

УДК 621.8

В.А. ПІДДУБНИЙ, д-р техн. наук,
С.А. БУТ, канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ ШАРУ ВИРОБІВ НА РУХОМІЙ ПЛОЩИНІ

Розроблено і виконано аналіз математичних моделей процесів формування масивів виробів склотарної продукції з заданим позиціонуванням на рухомих площинах.

Ключові слова: динаміка, переміщення, взаємодія, удар, маса, прискорення.

Разработаны и проанализированы математические модели процессов формирования массивов изделий склотарной продукции с заданным позиционированием на подвижных плоскостях.

Ключевые слова: динамика, перемещение, взаимодействие, удар, масса, ускорение.

Developed and analysed mathematical models of processes of forming of arrays of wares of стеклотарной products with the set keeping on mobile planes.

Keywords: dynamics, moving, co-operation, blow, mass, acceleration.

Сучасні транспортно-технологічні лінії для підготовки склотари, фасування продукції і синтезу транспортних та збільшених вантажних одиниць створюються з поєднанням як однопотокових, так і кількопотокових машин-автоматів. У зв'язку з цим у таких лініях здійснюється кількаразова перебудова масивів виробів на рухомих і нерухомих площинах з певними силовими взаємодіями, які за умовами міцності скляної тари необхідно обмежувати. В окремих випадках формування масивів виробів з заданим їх позиціонування для можливості виконання наступних операцій, наприклад, захоплення, переміщення і вкладання у транспортну тару. Формування таких масивів може здійснюватися за використання детермінованих або недетермінованих підходів.

Одним із варіантів детермінованого підходу може бути формування ряду виробів на рухомій опорній площині з наступним передаванням його в зону створення масиву [1 – 4].

Завданням цього дослідження визначено аналітичне моделювання ударної взаємодії виробів, що знаходяться на рухомій опорній площині.

Формування шару виробів на рухомій площині супроводжується подаванням рядів або окремих виробів до утворюваного масиву. Рушійними силами при цьому виступають сили тертя, а при контактуванні виробів мають місце прямі або косі удари (рис. 1).

Зупинимось детальніше на особливостях взаємодії мас рухомого ряду m_1 та нерухомого масиву m_2 при прямому ударі. При цьому будемо вважати, що до маси m_2 входить і маса пружного упору.

© В.А. Піддубний, С.А. Бут, 2010

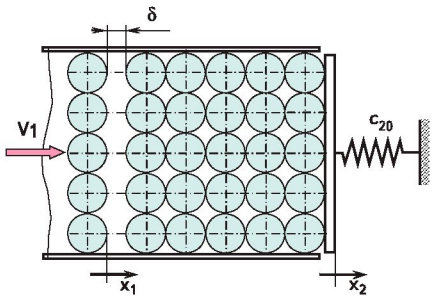


Рис. 1. Розрахункова схема операції формування шару виробів на рухомій площині

Ряд виробів рухомою площиною переміщується зі швидкістю V_1 до масиву виробів, що утримується упором з жорсткістю c_{20} . Після перекривання зазору δ настає I етап ударної взаємодії, а за ним II. У відповідності до прийнятих допущень визначимо початкові і кінцеві умови етапів. На першому з врахуванням сили тертя $F_{\tau 2}$ масиву виробів з рухомою площиною маємо:

$$t_{(n)}^I = 0; \quad x_{1(n)}^I = 0; \quad \dot{x}_{1(n)}^I = V_1; \quad x_{2(n)}^I = \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}};$$

$$\dot{x}_{2(n)}^I = 0; \quad x_{1(k)}^I = 0; \quad x_{2(k)}^I = \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}};$$

$$\dot{x}_{1(k)}^I = \dot{x}_{2(k)}^I = \frac{m_1 V_1}{m_2 + m_1}. \quad (1)$$

Початкові умови II етапу відповідають виразам (1), а кінцеві приводяться до виду:

$$x_{1(k)}^{II} = 0; \quad \dot{x}_{2(k)}^{II} = \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}};$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1(k)}^I &= \dot{x}_{1(k)}^I + K(\dot{x}_{1(k)}^I - V_1); \\ \dot{x}_{2(k)}^II &= \dot{x}_{2(k)}^I + K\dot{x}_{2(k)}^I,\end{aligned}\quad (2)$$

де K — коефіцієнт відновлення.

У відповідності до схеми взаємодії на III етапі маємо:

$$m_1 \ddot{x}_1 = F_{\tau 1}; \quad (3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = F_{\tau 2} - c_{20} x_2, \quad (4)$$

де $F_{\tau 2}$ — сила тертя рухомого ряду виробів з рухомою площиною.

За початкових умов

$$t_{(n)}^{III} = 0; \quad x_{1(n)}^{III} = 0;$$

$$x_{2(n)}^{III} = \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}}; \quad \dot{x}_{1(n)}^{III} = \dot{x}_{1(k)}^{II}; \quad \dot{x}_{2(n)}^{III} = \dot{x}_{2(k)}^{II}$$

рішення рівнянь (3) та (4) запишемо у формі

$$x_1 = \dot{x}_{1(k)}^{II} t + \frac{F_{\tau 1} t^2}{2m_1}; \quad (5)$$

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_{1(k)}^{II} t + \frac{F_{\tau 1} t}{m_1}; \quad (6)$$

$$x_2 = \dot{x}_{2(k)}^{II} \sqrt{\frac{m_2}{c_{20}}} \sin \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t + \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}}; \quad (7)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{x}_{2(k)}^{II} \cos \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t. \quad (8)$$

Завершується III етап при рівності переміщень першої і другої мас, тобто $x_1 = x_2$.

Прирівнявши ці величини, знайдемо час закінчення III етапу руху з рівняння

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1(k)}^{II} t_{(k)}^{III} + \frac{F_{\tau 1} (t_{(k)}^{III})^2}{2m_1} &= \\ = \dot{x}_{2(k)}^{II} \sqrt{\frac{m_2}{c_{20}}} \sin \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t_{(k)}^{III} + \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}}.\end{aligned}\quad (9)$$

Тоді кінцеві умови III етапу матимуть вид:

$$x_{1(k)}^{III} = \dot{x}_{1(k)}^{II} t_{(k)}^{III} + \frac{F_{\tau 1} (t_{(k)}^{III})^2}{2m_1};$$

$$\dot{x}_{1(k)}^{III} = \dot{x}_{1(k)}^{II} + \frac{F_{\tau 1} t_{(k)}^{III}}{m_1};$$

$$x_{2(k)}^{III} = \dot{x}_{2(k)}^{II} \sqrt{\frac{m_2}{c_{20}}} \sin \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t_{(k)}^{III} + \frac{F_{\tau 2}}{c_{20}};$$

$$\dot{x}_{2(k)}^{III} = \dot{x}_{2(k)}^{II} \cos \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t_{(k)}^{III}. \quad (10)$$

Вирішальне значення на IV та V етапах повторного удару мають параметри $\dot{x}_{2(k)}^{III}$ і $\dot{x}_{2(k)}^{III}$, оскільки вони є початковими умовами IV етапу.

Графіки зміни швидкостей мас m_1 і m_2 наведені на рис. 2. З нього видно, що найкращі умови повторного удару були б у випадку відповідності $t_{(k)}^{III}$ рівності величин $\dot{x}_1$ та $\dot{x}_2$, а найгірші — якщо $t_{(k)}^{III} =$

$= \pi \sqrt{\frac{m_2}{c_{20}}}$, а швидкість маси m_1 досягне величини

V_1 . В останньому випадку, як бачимо, імпульс миттєвої сили на IV етапі руху може перевищувати це значення I етапу.

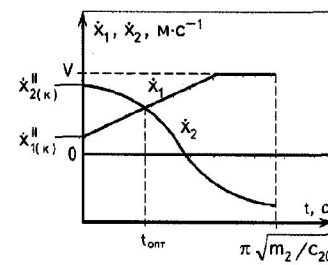


Рис. 2. Графіки зміни швидкостей $\dot{x}_1$ і $\dot{x}_2$ на III етапі руху

Співвідношення імпульсів $S_x^{IV} \leq S_x^I$ буде виконуватися, якщо $\dot{x}_2 - \dot{x}_1 \leq V_1$.

Назвемо $t_{(k)}^{III}$, який відповідає умові $\dot{x}_1 = \dot{x}_2$, оптимальним часом закінчення III етапу і позначимо як $t_{опт}$. При цьому достовірним є вираз

$$\begin{aligned}\frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} + K \left(\frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} - V_1 \right) + \frac{F_{\tau 1} t_{опт}}{m_2} &= \\ = \frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} + K \left(\frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} - V_1 \right) \cos \sqrt{\frac{c_{20}}{m_2}} t_{опт}.\end{aligned}\quad (11)$$

Аналіз виразів (9) та (11) показує, що досягти збігання $t_{опт}$ і $t_{(k)}^{III}$ можливо за рахунок зміни таких параметрів, як V_1 і c_{20} . Оскільки V_1 визначає величину імпульсу миттєвої сили і продуктивність процесу формування, то вона буде обмеженою по нижньому і верхньому рівнях і в цих умовах доцільно поставлену задачу вирішувати за рахунок відповідного підбирання c_{20} .

Послідовність вибору жорсткості повинна бути такою. За рівняннями (9) і (11) визначається $t_{(k)}^{III}$ і $t_{опт}$.

Якщо $t_{опт} < t_{(k)}^{III}$, то значення c_{20} необхідно зменшити і за нового значення повторити їх визначення. Зміну жорсткості треба повторювати до збігу $t_{(k)}^{III}$ і $t_{опт}$ (з заданим відхиленням).

За умови $t_{опт} > t_{(k)}^{III}$, значення жорсткості упору необхідно збільшувати, повторюючи розрахунки.

Реалізація умови $t_{опт} = t_{(k)}^{III}$, на момент закінчення III етапу виключає повторну ударну взаємодію і на IV етапі маси m_1 і m_2 переміщуються як одне ціле і рівняння руху прийме вигляд:

$$(m_1 + m_2) \ddot{x}_2 = F_{\tau 1} + F_{\tau 2} - c_{20} x_2, \quad (12)$$

яке за початкових умов (10) має рішення:

$$x_2 = \dot{x}_{2(k)}^{\text{III}} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{c_{20}}} \sin \sqrt{\frac{c_{20}}{m_1 + m_2}} t + \left(x_{2(k)}^{\text{III}} - \frac{F_{\tau 1} + F_{\tau 2}}{c_{20}} \right) \cos \sqrt{\frac{c_{20}}{m_1 + m_2}} t + \frac{F_{\tau 1} + F_{\tau 2}}{c_{20}}. \quad (13)$$

Завершується IV етап за умови $\dot{x}_2 = 0$. Час його закінчення знаходимо з виразу:

$$t_{(k)}^{\text{IV}} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{c_{20}}} \arctg \times \times \frac{\dot{x}_{2(k)}^{\text{III}}}{x_{2(k)}^{\text{III}} - \frac{F_{\tau 1} + F_{\tau 2}}{c_{20}}} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{c_{20}}}. \quad (14)$$

Підстановка $t_{(k)}^{\text{IV}}$ у рівняння (13) дозволяє знайти максимальне переміщення x_2 . Для попередження зворотного переміщення масиву виробів після закінчення формування і забезпечення таким чином заданого позиціонування в кінцевому положенні рухомий упор повинен бути зафіксований. Розфіксування його повинно бути виконано до моменту початку формування нового шару виробів.

Висновки. Формування масивів виробів з вертикальною орієнтацією останніх на рухомій і нерухомій площинах супроводжується пружними ударами між робочими органами і виробами, окремими виробами або рядами виробів з раніше сфор-

мованими масивами. Спираючись на класичне уявлення пружного удару, можливо визначати початкові умови наступних етапів переміщення виробів. Це дозволяє отримувати опис процесів перевантаження рядів виробів і явищ, які відбуваються при формуванні масивів виробів на рухомих площинах.

Значення імпульсів миттєвих сил не залежать від характеру сил, які забезпечують переміщення робочих органів або рядів виробів і їх обмеження можливе лише за рахунок кінематичних параметрів початку пружного удару. Зі збільшенням числа виробів у масивах, що формуються, імпульси миттєвих сил зростають, тому їх значення на момент завершення цього процесу визначають допустимі кінематичні параметри.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколенко А.І., Яровой В.Л., Піддубний В.А. та ін. Моделювання процесів пакування. — Вінниця: Нова книга. — 2004. — 27 с.
2. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. — М.: Машиностроение. — 1969. — 296 с.
3. Соколенко А.И., Украинец А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник механика пищевой промышленности. — К.: АртЭк. — 2004. — 304 с.
4. Соколенко А.И., Сторижко Й.И., Яреско В.П. и др. Погрузочно-разгрузочное и транспортное оборудование в перерабатывающей промышленности. Справочник. — К.: Урожай, 1990. — 152 с.

Одержано редколлегією 09.03.2010