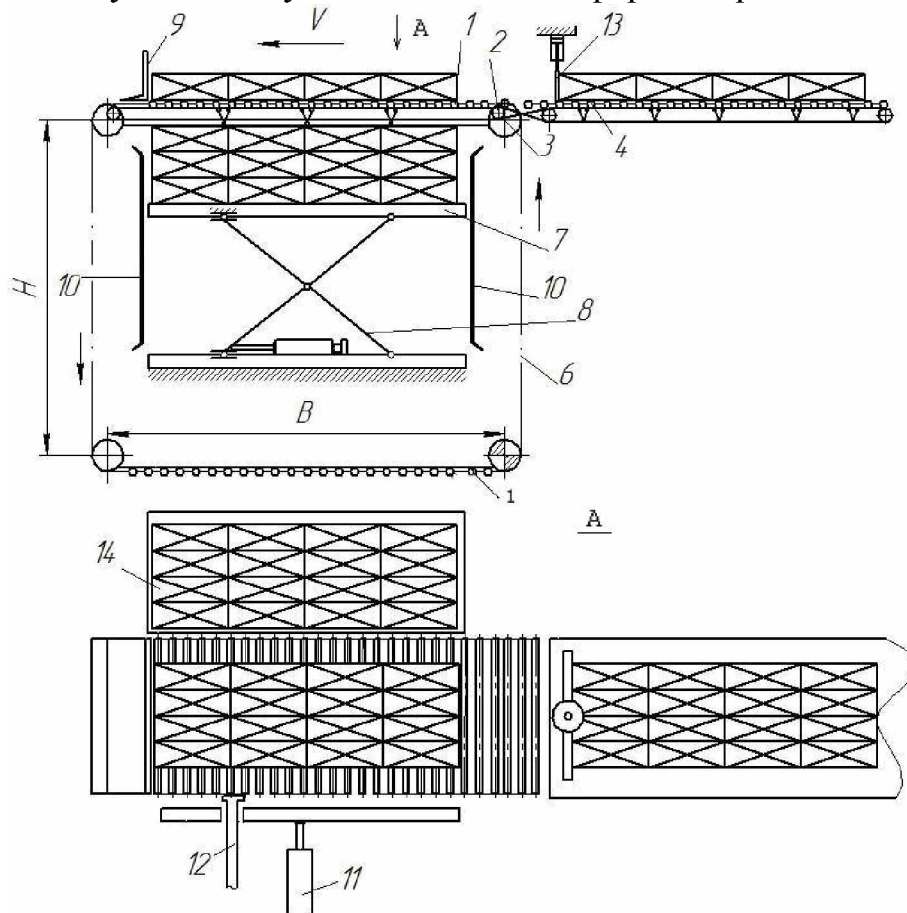


## Науково-технічне вдосконалення функціональних модулів формування структурних елементів групової упаковки

О.Р. Ніколюк, О.М. Гавва, д.т.н., Якимчук М.В., к.т.н., НУХТ, м. Київ

Групове пакування – це одна з важливих логістичних операцій, що переводить пакувальні одиниці у вантажі. Залежно від виду пакувальної одиниці, продуктивності технологічних ліній застосовують три способи формування групової упаковки: горизонтальний, вертикальний, комбінований [1]. Для пакувальних одиниць форми паралелепіпеда широко застосовують горизонтальний спосіб із пошаровим формуванням структурних елементів групової упаковки. На основі аналізу структури та циклограми машин для групового пакування пакувальних одиниць форми паралелепіпеда встановлено, що для реалізації високої продуктивності потрібно диференціювати операції формування структурних елементів та формувати групову упаковку шляхом накопичення шарів пакувальних одиниць на піднімально-опускній платформі. Для впровадження такої технології запропоновано нову конструкцію машини для групового пакування пакувальних одиниць форми паралелепіпеда (рис. 1).



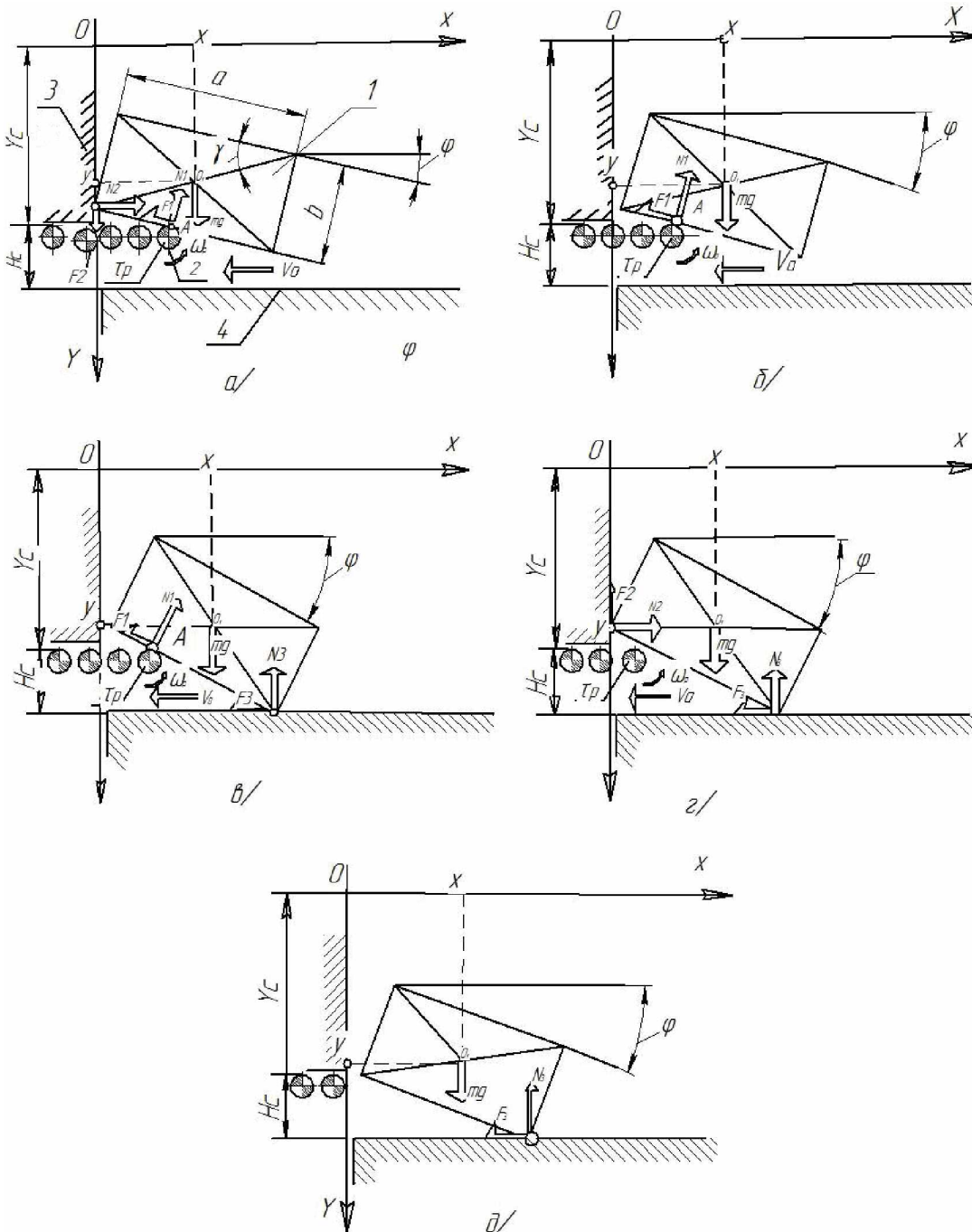
**Рис. 1.** Машина для групового пакування пакувальних одиниць форми паралелепіпеда

Машина складається з накопичувально-подавального конвеєра, механізму укладання, піднімально-опускного механізму, механізму зіштовхування групової упаковки та пристрою позиціонування і утримання транспортної тари.

Накопичувально-подавальний конвеєр наведено у вигляді роликового конвеєра 4, приводом якого є фрикційно-пасова передача. Конструкцією машини передбачено переміщення на накопичувальний конвеєр 4 попередньо сформованого шару пакувальних одиниць. Для позиціонування шару пакувальних одиниць на подавальному конвеєрі встановлено упорну площину 13, яка здійснює зворотно-поступальний рух. Механізм укладання конструктивно виконаний у вигляді двох замкнених ланцюгових конвеєрів 6, між якими у двох рівнях встановлено роликові доріжки 1. Довжина роликових доріжок визначається довжиною шару пакувальних одиниць. Роликова доріжка, що розташована на верхньому рівні, приводиться до руху фрикційно-пасовою передачею синхронного руху роликів на подавальному конвеєрі. Обмеження руху шару пакувальних одиниць на роликовому конвеєрі 1 здійснюється упорною площиною 9. Між ланцюговими контурами розташований піднімально-опускний механізм у вигляді нюрнберзьких ножиць 8. Приводом такого механізму є пневмопривод. Несучою площиною нюрнберзьких ножиць є платформа 7, на якій накопичуються шари пакувальних одиниць. Механізм зіштовхування групової упаковки наведено у вигляді вертикальної площини, яка рухається в горизонтальному напрямку за допомогою пневмопривода 11 та напрямної 12. Сформована групова упаковка переміщується в транспортну тару 14, яка позиціонується і формується відповідним механізмом. Сформований шар пакувальних одиниць подається на подавальний конвеєр 4 до моменту його контакту з упорною площиною 13. У момент, коли перший ролик роликової доріжки 1 переміститься на верхній горизонтальний рівень, синхронно приєднуються до руху фрикційно-пасові передачі подавального і укладального конвеєрів. Упорна напрямна 13 піднімається догори, і шар пакувальних одиниць переміщується на укладальний роликовий конвеєр 1. Досягнувши упорну напрямну 9, пакувальні одиниці зупиняються, а роликова доріжка продовжує переміщуватись по контуру ланцюга. Відведення роликової доріжки із-під шару пакувальних одиниць приводить до укладання їх на платформу піднімально-опускного механізму 8 або на попередньо укладений шар пакувальних одиниць. Процес накопичення і укладання шарів здійснюється в безперервному режимі, що дає змогу суттєво збільшити продуктивність машини. Сформована групова упаковка механізмом зіштовхування 11 переміщується у попередньо сформований і спозиціонований гофрокартонний ящик. Тривалість операції зіштовхування і переміщення на верхній рівень залежить від тривалості переміщення шару пакувальних одиниць із позиції подавального конвеєра в позицію укладального конвеєра. Для забезпечення якісного накопичення шарів пакувальних одиниць та визначення тривалості укладання шару з можливим вибором раціональних геометричних, кінематичних і силових параметрів механізму укладання доречно виконати дослідження операції укладання пакувальних одиниць відвідною приводною роликовою доріжкою. Особливістю операції укладання шару пакувальних одиниць механізмом із відвідною приводною роликовою доріжкою є ковзання пакувальних одиниць по циліндричній поверхні ролика, а не по ребру, як це наведено в роботі [2]. Під час математичного моделювання

операції укладання можна виділити такі характерні етапи переміщення пакувальних одиниць з ковзанням (рис. 2):

- по робочій поверхні ролика та упорній площині;
- по робочій поверхні ролика;
- по робочій поверхні ролика і поверхні укладання;
- по напрямній площині і поверхні укладання;
- по поверхні укладання.



**Рис. 2.** Характерні етапи руху пакувальної одиниці під час укладання її відвідною приводною роликовою доріжкою

На першому етапі складний плоский рух пакувальної одиниці починається в момент рівності довжини робочої поверхні відвідної приводної роликової доріжки значенню  $S_0$ .

Значення  $S_0$  можна визначити з умови статичної рівноваги пакувальної одиниці в горизонтальному положенні на роликовій доріжці:

$$S_0 = 0.5c(1 - f_1 f_2) \cos \gamma, \quad (1)$$

де  $f_1, f_2$  – коефіцієнти тертя ковзання пакувальної одиниці по ролику і напрямній площині:  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ , де  $a, b$  – довжина та ширина пакувальної одиниці;  $\gamma = \arctg \frac{b}{a}$ . У місцях контакту пакувальної одиниці з напрямною площиною і останнім роликом доріжки діють нормальні реакції  $N_1$  і  $N_2$  та сили тертя ковзання  $F_1$  і  $F_2$ . При цьому пакувальна одиниця здійснює обкочування з ковзанням по робочій поверхні ролика. У разі подальшого зменшення робочої довжини доріжки можливі відрив пакувальної одиниці від напрямної площини, її контакт з поверхнею укладання. Умови закінчення першого етапу руху пакувальної одиниці можуть бути нерівні:

$$N_2 \leq 0; \quad (2)$$

$$y \geq Y_c + H_c - 0.5c \cos(\gamma + \varphi) \quad (3)$$

або

$$H_c \leq \cos \gamma \cdot \sin \varphi - (S_0 \cdot v_0 \cdot t + r_p \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

де  $H_c$  – відстань від робочої поверхні роликової доріжки до поверхні укладання;  $Y_c$  – відстань від осі координат  $XOY$  до поверхні роликової доріжки;  $v_0$  – швидкість переміщення роликової доріжки;  $\varphi$  – кут повороту пакувальної одиниці;  $r_p$  – радіус ролика. Виконання умови (2) відповідає початку другого етапу руху пакувальної одиниці, а умови (4) – третьому. Операцію укладання пакувальної одиниці, залежно від співвідношення значень геометричних параметрів пакувальної одиниці і механізму укладання, можна розглядати як сукупність етапів різної кількості. Так, у разі виконання умови (4) в момент закінчення першого етапу, другий етап не наступить. Розглянемо послідовно етапи руху пакувальної одиниці, врахувавши виконання умов (2) та (4). Другий етап характеризується складним плоским рухом пакувальної одиниці 1 під час відведення приводної роликової доріжки 2. У цьому разі пакувальна одиниця продовжує обкочування по поверхні ролика з ковзанням по лінії контакту. Під час обкочування з ковзанням у місці контакту діє реакція  $N_1$  і сила тертя ковзання  $F_1$ , яка діє по дотичній до поверхні ролика і спрямована в бік, протилежний додатковому напрямку  $X$ . Основною ознакою закінчення цього етапу руху пакувальної одиниці є контакт з поверхнею укладання. Математичне описання умови закінчення другого етапу наведено у вигляді нерівності (4). Наступний етап характеризує рух пакувальної одиниці у разі одночасного його ковзання по поверхні укладання і робочій поверхні ролика. Тривалість цього етапу залежить від співвідношення геометричних параметрів пакувальної одиниці і механізму укладання, а також коефіцієнта тертя ковзання  $f_2$  між пакувальною одиницею і поверхнею укладання. Умови закінчення третього етапу можна записати у вигляді таких нерівностей:

$$N_1 \leq 0; \quad (5)$$

$$x \leq 0.5c \cos(\varphi - \gamma). \quad (6)$$

Виконання умови (5) та (6) відповідає початку четвертого етапу руху пакувальної одиниці. На четвертому етапі пакувальна одиниця здійснює плоский рух із ковзанням по поверхні укладання і напрямній площині. Можливе також виконання тільки однієї умови, яка визначається формулою (6). У цьому разі настає п'ятий етап руху пакувальної одиниці. П'ятий етап характеризує плоский рух пакувальної одиниці під час ковзання її нижнього ребра по поверхні укладання. Кінцеві формули і рівняння, що описують поетапний рух пакувальної одиниці під час її укладання відвідною приводною роликовою доріжкою, а також граничні умови для кожного етапу, наведені в таблиці.

*Таблиця.*

*Розрахункові формули для визначення основних параметрів операції укладання пакувальних одиниць відвідною приводною роликовою доріжкою*

Етапи	Розрахункові формули і рівняння	Введені позначення
1	2	3
Перший етап	<p>Початкові умови:  <math>t = 0, \varphi_{n1} = 0, x_{n1} = 0, 5a, y_{n1} = Y_c - 0.5h</math>  <math>\ddot{x} = 0.5c(\dot{\varphi} \sin(\gamma - \varphi) - \dot{\varphi}^2 \cdot \cos(\gamma - \varphi));</math>  <math>\ddot{y} = \dot{\varphi} E_\varphi + \dot{\varphi}^2 F_\varphi + 2\dot{\varphi} \cdot v_0 \cdot \sec^2 \varphi;</math>  <math>\ddot{\varphi} = (\dot{\varphi}^2 (0.5 \cdot c \cdot \cos(\gamma - \varphi)(A_\varphi \cdot N_\varphi - f_2 \cdot L_\varphi) + F_\varphi \cdot L_\varphi) +</math>  <math>+ L_\varphi (g - 2v_0 \cdot \sec^2 \varphi)) (\frac{A_\varphi \cdot c^2}{12} + E_\varphi \cdot L_\varphi - 0.5c \times</math>  <math>\times \sin(\gamma - \varphi)(f_2 \cdot L_\varphi - A_\varphi N_\varphi))^{-1};</math>  <math>N_1 = \frac{m}{A_\varphi} (g + f_2 \ddot{x} - \ddot{y}); N_2 = \frac{m}{A_\varphi} (B_\varphi (\ddot{y} - g) + \ddot{x} \times</math>  <math>\times (A_\varphi - f_2 B_\varphi))</math></p> <p>Умови закінчення етапу:  <math>y = Y_c + H_c - 0.5c \cdot \cos(\varphi + \gamma), N_2 = 0</math></p>	$S_0 = 0.5c(1 - f_1 \cdot f_2) \cdot \cos \gamma, A_\varphi = (f_1 + f_2) \sin \varphi + (1 -$ $- f_1 \cdot f_2) \cos \varphi, B_\varphi = \sin \varphi - f_1 \cdot \cos \varphi, E_\varphi =$ $= \sec^2 \varphi (v_0 \cdot t - 0.5c(1 - f_1 \cdot f_2) \cos \gamma - r_p \cdot \sin \varphi -$ $- 0.5c \cdot \cos^2 \varphi \cdot \cos(\gamma - \varphi)); F_\varphi = \sec^3 \varphi (2 \cdot v_0 \cdot t \times$ $\times \sin \varphi - r_p (1 + \sin^2 \varphi) - c(1 - f_1 \cdot f_2) \cdot \sin \varphi \times$ $\cos \gamma + 0.5c \cdot \sin(\gamma - \varphi) \cdot \cos^3 \varphi,$ $K_\varphi = \sec \varphi (v_0 \cdot t - r_p \cdot \sin \varphi - 0.5c \cdot \cos \gamma (1 -$ $- f_1 \cdot f_2 - \cos \varphi)) + 0.5c \cdot f_1 \cdot \sin \gamma,$ $L_\varphi = K_\varphi + (\sin \varphi - f_1 \cos \varphi)(\sin(\gamma - \varphi) + f_2 \times$ $\times \cos(\gamma - \varphi) \cdot 0.5c;$ $N_\varphi = 0.5c(\sin(\gamma - \varphi) + f_2 \cdot \cos(\gamma - \varphi)).$
Другий етап	<p>Початкові умови:  <math>t = 0; \varphi_{n2} = \varphi_{k1}; \dot{\varphi}_{n2} = \dot{\varphi}_{k1}</math>  <math>\ddot{x} = c^2 (g \cdot \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \cdot B_\varphi - 2\dot{\varphi} D_\varphi)(\cos \varphi + \dots</math>  <math>+ f_1 \cdot \sin \varphi)(c^2 + 12 \cdot A_\varphi \cdot E_\varphi)^{-1};</math>  <math>\ddot{y} = g - c^2 (g \cdot \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 B_\varphi - 2\dot{\varphi} D_\varphi)(\cos \varphi + \dots</math>  <math>+ f_1 \cdot \sin \varphi)(c^2 + 12 \cdot A_\varphi \cdot E_\varphi)^{-1}</math>  <math>\ddot{\varphi} = 12(g \cdot \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 B_\varphi - 2\dot{\varphi} D_\varphi) E_\varphi (c^2 + 12 \times</math>  <math>\times A_\varphi \cdot E_\varphi)^{-1};</math>  <math>N_1 = mc^2 (g \cdot \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 B_\varphi - 2\dot{\varphi} D_\varphi)(c^2 + 12 A_\varphi E_\varphi)^{-1}.</math></p> <p>Умови закінчення етапу:  <math>\ddot{\varphi} = 0, y = Y_c + H_c - 0.5c \cdot \cos(\gamma - \varphi)</math></p>	$A_\varphi = (v_0 \cdot T - S_0 + x) \cos \varphi - (Y_c + r_p - y) \cdot \sin \varphi;$ $B_\varphi = (S_0 - v_0 \cdot T - x) \cdot \sin \varphi - (Y_c + r_p - y) \cos \varphi;$ $D_\varphi = (v_0 + \dot{x}) \cdot \cos \varphi + \dot{y} \cdot \sin \varphi;$ $E_\varphi = (x - S_0 + v_0 \cdot T) \cos \varphi - (Y_c + r_p - y) \times$ $\times \sin \varphi + 0.5c \cdot f_1 \cdot \sin \gamma.$

Третій етап	<p><b>Початкові умови:</b>  <math>t = 0; \varphi_{n3} = \varphi_{k2}; \dot{\varphi}_{n3} = \dot{\varphi}_{k2}</math>  <math>\ddot{x} = A_{\varphi} \cdot \ddot{\varphi} + B_{\varphi} \cdot \dot{\varphi}^2</math>  <math>\ddot{y} = 0.5c(\dot{\varphi}^2 \cdot \sin(\varphi + \gamma) - \ddot{\varphi} \cdot \cos(\varphi + \gamma))</math>  <math>\ddot{\varphi} = (\dot{\varphi}^2((F_{\varphi} \cdot D_{\varphi} - f_3 K_{\varphi})(0.5c \cdot D_{\varphi} \cdot \sin(\varphi + \gamma) + B_{\varphi} \times</math>  <math>\times E_{\varphi}) - B_{\varphi} K_{\varphi}) + mg \cdot D_{\varphi} (D_{\varphi} \cdot F_{\varphi} - f_3 \cdot K_{\varphi}))((c^2 / 12) \times</math>  <math>\times C_{\varphi} \cdot D_{\varphi} + A_{\varphi} \cdot K_{\varphi} + (F_{\varphi} \cdot D_{\varphi} - f_3 \cdot K_{\varphi})(0.5c \cdot \cos(\varphi + \dots</math>  <math>+ \gamma) D_{\varphi} - A_{\varphi} \cdot E_{\varphi}))^{-1}</math>  <math>N_1 = m(\ddot{\varphi}(A_{\varphi}(1 + f_3 E_{\varphi}) - 0.5c \cdot f_3 \cdot \cos(\varphi + \gamma) \cdot D_{\varphi} +</math>  <math>+ \dot{\varphi}^2(0.5c \cdot f_3 \cdot D_{\varphi} \sin(\varphi + \gamma) + f_3(g \cdot D_{\varphi} + B_{\varphi} \cdot E_{\varphi}))</math>  <math>+ B_{\varphi})(C_{\varphi} \cdot D_{\varphi})^{-1}</math>  <math>N_3 = m(\ddot{\varphi}(A_{\varphi} \cdot E_{\varphi} - 0.5c \cdot D_{\varphi} \cdot \cos(\varphi + \gamma)) + \dot{\varphi}^2 \times \dots</math>  <math>\times (0.5c \cdot D_{\varphi} \sin(\varphi + \gamma) + B_{\varphi} \cdot E_{\varphi}) + g D_{\varphi}) \cdot C_{\varphi}^{-1}</math></p> <p><b>Умова закінчення етапу: N1=0</b></p>	$A_{\varphi} = \operatorname{cosec}^2 \varphi (r_p (1 - \cos^3 \varphi) + 0.5c(\sin \gamma \times$ $\times \cos \varphi + \sin(\varphi + \gamma) + 0.5 \cdot \cos(\varphi + \gamma) \times$ $\times \sin 2\varphi);$ $B_{\varphi} = \operatorname{cosec}^3 \varphi (\tau_p (\sin \varphi (1 + \sin^3 \varphi) + 2 \cos \varphi \times$ $\times (\cos \varphi - 1)) + 0.5c(\sin \gamma \cdot \cos^2 \varphi + \sin \varphi \cdot \cos(\varphi +$ $+ \gamma)(1 - 2 \sin^2 \varphi) - \sin(\varphi + \gamma) \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \varphi)$ $C_{\varphi} = \sin \varphi (1 - f_1) + \cos \varphi (f_3 - f_1)$ $D_{\varphi} = \sin \varphi - f_1 \cos \varphi$ $E_{\varphi} = \cos \varphi - f_1 \cdot \cos \varphi$ $F_{\varphi} = 0.5c(\cos(\varphi + \gamma) - f_3 \cdot \sin(\varphi + \gamma))$ $K_{\varphi} = (x - S_0 + \vartheta_c \cdot T + r_p \sin \varphi) \cos \varphi + \dots$ $+ 0.5c \cdot f_1 \cdot \sin \gamma$
Четвертий етап	<p><b>Початкові умови:</b>  <math>t = 0; \varphi_{n4} = \varphi_{k3}; \dot{\varphi}_{n4} = \dot{\varphi}_{k3}</math>  <math>\ddot{x} = -0.5c(\ddot{\varphi} \cdot \sin(\varphi - \gamma) + \dot{\varphi}^2 \cdot \cos(\varphi - \gamma))</math>  <math>\ddot{y} = -0.5c(\ddot{\varphi} \cdot \cos(\varphi + \gamma) - \dot{\varphi}^2 \cdot \sin(\varphi + \gamma))</math>  <math>N_2 = m(\ddot{x} + f_3(g - f_2 \cdot \ddot{x} - \ddot{y})(1 + f_2 \cdot f_3)^{-1})</math>  <math>N_3 = m(g - f_2 \ddot{x} - \ddot{y})(1 + f_2 \cdot f_3)^{-1}</math>  <math>\ddot{\varphi} = (\frac{2g}{c} - A_{\varphi} + \dot{\varphi}^2 (A_{\varphi}(f_2 \cdot \cos(\gamma - \varphi) - \sin(\gamma -</math>  <math>- \varphi)) - B_{\varphi} \cdot \cos(\gamma - \varphi))(\frac{1}{3}(1 + f_2 \cdot f_3) + A_{\varphi}(f_2 \times</math>  <math>\times \sin(\gamma - \varphi) - \cos(\gamma - \varphi)) - B_{\varphi} \cdot \sin(\gamma - \varphi))^{-1}</math></p> <p><b>Умови закінчення етапу: N2=0, <math>\varphi=0</math></b></p>	$A_{\varphi} = f_3 \cdot \sin(\varphi + \gamma) - (1 - f_2 \cdot f_3) \cos(\gamma - \varphi) - \dots$ $- \cos(\gamma + \varphi) - f_3 \cdot \sin(\gamma - \varphi)$ $B_{\varphi} = f_2 \cdot \cos(\gamma - \varphi) - (1 + f_2 \cdot f_3) \sin(\lambda - \varphi)$
П'ятий етап	<p><b>Початкові умови:</b>  <math>t = 0; \varphi_{n5} = \varphi_{k4}; \dot{\varphi}_{n5} = \dot{\varphi}_{k4}</math>  <math>\ddot{y} = 0.5c \cdot (\dot{\varphi}^2 \cdot \sin(\varphi + \gamma) - \ddot{\varphi} \cdot \cos(\varphi + \gamma))</math>  <math>\ddot{x} = f_3(\ddot{y} - g); \ddot{\varphi} = (-(2g / c)(\cos(\varphi + \gamma) -</math>  <math>- f_3 \cdot \sin(\varphi + \gamma)) + \dot{\varphi}^2(0.5 \cdot \sin 2(\varphi - \gamma) - f_3 \sin^2(\varphi +</math>  <math>+ \gamma)))(\frac{1}{3} + \cos^2(\varphi + \gamma) - 0.5 f_3 \sin 2(\varphi + \gamma))^{-1}</math></p> <p><b>Умова закінчення етапу: <math>\varphi = 0</math></b></p>	

Одержані залежності – здебільшого нелінійні диференціальні рівняння, які розв'язуються числовими методами. Тривалість операції укладання шару пакувальних одиниць відповідною роликовою приводною доріжкою можна визначити за формулою:

$$T_y = n \sum_{i=1}^{i=5} t_i, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість пакувальних одиниць у ряду шару групової упаковки;  $t_i$  – тривалість  $i$ -го етапу операції укладання пакувальних одиниць на піднімально-опускную платформу.

### **Висновки**

На основі аналізу та синтезу технологічних схем та структури машин для групового пакування пакувальних одиниць форми паралелепіпеда запропоновано нову структуру і конструкцію машини, яка забезпечує безперервний режим укладання шарів пакувальних одиниць на платформу піднімально-опускного механізму, що суттєво збільшує продуктивність машини. Для вибору раціональних кінематичних і геометричних параметрів механізму накопичення шарів пакувальних одиниць розроблено математичну модель переміщення шару пакувальних одиниць відвідною роликною привідною доріжкою на платформу піднімально-опускного механізму.

### **Література**

1. *Гавва О.М.* Обладнання для групового пакування / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волочко. – К.: ІАЦ, «Упаковка», 2009. – 115 с.
2. *Кривопляс А.П.* Пакетоформирующие машины / А.П. Кривопляс, А.А. Кукибный, А.П. Беспалько и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 242 с.