

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК 621.798

**В.В. ХАЛАЙДЖІ**

*ІАЦ "Упаковка"*

**О.М. ГАВВА**, д-р техн. наук,

**С.В. ТОКАРЧУК**, канд. техн. наук

*Національний університет харчових технологій*

## **ВРАХУВАННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАКУВАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ПРИ ДІЇ НА НИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ГРУПОВОГО ПАКУВАННЯ**

---

Виконано аналіз видів силової дії на пакувальну одиницю з боку робочих органів машин групового пакування. Розроблені математичні моделі переміщення пакувальних одиниць із врахуванням їх структурно-механічних характеристик. Наведено методику визначення реологічних параметрів пакувальних одиниць.

**Ключові слова:** пакувальна одиниця, групове пакування, лінія групового пакування, структурно-механічні характеристики пакувальних одиниць, математичні моделі.

Выполнен анализ видов силового действия на упакованную единицу со стороны рабочих органов машин группового упаковывания. Разработаны математические модели перемещения упаковочных единиц с учетом их структурно механических характеристик. Приведено методику определения реологических параметров упаковочных единиц.

**Ключевые слова:** упаковочная единица, групповое упаковывание, линия группового упаковывания, структурно-механические характеристики упаковочных единиц, математические модели.

Was executed the analysis of types of the power operating on the cased unit from the side of workings organs of machines for the group packing. The mathematical models of moving of packing units are developed taking into account their structurally-mechanical descriptions. Was considered the method of decision of rheological parameters of packing units.

**Keywords:** packing unit, group packeting, line of the group packeting, structurally-mechanical properties of packing units, mathematical models

Технологічна схема, вид і тип робочих органів машин групового пакування багато в чому залежать від структурно-механічних характеристик пакувальних одиниць. Споживчі упаковки із продукцією, залежно від деформаційних характеристик, умовно поділяють на жорсткі, напівжорсткі та м'які. Деформаційні характеристики пакувальних одиниць залежать від виду пакувального матеріалу, конструкції упаковки та виду продукції (рідка, сипка, в'язка, штучна), що розміщена в упаковці.

Під час переробки споживчих упаковок в лініях групового пакування упаковки, здебільшого, знаходяться на несучих площинах, які і визначають їх положення в просторі. За положеннями в просторі можна виділити горизонтальні і похилі несучі площини, а за кінематичними властивостями — рухомі, нерухомі або такі що мають циклічний характер руху. В деяких

© В.В. Халайджи, О.М. Гавва, С.В. Токарчук, 2011

машинах розташування несучих площин або їх кінематичні властивості можуть змінюватися в різних комбінаціях, що викликає відповідну зміну положення упаковок. Здебільшого до всіх несучих площин пред'являють такі основні вимоги: достатня міцність для сприйняття типу упаковки; забезпечення надійного контакту із упаковкою; стійкість до зношування і за потреби мінімальний опір переміщенню упаковки.

Якщо упаковка розташована нерухомо відносно несучої площини, то її силова взаємодія з несучою площиною має характер контактного тиску, розподіленого по опорній поверхні. При переміщенні упаковки по несучій площині до контактного тиску добавляються сили фрикційної взаємодії між опорною поверхнею упаковки і несучою площиною. Під час змінних режимів руху до перерахованої силової дії на упаковку добавляються сили інерції.

Операції перебудови руху упаковок із ряду в ряд, орієнтування, перевантаження, укладання упаковок в транспортну тару здійснюються за допомогою різних за конструктивним виконанням активних і пасивних робочих органів. До найбільш поширених активних робочих органів можна віднести зіштовхувачі; приводні стулки, відсікачі, піднімально-опускні платформи (столи), поворотні касети і платформи.

До пасивних робочих органів здебільшого відносять різного типу напрямні, обмежувальні стінки тощо.

Досить часто під час переміщення упаковок в лініях групового пакування, на них діють одночасно активні і пасивні робочі органи.

Переміщення упаковок досить часто супроводжується ударною взаємодією з конструктивними елементами машин групового пакування.

Врахування всіх перерахованих видів силової взаємодії упаковки з робочими органами дає можливість здійснювати керування процесами переміщення упаковки в лініях групового пакування. поряд із цим силова взаємодія є основною причиною появи небажаних пружних або в'язко-пластичних деформацій упаковки. Таким чином, взаємодія упаковок із конструктивними елементами машин групового пакування, повинна забезпечувати найкращий ефект керування рухом упаковки при одночасному зменшенні до мінімуму небезпеки її пошкодження і деформування.

Сьогодні характерні види взаємодії упаковки із конструктивними елементами машини достатньо повно оцінюються: контактним тиском<sup>4</sup> силами і моментами сил тертя ковзання; силами тертя кочення по роликовій поверхні; критеріями стійкості упаковок на несучих площинах; параметрами ударної дії на упаковки [1].

Тобто під час математичного моделювання переміщення по несучим поверхням структурних елементів групової упаковки — незалежно від того, з яких упаковок вони сформовані (жорсткі, напівжорсткі або м'які), — здебільшого приймають припущення, що упаковки є абсолютно твердими тілами. Таке припущення, особливо для м'яких упаковок з рідкою або сипкою продукцією, призводить до суттєвих похибок під час визначення часових, кінематичних та силових параметрів.

При проектуванні високопродуктивних пакувальних машин неточності тривалості виконань операцій, позиціонування упаковок призводять до зменшення фактичної продуктивності машини і якості виконання операцій.

А тому метою наведених досліджень є встановлення впливу структурно-механічних характеристик пакувальних одиниць на часові, кінематичні і силові параметри операцій переміщення структурних елементів групової упаковки.

У ході попередньо проведених досліджень встановлено, що напівжорсткі і м'які упаковки із сипкою або рідкою продукцією можна представити у вигляді пружного, пружно-пластичного і пластичного тіла [2].

Урахування структурно-механічних характеристик пакувальних одиниць дасть можливість з достатньо високою точністю прогнозувати позиціонування упаковок, а також тривалість виконання операції. Для високопродуктивних машин групового пакування, поряд з обмеженням навантаження на упаковки, позиціонування щодо робочих органів та тривалість виконання операцій є найважливішими параметрами.

Розрахунково-графічні моделі, за умови врахування пружно-пластичних характеристик, будуть мати дещо інший вигляд (порівняно з абсолютно жорстким тілом). У першому наближенні це двомасова

## ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

дискретна система [3]. Веденою масою здебільшого вважають масу вантажу, що переміщається, а ведучою — приведено масу рухомих елементів приводу і штовхача (рис.1). Зважаючи на суттєву різницю в значеннях жорсткості пружних елементів приводу і упаковки, можна припустити, що ведуча і ведена маса системи під час їхнього спільного руху з'єднані пружними зв'язками та демпфером, які характеризують структурно-механічні характеристики пакувальних одиниць.

Відомо, що пружна сила визначається добутком деформації  $x_1 - x_2$  та коефіцієнта  $c_{12}$  жорсткості. Для багатьох пакувальних матеріалів, а тим більше для відповідної конструкції споживчої упаковки із продукцією значення  $c_{12}$  можна визначити тільки експериментально. Як зазначає автор наукової праці [4], значення модуля пружності  $E$ , від якого функціонально залежить  $c_{12}$ , можна визначити в досить наближеному варіанті. У пружних ланках унаслідок переміщення сипкої, рідкої, в'язкої продукції разом з матеріалом упаковки виникають опори  $b_{12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$ , пропорційні відносній швидкості. У випадку застосування м'якої упаковки, у яку паковано сипку, рідку, в'язку продукцію, пластичну деформацію упаковки доречно представляти через тіло Сен-Венана (сухе тертя)  $z_0$ , яке пропорційне межі плинності  $G_T$  споживчої упаковки.

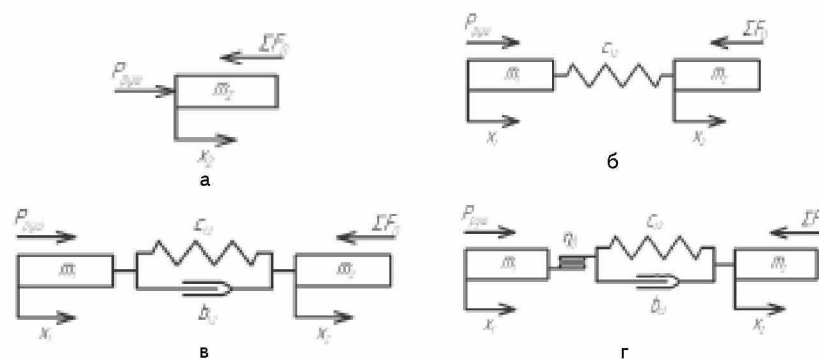


Рис.1. Розрахунково-графічні схеми механізму зштовхування споживчих упаковок з урахуванням їхніх структурно-механічних характеристик: абсолютно жорстке тіло (а), пружне тіло (б), пружно-пластичне тіло (в), пластичне тіло (г)

Для знаходження реологічних коефіцієнтів  $c_{12}$  та  $b_{12}$  можна, з відповідним наближенням, використовувати експериментальні дані ущільнення пакувальної одиниці.

Дослідження ущільнення пакувальної одиниці можна характеризувати як одностороннє деформування в'язкопружної дисперсної системи. Методика визначення реологічних коефіцієнтів  $c_{12}$  та  $b_{12}$  для в'язкопружної дисперсної системи наведена у праці [5]. Відповідно до даної методики за реологічну модель в'язкопружних дисперсних систем прийнято тіло Кельвіна-Фойгта, деформування якого описується рівнянням:

$$\tau = c \times x + b \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

де  $\tau$  — напруга деформування системи, Па;  $x$  — відносна деформація,  $x = \Delta a/a$ ;  $a$  — початкова довжина пакувальної одиниці;  $\Delta a$  — величина деформування упаковки під час прикладання до неї навантаження.

Прийнявши початкові умови:  $t=0$ ,  $x(t)=0$  розв'язок рівняння (1) буде мати вигляд:

$$x(t) = \frac{\tau}{c} (1 - e^{-\frac{c}{b}xt}). \quad (2)$$

Під час проведення експериментальних досліджень визначають тривалість  $t$ , величину відносної деформації  $x(t)$  пакувальної одиниці. В зв'язку із тим, що швидкість стискання зменшується, то відносна деформація  $x$  асимптотично наближається до значення  $\tau/c$  за деякий проміжок часу. Через те що дослідження проводяться при заданому значенні  $\tau$  то  $c = \frac{\tau}{x(t)}$ . Підставивши вихідні дані і значення  $c$  в рівняння (2) можна визначити величину  $b$ .

Переміщення ведучої маси здійснюється під дією рушійної сили  $P_{руш}$ , що створює привод. Опором переміщенню упаковок є сукупність сил тертя  $\sum F_0$  опорної поверхні упаковки по несучим поверхням робочих органів пристрою переміщення. Сили тертя  $\sum F_0$  також залежать від багатьох факторів: стабільності значень коефіцієнтів тертя; відносної швидкості переміщення опорної поверхні упаковки по несучим площинам робочих поверхонь пристрою; центрування упаковки щодо поверхонь контакту з робочими органами.

Для встановлення впливу структурно-механічних характеристик пакувальних одиниць на параметри операцій переміщення спочатку розглянемо дещо спрощені моделі. Для цього припустимо:

рушійна сила  $P_{руш}$  є величиною сталою і достатньою для переміщення упаковок; переміщення упаковок здійснюється по одній нерухомій площині і сила тертя  $\sum F_0$  дорівнює  $m \cdot g \cdot f_0$  ( $m$  — маса структурного елемента групової упаковки;  $f_0$  — коефіцієнт тертя опорної поверхні упаковки по несучій площині);

коефіцієнти жорсткості  $c_{12}$  і демпфірування  $b_{12}$  — величини сталі; для двомасових моделей рух першої маси  $m_1$  забезпечується приводом із сталою швидкістю  $\dot{x}_1 = V_0$ , тоді  $x_1 = V_0 \cdot t$ ;

переміщення упаковок зіштовхувачем здійснюється на відстань  $l$ ;

на початку переміщення зазор між зіштовхувачем і упаковками відсутній.

Переміщення упаковок зіштовхувачем по нерухомій площині наведено сукупністю двох характерних етапів:

переміщення упаковок зіштовхувачем на відстань  $l$ ;

переміщення упаковок по нерухомій площині під дією залишкової кінетичної енергії.

Рух упаковок на відповідних етапах описується наведеними в табл. 1 рівняннями.

Відповідно до наведених рівнянь, точність позиціонування визначається переміщенням упаковок на II етапі, тому що I етап характеризується точністю позиціонування зіштовхувача і в цій задачі прийнято його переміщення на відстань  $l$ .

Складові рівнянь, що характеризують деформаційні властивості упаковок на II етапі їхнього руху, сприяють збільшенню шляху руху до зупинки упаковки. Однак такий висновок неоднозначний, тому що параметри  $c_{12}$ ,  $b_{12}$  можуть збільшувати або зменшувати значення  $\dot{x}_2$  в момент, коли упаковка переміститься на відстань  $l$ .

Для визначення точного значення переміщення упаковки зіштовхувачем потрібно виконати розрахунки наведених рівнянь за реальних значень  $c_{12}$  та  $b_{12}$ . Тривалість технологічного процесу  $T_m$  також залежить від значень  $c_{12}$  та  $b_{12}$ .

Значно складніші рівняння для аналізу у випадку, коли сила опору залежить від позиціонування упаковки на несучих поверхнях подавального і магістрального конвеєрів, а також від відносної швидкості проковзування опорної поверхні упаковки по несучим поверхням конвеєрів.

Типовим прикладом такої ситуації може бути переміщення упаковок з подавального на магістральний конвеєр, несучі поверхні яких рухаються сумісно і паралельно [6]. Рівняння, що описують рух упаковок у таких переважувальних пристроях з урахуванням структурно-механічних характеристик упаковки, наведені в табл. 2.

У рівняннях прийнято позначення:  $V_p$ ,  $V_2$  — швидкість переміщення несучої поверхні щодо подавального та магістрального конвеєрів;  $f_p$ ,  $f_2$  — коефіцієнти тертя ковзання опорної поверхні упаковки по напрямним площинам щодо подавального та магістрального конвеєрів;  $V_0$  — швидкість переміщення робочого органа зіштовхувального пристрою.

Одержані рівняння є нелінійними диференціальними, розв'язати які можна лише числовими методами. Для встановлення впливу в кількісному і якісному значенні структурно-механічних характеристик упаковок на параметри операцій їхнього переміщення потрібно виконати машинний багатofакторний експеримент.

Одержані таким чином рівняння регресії дадуть змогу встановити шляхи забезпечення необхідної точності позиціонування та зменшення тривалості технологічного процесу.

Таблиця 1. Рівняння, що описують рух упакунок по нерухомій площині

Вид деформованого тіла	II етап	
	I підетап	II підетап
Абсолютно тверде тіло	$\dot{x}_2 = \frac{P_{\text{пов}} - gf_0}{m}$ $\dot{x}_2 = \left( \frac{P_{\text{пов}}}{m} - gf_0 \right) \cdot t;$ $x_2 = \left( \frac{P_{\text{пов}}}{m} - gf_0 \right) \cdot \frac{t^2}{2}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = 0</math> К.у.: <math>x_2 = l</math></p>	$\dot{x}_2 = -gf_0$ $x_2 = -gf_0 \cdot t + \dot{x}_{2, \text{н.к.}}$ $x_2 = -gf_0 \cdot \frac{t^2}{2} + \dot{x}_{2, \text{н.к.}} \cdot t$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{н.к.}}</math> К.у.: <math>x_2 = 0</math></p>
	$\dot{x}_2 = \frac{G_{22}}{m} [V_0(t_{01} + t) - x_2] - gf_0$ $t_0 = \frac{mg \cdot l_0}{G_2 \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = 0</math> К.у.: <math>x_2 = l</math></p>	$T_1 = t_1 + t_2$ $\dot{x}_2 = \frac{G_{22}}{m} [V_0(t_{01} + t_1) - (x_2 + l)] - gf_0$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{н.к.}}</math> К.у.: <math>x_2 = V_0(t_{01} + t_1) - l</math></p>
Пружне тіло		$T_1 = t_{01} + t_1 + t_{21} + t_{22};$ $\dot{x}_2 = \frac{G_{22}}{m} \left[ V_0(t_{01} + t_1) - (x_2 + l) \right] + (V_0 - x_2) \frac{b_{1,2}}{m} - gf_0$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = 0</math> К.у.: <math>x_2 = l</math></p>
Пружно-власницьке тіло	$\dot{x}_2 = \frac{G_{22}}{m} [V_0(t_{01} + t) - x_2] + (V_0 - x_2) \frac{b_{1,2}}{m} - gf_0$ $t_{01} = \frac{mg \cdot l_0 - b \cdot V}{G_{12} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = 0</math> К.у.: <math>x_2 = l</math></p>	$T_1 = t_{01} + t_1 + t_{21} + t_{22};$ $\dot{x}_2 = -gf_0$ $x_2 = -gf_0 \cdot t + \dot{x}_{2, \text{н.к.}}$ $x_2 = -gf_0 \cdot \frac{t^2}{2} + \dot{x}_{2, \text{н.к.}} \cdot t$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0; \dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{н.к.}}</math> К.у.: <math>x_2 = 0</math></p>

Таблиця 2. Рівняння, що описують рух упаковок під час переміщення їх зіштовхувачем з подавального на магістральний конвеєр

Вид деформованого тіла	I етап	II етап	III етап	IV етап		
				I підетап	II підетап	
1	2	3	4	5	6	
Абсолютно тверде тіло	$\ddot{x}_2 = \frac{P_{\text{прв}}}{m} - g t_1 \times$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \right.$ $\left. + t_4 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = 0</math>                      К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{P_{\text{прв}}}{m} - g t_1 \times$ $\times \frac{a - x_2}{a} \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \right.$ $\left. + t_4 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] -$ $- g t_2 \frac{x_2}{a} \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} + \right.$ $\left. + t_5 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{в}}</math> К.у.:  <math>x_2 = a</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{P_{\text{прв}}}{m} - g t_2 \times$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} + \right.$ $\left. + t_5 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{в}}</math>                      К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = -g t_3 \times$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_3^2 + \dot{x}_2^2}} + \right.$ $\left. + t_6 \cdot \frac{V_3}{\sqrt{V_3^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2, \text{в}}</math> К.у.:  <math>\dot{x}_2 = 0</math></p>		
	$T_T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4; \sum x_2 = a + 2\delta + x_{2, \text{в}}$					

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Продовження табл. 2

Вид деформованого тіла	IV етап			
	I підетап	II підетап	III етап	IV етап
1	2	3	4	5
Пружне тіло	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{01} + t) - x_2]$ $-gf_2 \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ $+ f_1 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}}$ $t_{01} = \frac{mg \cdot l_2}{c_{1,2} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = 0</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{01} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - x_2]$ $-gf_2 \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] -$ $+ f_1 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1,3}</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{01} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) - x_2]$ $-gf_2 \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] +$ $+ f_1 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1,3}</math> К.у.:  <math>x_2 = V_0(t_{01} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) -</math>  <math>-(x_{2,1,3} + x_{2,2,4} + x_{2,3,5})</math></p>	$\ddot{x}_2 = -gf_2 \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] +$ $+ f_1 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1,3}</math>                  К.у.: <math>\dot{x}_2 = 0</math></p>
	<p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1,3}</math> К.у.:  <math>x_2 = a</math></p> $T_1 = t_{01} + t_1 + t_2 + t_3 + t_{4,1} + t_{4,2}; \sum x_2 = a + 2\delta + x_{2,3,4}$			

Вид деформованого тіла	IV етап			
	I підетап	II підетап	III етап	IV етап
1	2	3	4	5
Пружно-еластичне тіло	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{02} + t) - x_2] + (V_0 - \dot{x}_2) \frac{b_{1,2}}{m} - g f_1$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_2 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ $t_{02} = \frac{mg \cdot f_2 - b_{1,2} \cdot V_0}{c_{1,2} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = 0</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{02} + t_1 + t_2) - (x_2 + x_{2,1k} + x_{2,2k})] + (V_0 - \dot{x}_2) \frac{b_{1,2}}{m} - g f_1$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_2 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ $t_{02} = \frac{mg \cdot f_2 - b_{1,2} \cdot V_0}{c_{1,2} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1k}</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{02} + t_1 + t_2 + t_3) - (x_2 + x_{2,1k} + x_{2,2k} + x_{2,3k})] + (V_0 - \dot{x}_2) \frac{b_{1,2}}{m} - g f_1$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_2 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ $t_{02} = \frac{mg \cdot f_2 - b_{1,2} \cdot V_0}{c_{1,2} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1k}</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>	$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{02} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - (x_2 + x_{2,1k} + x_{2,2k} + x_{2,3k} + x_{2,4k})] + (V_0 - \dot{x}_2) \frac{b_{1,2}}{m} - g f_1$ $\times \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_2 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ $t_{02} = \frac{mg \cdot f_2 - b_{1,2} \cdot V_0}{c_{1,2} \cdot V_0}$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,1k}</math>                  К.у.: <math>x_2 = \delta</math></p>
				6
				$\ddot{x}_2 = -g f_2 \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} + f_3 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} \right]$ <p>П.у.: <math>t = 0; x_2 = 0;</math>  <math>\dot{x}_2 = \dot{x}_{2,4k}</math>                  К.у.: <math>\dot{x}_2 = 0</math></p>

$$T_T = t_{02} + t_1 + t_2 + t_3 + t_{4,1} + t_{4,2}; \sum x_2 = a + 2\delta + x_{2,5k}$$



## ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

**Висновки.** Результатом виконаних досліджень є розроблені математичні моделі, що описують рух упаковок по несучим поверхням під час їхнього переміщення зіштовхувачем з урахуванням структурно-механічних характеристик споживчих упаковок, заповнених продукцією.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І.* Обладнання для групового пакування — К.: ІАЦ «Упаковка», 2007. — 136 с.
2. *Ефремов Н.Ф., Корнилов И.К., Лебедев Ю.М.* Испытание и надежность упаковки — М.: МГУП, 2004. — 112 с.
3. *Данилевский В.А.* Картонная и бумажная тара. — М.: Лесная промышленность, 1979. — 216 с.
4. *Моделювання процесів пакування / Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін.* — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.
5. *Гуць В.С., Полевода Ю.А., Коваль О.А.* Визначення структурно-механічних характеристик в'язкопружних дисперсних систем // Упаковка. — 2011. — № 1. — с. 35—40.
6. *Гавва О.М., Халайджі В.В., Волчко А.І.* Диференціація операцій групового пакування // Упаковка. — 2009. — № 6. — С. 35—40.

*Одержана редколегією 24.12.2010 р.*