

Вакуумні захоплювальні пристрої в пакувальних машинах (деякі особливості застосування)

М.В. Якимчук, д.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., Л.О. Кривоपлас-Володіна, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Захоплювальні пристрої призначені для захоплювання та утримування в певному положенні упаковки під час її переміщення за допомогою різного виду захоплювальних елементів. Сьогодення пакувальної індустрії характеризується розробкою та використанням великої номенклатури упаковок, що мають різну форму, розміри, масу, фізичні та механічні характеристики матеріалів, з яких вони виготовлені. Тому конструкція кожного захоплювального пристрою характеризується видом контакту його робочих органів із відповідними елементами упаковки. Захоплювальні пристрої, що застосовуються в пакувальному обладнанні, можна поділити на певні групи. Кожна група вирізняється способом утримання упаковки: механічним, вакуумним, пневматичним, магнітним та комбінованим.

Вимоги до захоплювальних пристроїв умовно можна поділити на дві групи: загальні та спеціальні [2]. До загальних вимог відносять надійність захоплювання та утримання упаковки, неможливість пошкодження її товарного виду чи часткового руйнування. Спеціальні вимоги пов'язані з особливістю технологічного процесу пакування. У разі, якщо упаковка має різні форму та масу, то для її переміщення застосовують універсальні захоплювальні пристрої або захоплювальні пристрої, що мають змінні робочі органи.

На сьогодні в харчовій галузі спостерігається використання різноманітних типів та видів пакувальних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями, асортимент яких постійно зростає. Наприклад, однією з важливих характеристик сучасної картонної упаковки з харчовим продуктом як об'єкту переміщення є її пористість, яка оцінюється через коефіцієнт повітропроникності. Очевидно, що величина повітропроникності картону суттєво впливає на технічні параметри робочих органів, насамперед вакуумних захоплювальних пристроїв. Проведений аналіз ринку пакованої харчової продукції показав, що поява нових пакувальних матеріалів спонукає виробників до розробки нових видів упаковки за формою та дизайном, що створює необхідність постійно вдосконалювати конструкції захоплювальних пристроїв та покращувати якість їх роботи.

Одним із напрямків вирішення поставленого завдання є використання вакуумних захоплювальних пристроїв. До їх переваг можна віднести можливість переміщення пакованої продукції в м'якій упаковці, наприклад, з полімеру, що характеризується змінними розмірами та формою, або жорсткій упаковці складної форми [3],

поєднання надійного захоплення упаковки шляхом отримання великих зусиль утримання з одночасним збереженням її товарного вигляду тощо. Традиційно такі вакуумні системи складаються з двох основних елементів — присмоктувача та пристрою для отримання вакууму. Одним з основних елементів, які служать для утримання упаковок, є присмоктувачі. Принцип їх дії заснований на явищі створення розрідження в герметично-ущільненій камері, утвореній поверхнею захоплювального вантажу і корпусом присмоктувача, що зумовлює появу перепаду тиску між ущільненою камерою та навколишнім середовищем і виникнення зусилля захоплювання вантажу. За глибиною камери присмоктувачі поділяються на: мілкі, стандартні та глибокі; за формою захоплювального елемента: круглі та овальні; за кількістю гофрокільць: одно, півтори та три з половиною гофри; за способом захоплення: вакуумні, камерні, струменеві (рис. 1).

Найбільш широко використовують присмоктувачі круглої форми, оскільки технологія їх виготовлення за допомогою прес-форм є простішою. Якість закріплення присмоктувачів до об'єкта залежить від форми його



Рис. 1. Плоскі та сільфонні вакуумні присмоктувачі

поверхні, її шорсткості та стану покриття. Вибір матеріалу присмоктувачів для пакувального обладнання додатково обмежується гігієнічно — санітарними вимогами, які різняться місцем (зонами) розташування обладнання в лініях пакування (табл. 1). Так для обладнання, що розташоване в першій та другій зонах та характеризується безпосереднім або частковим контактом присмоктувачів з харчовим продуктом, можна використовувати лише силіконові присмоктувачі: це єдиний матеріал з усіх наведених, який має повний сертифікат відповідності контакту з харчовими продуктами. Для обладнання з третьої зони, що характеризується контактом присмоктувачів з пакова-



ним харчовим продуктом, використовують решту матеріалів, наведених у табл. 1.

Порівняльну характеристику стійкості матеріалів присмоктувачів під час роботи в агресивних середовищах та рекомендації щодо їх використання наведено в табл. 2.

Процес захоплення упаковки вакуумним присмоктувачем характеризується його контактом з поверхнею упаковки та утворенням ущільненої камери, розміри якої обмежуються охопленою поверхнею упаковки і корпусом присмоктувача. Вмикання вакуум-генератора призводить до появи розрідження в камері, яке характеризується перепадом тиску між ущільненою камерою та навколишнім середовищем і виникненням зусилля захоплювання упаковки. Для визначення раціональних значень діаметра присмоктувача відомі математичні залежності [2], за допомогою яких можна визначити зусилля захоплення упаковки з харчовим продуктом вакуумними захоплювальними пристроями залежно від величини вакууму, конструкції і геометричних розмірів присмоктувачів та пористої структури пакувального матеріалу:

$$F = (P_1 - P_2 + P_3) S, \quad (1)$$

де P_1 , P_2 – відповідно атмосферне та абсолютне значення тисків повітря в камері присмоктувача; P_3 – абсолютний тиск, який утворюється внаслідок повітропроникності через пористий пакувальний матеріал упаковки; S – активна площа контакту присмоктувача.

У процесі переміщення упаковки зусилля захоплення може змінюватись – як правило, зменшуватись. Величина зміни залежить від багатьох факторів, які виникають унаслідок дії зовнішніх сил. Одним із вагомих факторів є дія на захоплювальний елемент додаткового згинального моменту, який виникає внаслідок зміщення геометричної осі захоплювального елемента відносно центра тяжіння упаковки, що традиційно спостерігається під час переміщення упаковки складної форми твірних поверхні захоплення. Для встановлення такого впливу розглянемо узагальнений випадок переміщення упаковки за заданим законом руху вакуумним присмоктувачем (рис. 2).

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика матеріалів присмоктувачів

Марка матеріалу	Колір	Зовнішній вигляд	Температурний режим	Стійкість до зношення
Пербунан (N)	Чорний		-10...+70 °C	++
Поліуретан (U)	Синій		-20...+60 °C	+++
Силікон (S)	Білий		-30...+180 °C	+
Вітон (F)	Сірий		-10...+200 °C	++
Пербунан антистатик (NA)	Чорний		-10...+70 °C	+
Вулколан термопластик (T)	Коричневий		-10...+80 °C	+++

Примітка: + – добре; ++ – дуже добре; +++ – відмінно

Таблиця 2.

Матеріали присмоктувачів та сфери їх застосування

Матеріали присмоктувачів	Пербунан	Поліуретан	Силікон	Вітон	Пербунан (антистатич.)
Код матеріалу	N	U	S	F	NA
Колір	Чорний	Блакитний	Білий прозорий	Сірий	Чорний з білими крапками
Зносостійкість	●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Умови використання					
Харчові продукти			●		
Замаслена поверхня	●	●		●	●
Висока температура			●	●	
Низька температура		●	●		
Антистатичні					●
Тонкі плівки, відтиски			●	●	
Стійкість					
Атмосферні умови	●●	●●●	●●●	●●●	●●
Озон	●	●●●	●●●	●●●	●
Масла	●●●	●●●	●	●●●	●●●
Паливо	●●	●●	●	●●●	●●
Розчинники	●●	●	●●	●●●	●●
Розчини кислот	●	●	●	●●●	●
Алкоголь	●●●	●●●	●●●	●●	●●
Температурний діапазон (°C)	-10...+70	-20...+60	-30...+180	-10...+200	-10...+70
Твердість за Шором А	50 ± 5	60 ± 5	50 ± 5	60 ± 5	50 ± 5

Примітка: ● – добре; ●● – дуже добре; ●●● – відмінно

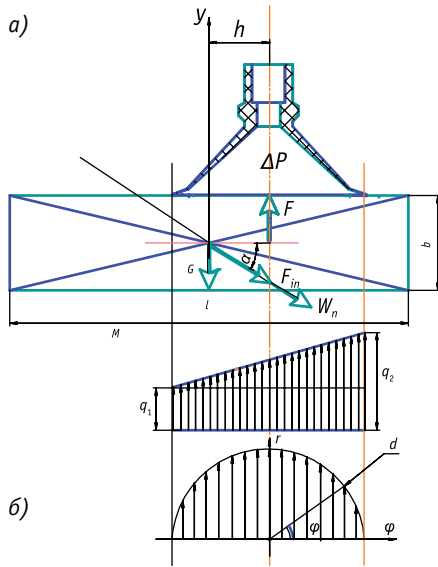


Рис. 2. Схема захоплення упаковки вакуумним присмоктувачем (а) за умови зміщення його геометричної осі відносно центра тяжіння упаковки та еюра розподілення тиску (б)

Припустимо, що центр тяжіння упаковки зміщений відносно осі присмоктувача на величину h . Розглянемо технологічну операцію піднімання упаковки вакуумним захоплювальним пристроєм. На присмоктувач з боку упаковки масою m діють сила інерції F_{in} , а також зовнішній момент сил, який перерозподіляє тиск присмоктувача на поверхню упаковки, величина якого залежить від її ваги і відстані від центра тяжіння упаковки до осі присмоктувача. Розподілення тиску показано у вигляді еюри (рис. 2).

З еюри видно, що найменший тиск q_1 визначає зону ймовірного відриву контакту присмоктувача від упаковки. Зміна тиску з $\max$ до $\min$ визначається з рівняння за прийнятого припущення, що закон розподілення тиску по периметру буртика присмоктувача з поверхнею упаковки є лінійним:

$$q = q_0 + \frac{M_r}{I_r} r_\phi, \quad (2)$$

$$\text{де } q_0 = \frac{4(F - (G + F_{in} \sin \alpha) + W_n \sin \alpha)}{\pi d^2} -$$

значення тиску контакту за умови його рівномірного розподілення; r_ϕ – кутова координата, що описує зону зміни тиску: $-d/2 < r_\phi < +d/2$; d – діаметр присмоктувача; I_p – мо-

мент інерції опорної площини $I_p = SR^2$, де R – радіус інерції відносно площі опорної поверхні; M_r – момент від зовнішніх навантажень відносно поверхні контакту; α – кут дії інерційних сил відносно осі OX ; W_n – опір повітря. Використовуючи вакуумні присмоктувачі, отримуємо кільцеву опорну поверхню, радіус інерції якої визначається за формулою [4] (рис. 2):

$$R^2 = \frac{D^2}{16} [1 + (\frac{D_1}{D})^2], \quad (3)$$

де D , D_1 – діаметри зовнішнього та внутрішнього кілець контакту присмоктувача з упаковкою.

Момент інерції опорної кільцевої поверхні між присмоктувачем та поверхнею вантажу:

$$I_p = SR^2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_1^2) \cdot \frac{D^2}{16} [1 + (\frac{D_1}{D})^2] = \frac{\pi}{64} (D^4 - D_1^4). \quad (4)$$

Тоді мінімальний та максимальний тиск відповідно до рівняння (2) визначається:

$$\begin{cases} q_1 = \frac{4(F - (G + F_{in} \sin \alpha + W_n \sin \alpha))}{\pi d^2} - (\frac{(G + F_{in} \sin \alpha)h}{I_p} - \frac{F_{in} \cos \alpha \cdot b}{2I_p}) \frac{d}{2}; \\ q_2 = \frac{4(F - (G + F_{in} \sin \alpha + W_n \sin \alpha))}{\pi d^2} + (\frac{F_{in} \cos \alpha \cdot b}{2I_p} + \frac{(G + F_{in} \sin \alpha)h}{I_p}) \cdot \frac{d}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Умова надійного контакту присмоктувача з упаковкою має вигляд:

$$q_1 > 0. \quad (6)$$

Руйнування контакту між присмоктувачем та упаковкою буде характеризувати початок процесу відриву, який почнеться за умови $q_1 = 0$. Величину вакууму в присмоктувачі на початок процесу відриву визначимо з рівняння:

$$\frac{4(F - (G + F_{in} \sin \alpha + W_n \sin \alpha))}{\pi d^2} - (\frac{(G + F_{in} \sin \alpha)h}{I_p} - \frac{F_{in} \cos \alpha \cdot b}{2I_p}) \frac{d}{2} = 0. \quad (7)$$

Після відповідних перетворень отримаємо:

$$\Delta p = (\frac{(G + F_{in} \sin \alpha)h}{I_p} - \frac{F_{in} \cos \alpha \cdot b}{2I_p}) \frac{d}{2} + \frac{4(G + F_{in} \sin \alpha + W_n \sin \alpha)}{\pi d^2}. \quad (8)$$

Якщо значення вакууму задане, то з рівняння (8) визначимо максимально допустиме зміщення центра мас упаковки відносно геометричної осі присмоктувача:

$$h \leq \frac{2I_p}{(G + F_{in} \sin \alpha)d} (\Delta p - \frac{4(G + F_{in} \sin \alpha + W_n \sin \alpha)}{\pi d^2}) + \frac{F_{in} \cos \alpha \cdot b \cdot d}{4I_p}. \quad (9)$$

З рівняння (9) можна зробити висновок, що величина зміщення центра тяжіння упаковки відносно осі присмоктувача залежить від діаметра присмоктувача, маси упаковки, напрямку вектора та величини прискорення. Для його зменшення доцільно використовувати одночасно декілька присмоктувачів, які синхронно виконують операцію захоплення упаков-

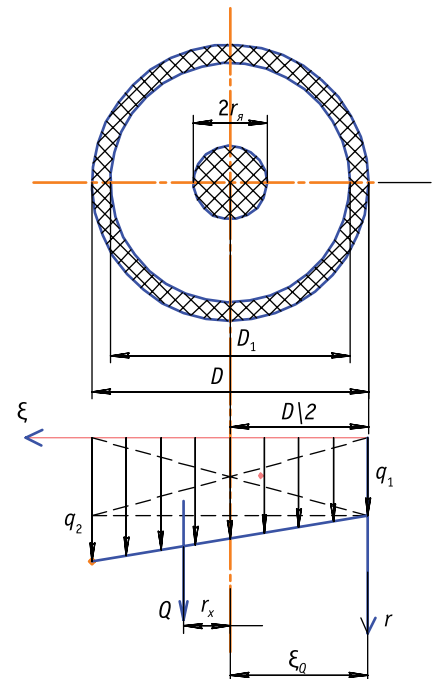


Рис. 3. Схема розподілення тиску по площі контакту в процесі переміщення упаковки вакуумним присмоктувачем

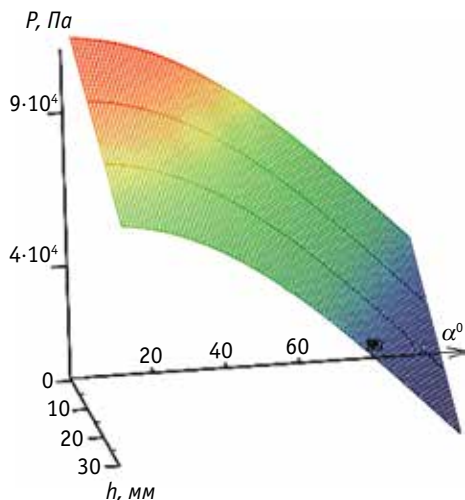


Рис. 4. Зміна розрідження в присмоктувачі (P , Па) як функції зміщення його осі розташування відносно центра тяжіння упаковки (h , мм) та кута дії сили інерції (α)

ки, а їх раціональне розташування по поверхні упаковки забезпечить компенсацію дії зовнішніх моментів сил. З іншого боку зміщення геометричної осі вакуумного присмоктувача відносно центра тяжіння (рис. 2) призводить до зміни значень тисків q_1 , q_2 і, як наслідок, форми епюри (наприклад, рис. 2). Поряд з цим, у результаті контакту присмоктувача по опорній кільцевій площині в середині її утворюється площа тиску, яка називається ядром перерізу [4]. Розмір ядра перерізу для кільцевої поверхні визначаємо з рівняння [4]:

$$r_x = \frac{D}{8} \left[1 + \left(\frac{D_1}{D} \right)^2 \right]. \quad (10)$$

Тоді умова надійного контакту між присмоктувачем і упаковкою має вигляд:

$$r_x < r_y, \quad (11)$$

де r_x — координата результуючої сили Q площі епюри тиску (рис. 3). Для визначення координати прикладання сили Q розглянемо площу епюри тиску, яка складається з прямокутника та трикутника. Відповідно, площі фігур визначимо з рівнянь:

$$S_1 = q_1 \cdot D; \quad S_2 = \frac{1}{2} (q_1 - q_2) \cdot D. \quad (12)$$

Координату сили Q визначаємо з рівняння:

$$\xi_Q = \frac{S_1 \cdot \xi_1 + S_2 \xi_2}{S_1 + S_2}, \quad (13)$$

де $\xi_1 = D/2$; $\xi_2 = \frac{2}{3}D$ — координати центра мас фігур, з яких складається епюра.

Підставимо вирази (12) та (13) у вираз (10) та з рис. 3 визначимо координату:

$$r_x = \xi_Q - \frac{D}{2} = \frac{q_1 \cdot D \cdot \frac{D}{2} + \frac{2}{3} D \frac{1}{2} (q_2 - q_1) \cdot D}{q_1 \cdot D + \frac{1}{2} (q_2 - q_1) \cdot D} - \frac{D}{2}. \quad (14)$$

Після відповідних перетворень рівняння (14) має вигляд:

$$r_x = \frac{D \cdot (q_1 - 3q_2)}{6}. \quad (15)$$

Підставимо рівняння (15) та рівняння (10) в рівняння (11):

$$\frac{D \cdot (q_1 - 3q_2)}{6} < \frac{D}{8} \left[1 + \left(\frac{D_1}{D} \right)^2 \right]. \quad (16)$$

Після відповідних перетворень рівняння (9) має вигляд:

$$h < \left[\left(1 + \left(\frac{D_1}{D} \right)^2 \right) \frac{6}{8} - \frac{16(F - (G + F_{in} \sin \alpha + W_{in} \sin \alpha))}{\pi d^2} - \frac{F_{in} \cos \alpha b d}{2 I_p} \right] \cdot \frac{I_p}{(G + F_{in} \sin \alpha) d}. \quad (17)$$

Результати числових розрахунків одержаних аналітичних залежностей впливу розташування геометричної осі присмоктувача відносно центра тяжіння упаковки з харчовим продуктом та кута дії сили інерції на розрідження всередині присмоктувача наведено на рис. 4.

Висновки

За результатами виконаних досліджень встановлено, що використання вакуумних захоплювальних пристроїв для переміщення упаковки складної форми зі збереженням її товарного вигляду є найбільш ефективним способом реалізації технологічних процесів групового пакування та пакетування. Встановлено, що зміщення геометричної осі присмоктувача відносно центра тяжіння упаковки в межах розмірів ядра перерізу контакту потребує додаткового збільшення величини вакууму в присосці на 30 %, а зміна кута дії сили інерції за такою схемою захоплення — ще на 10 %. Отримані результати можна

використовувати в розрахунках вакуумних захоплювальних пристроїв для визначення величини вакууму в моделюванні схем їх розташування на поверхні захоплювального об'єкта в процесі його переміщення.

Література

1. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.
2. Бурляй Ю.В. Оборудование для укладки и упаковки штучных изделий в тару: книга / Ю.В. Бурляй, Л.А. Сухой. — М.: Машиностроение, 1975. — 280 с.
3. Отений Я.Н. Выбор и расчет захватных устройств промышленных роботов: учебное пособие / Я.Н. Отений, П.В. Ольштынский. — Волгоград: ВолгГТУ, 2000. — 64 с.
4. Ивановский К.Е. Теоретические основы перемещения штучных грузов. — М.: Машиностроение, 1969. — 164 с. ✓

Вакуумные захватные устройства в упаковочных машинах (некоторые особенности применения)

Н.В. Якимчук, д.т.н., А.Н. Гавва, д.т.н., Л.А. Кривопляс-Володина, к.т.н.

В статье приведен анализ эффективного использования вакуумных захватывающих устройств. Сформулированы рекомендации по использованию разных материалов для изготовления захватных элементов. Аналитически исследовано влияние смещения центра масс упаковки относительно геометрического центра захватного устройства. Рекомендованы аналитические зависимости для обеспечения надежного и эффективного удержания упаковки захватным устройством.

Ключевые слова: вакуумный захват; внешняя нагрузка; центр масс; давление контакта.

Vacuum gripping device in packing machines (some features of the application)

M.V. Iakymchuk, Dr., O.M. Gavva, Dr., L.O. Krivoplyas-Volodina, Ph.D.

The article provides an analysis of the effective use of the vacuum gripper. Recommendations on the use of different materials for the manufacture of the gripping elements are formulated. The effect of the center of mass of packaging offset from the geometric center of the gripper is analytically studied. Analytical relationships to ensure reliable and efficient retention package gripper are recommended.

Keywords: vacuum gripper; external load; the center of gravity; contact pressure.