для маси m є рушійна сила приводу F . Відповідно рівняння руху має вигляд:

$$m\ddot{x}_M + k_M x_M = F \quad (2)$$

Вирішення рівняння (5.38) запишемо у вигляді переміщення вантажу

$$x_M = f(\dot{x}) \cdot \sin f_K \cdot t / f_K \quad (3)$$

де $f(\dot{x})$ — закон зміни швидкості під час підйому вантажу; f_K — колова частота вільних коливань, яка визначається з виразу $f_K = \sqrt{k_M/m}$; t — поточний час.

Конструкція вакуумної захоплюючої головки з присосками 3,5 — гофро



Модель коливальної системи

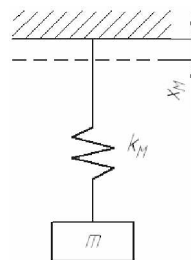


Рис. 1. Модель коливальної системи під час використання вакуумного захоплювального пристрою

Двічі продиференціюємо рівняння (3) та отримаємо вирази для опису процесу коливання вантажу

$$\dot{x}_M = f(\dot{x}) \cdot \cos f_K \cdot t; \quad \ddot{x}_M = -f(\dot{x}) \cdot f_K \cdot \sin f_K \cdot t \quad (4)$$

Динамічне навантаження від коливального процесу, що діє на захоплювальну головку з боку зведеної маси під час її підймання, має вигляд

$$F_{\text{дин}} = m \cdot \ddot{x}_M = -(G/g) \cdot f(\dot{x}) \cdot f_K \cdot \sin f_K \cdot t \quad (5)$$

Запишемо вираз (5) з урахуванням впливу на частоту вільних коливань зведеної маси та жорсткості присоски

$$F_{\text{дин}} = -\frac{G}{g} \cdot f(\dot{x}) \cdot \sqrt{\frac{k_M}{m}} \cdot \sin \sqrt{\frac{k_M}{m}} \cdot t \quad (6)$$

Величина максимального прискорення механізму піднімання під час виконання технологічної операції переміщення упаковки вакуумним захоплювальним пристроєм у вертикальній площині визначимо за формулою

$$\ddot{x}_M^{\text{max}} = \frac{F_{\text{дин}}}{m} - g \quad (7)$$

$$P_{\text{вугр}} = G + Q_y + \frac{F_{\text{ін}}' + W_n'}{\mu} + W_n - F_{\text{адг}} + F_{\text{дин}} \quad (8)$$

де $F_{\text{адг}}$ — сила адгезії упаковки з присоскою, Н; G — сила тяжіння упаковки, Н; W_n — сила опору повітря, Н; Q_y — сила пружності присоски, Н; $F_{\text{ін}}'$ — сила інерції та W_n' — опору повітря по вісі x ; μ — коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Па·с.

Підставимо рівняння (7) у вираз (8) та визначимо зусилля утримання упаковки вакуумною гофроприсоскою, яка відповідає розрахунковій схемі рис. 2.

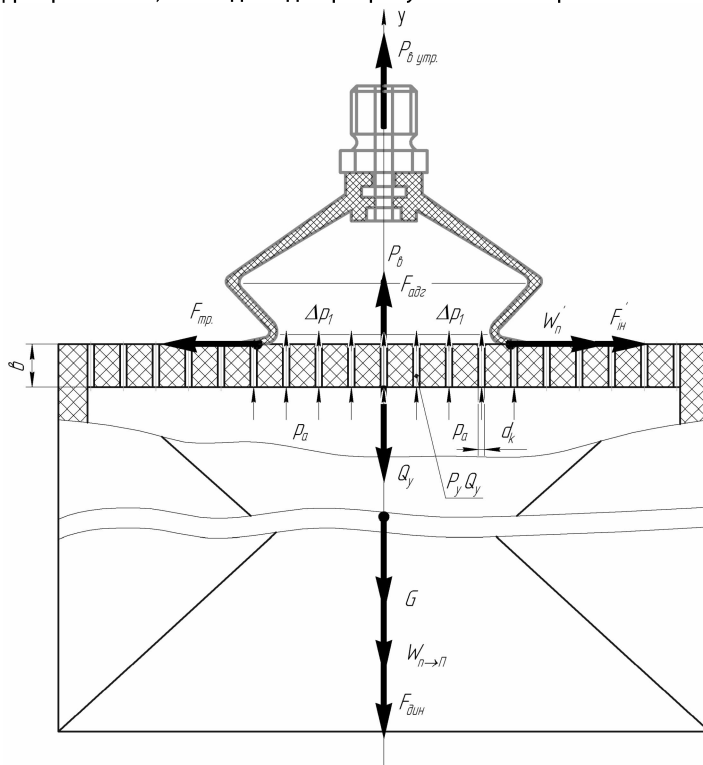


Рис. 2. Схема сил в процесі утримання гофроприсоскою упаковки з пористого матеріалу споживчої тари

Значення абсолютного тиску повітря на поверхні пористої упаковки в результаті повітропроникності матеріалу визначаємо:

$$\Delta P_1 = \sqrt{G_s \frac{\mu \cdot b}{\xi} \cdot \frac{RT_a}{S} + P_a^2} \quad (9)$$

де ξ — коефіцієнт, яким можна характеризувати повітропроникність пакувального матеріалу, m^2 ; b — товщини стінки матеріалу упаковки, м; R — газова стала для повітря, Дж/(кг·К); T_a — абсолютна температура повітря у перерізі капіляра, К; S — активна площа присоски, m^2 ; P_a — атмосферне значення тиску повітря; G_s — масові витрати повітря, кг/с.

Остаточна величина вакууму в гофроприсосці, яка забезпечить силу утримання $P_{в. утр.}$ з урахуванням фізико-механічних властивостей пакувального матеріалу, має вигляд:

$$P_v = ((G + Q_y + \frac{F'_{ін.} + W'_n}{\mu} + W_n - F_{адг.} + F_{дин.}) / S) - \sqrt{G_s \frac{\mu \cdot b}{\xi} \cdot \frac{RT_a}{S} + P_a^2} \quad (10)$$

Результати досліджень. Результати аналітичних досліджень за розробленою моделлю представлено у вигляді графіка. Це — порівняльна характеристика зусилля утримання між гофроприсосками та без них (рис. 3).

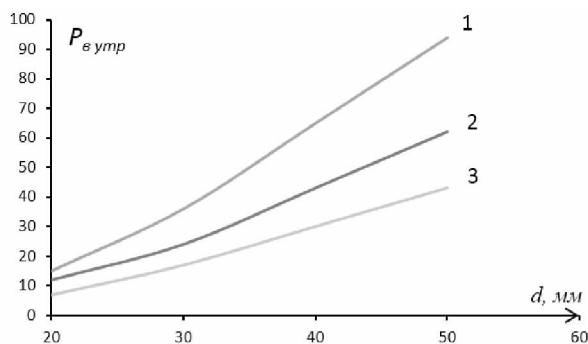


Рис. 3. Графік зміни зусилля утримання упаковок присосками з гофро та без них в залежності від їх діаметрів з урахуванням коливальних процесів під час виконання операції піднімання структурного елемента групової упаковки (закон руху — лінійний з постійним прискоренням $\ddot{x}_M = 2,5 \text{ м/с}^2$; величина вакуума: $-0,7 \text{ бар}$):
 1 — присоскою без гофру; 2 — гофроприсоскою з 1,5 — гофру;
 3 — гофроприсоскою з 3,5 — гофру.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі способу визначення зусилля утримання структурних елементів групової упаковки вакуумними гофроприсосками була розроблена та виготовлена експериментальна установка. Загальний вигляд експериментальної установки показано на рис. 4.

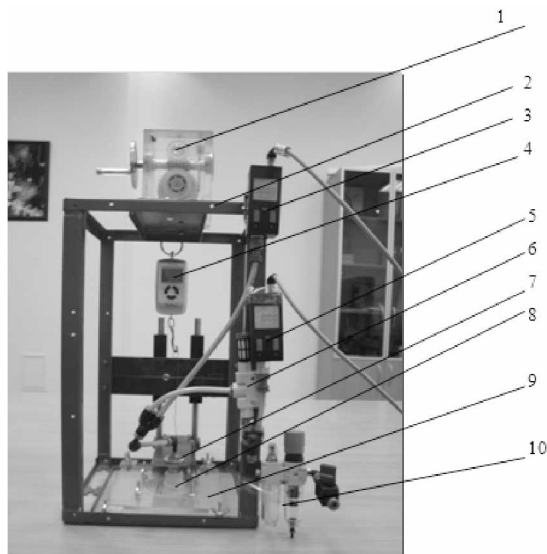


Рис. 4. Експериментальна установка для дослідження впливу мехатронного модуля з вакуумним захоплювальним пристроєм на зусилля відриву:

1 — черв'ячний редуктор; 2 — корпус установки; 3 — електронний манометр;
 4 — електронний динамометр; 5 — електронний вакуумметр; 6 — ежектор; 7 — жорстка пластина, на якій закріплена вакуумна присоска; 8 — вакуумна присоска; 9 — пластикова пластина з перфорованими отворами та механізмом кріплення досліджуваного зразка упаковок в горизонтальній площині; 10 — регулятор тиску

Конструкція установки складається з корпусу 2, горизонтально розташованої пластинкової пластини 9 з перфорованими отворами по всій поверхні та механізмом для кріплення досліджуваного зразка. Вакуумна присоска 8 закріплена на жорсткій пластині 7. Пластина з присоскою переміщується у вертикальній площині по двох напрямних (рис.5). Вакуум для установки створює ежектор 6. Глибина вакууму вимірюється за допомогою електронного вакуумметра 5. Конструкція установки передбачає прикладання до присоски механічного зусилля, при якому відбувається переміщення пластини 7 з присоскою 8 у вертикальній площині по двох напрямних 11. Величина зусилля плавно змінюється за допомогою спеціального механічного пристрою з черв'ячним редуктором 7 та вимірюється електронним динамометром 4. Сигнали від електронних датчиків передаються через аналогоцифровий (АЦП) перетворювач на комп'ютер та записуються спеціальною програмою.

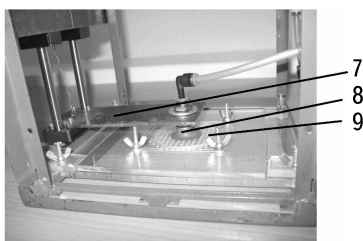


Рис. 5. Конструкція механізму закріплення досліджуваного зразка матеріалу:

7 — жорстка пластина, на якій закріплена вакуумна присоска; 8 — вакуумна присоска;
9 — пластикова пластина з перфорованими отворами та механізмом кріплення досліджуваного зразка упаковок у вертикальній площині

Для вакуумного захоплювального пристрою під час експериментів використовувались стандартні присоски різних діаметрів, матеріалів та конструкцій (рис. 6), які є найбільш вживаними в пакувальній галузі.



Рис. 6. Плоскі та сильфонні вакуумні присоски

Приклад порівняльних значень зусиль відриву картонних упаковок з різних марок картону від присоски, отриманих за допомогою математичної моделі (8), (9) та за результатами експериментальних досліджень для магістрального тиску повітря 6 бар наведено в таблиці.

Таблиця. Експериментальні та розрахункові значення зусиль відриву F картонних упаковок товщиною 0,40 мм з різних марок картону від вакуумної присоски (діаметр 40 мм; матеріал — пербуна; гофр — 1,5 мм)

Марка картону	Зусилля відриву F , Н	
	Експериментальне	Розрахункове
Хром-ерзац макулатурний марки Н першого сорту ТУ У 05509659-008-2000	58,8	60,8
Макулатурний картон марки НМ, ТУ У 21.1-05509659-008-2001	51,9	54,7
Тарний макулатурний картон КТ — 25, ТУ У 21.1-5509659-026:2005	46,1	47,5
Макулатурний картон марки ММ, ТУ У 21.1-05509659-020-2001	58,9	62,1

Похибка отриманих результатів знаходиться в межах до 5 %, що є допустимим для таких досліджень і доводить адекватність запропонованих математичних моделей реальним процесам.

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що використання гофроприсосок дає додаткові технічні можливості для захоплення упаковок зі складною конфігурацією твірних поверхонь, але і є додатковим джерелом коливальних процесів, які суттєво зменшують зусилля утримання упаковок до 50% в порівнянні з присосками без гофр при однакових показниках величини вакууму, кінематичних та динамічних навантажень. Для досягнення заданого зусилля утримання гофроприсосками структурних елементів групової упаковки необхідно збільшувати глибини вакуума, що призводить до суттєвих енергетичних витрат, або забезпечити зменшення впливу коливальних процесів шляхом установки додаткових пристроїв компенсації [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. *Пакувальне обладнання: підручник* / Гавва О.М., Беспалько А.П., Воячко А.І., Кохан О.О. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.
2. *Бурляй Ю.В.* Оборудование для укладки и упаковки штучных изделий в тару / Ю.В. Бурляй, Л.А. Сухой. — М.: Машиностроение, 1975. — 280 с.
3. *Коренев Б.Г.* Динамические гасители колебаний: теория и технические приложения / Б.Г. Коренев, Л.М. Резников. — М.: Наука, 1988. — 304 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВАХ С ГОФРОПРИСОСКАМИ НА УСИЛИЯ УДЕРЖАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУПОВОЙ УПАКОВКИ

Н.В. Якимчук, А.П. Беспалько

Национальный университет пищевых технологий

Авторы рассматривают проблему синтеза захватных устройств для перемещения структурных элементов групповых упаковок из потребительских единичных упаковок с пищевыми продуктами в мягкой и жесткой таре на основе вакуумных присосок. Проведены аналитические исследования процесса захвата упаковок вакуумными гофроскопическими с учетом возникающих при этом гармоничных колебаний. Для достижения необходимого усилия удержания потребительской упаковки вакуумными гофроскопическими рекомендуется в виду наличия колебаний соответственно увеличивать глубину вакуума (но при этом возрастут энергозатраты) или предусмотреть устройства для компенсации колебательных явлений.

Ключевые слова: *потребительская упаковка, групповая упаковка, устройство усиления удержания, вакуумприсоски, колебательные явления, компенсация*