

### УДК 636.4.3

Деренівська А.В., асп.

Гавва О.М., професор, д.т.н.

Масло М.А., доцент, к.т.н

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РОБОЧІ ОРГАНИ МЕХАНІЗМУ ФОРМОУТВОРЕННЯ КАРТОННОЇ ПАЧКИ ІЗ ПЛОСКОСКЛАДЕНОЇ ЗАГОТОВКИ В ПАКУВАЛЬНИХ МАШИНАХ

**Вступ.** Сьогодні на ринку пакувальних матеріалів з'явилась тенденція до створення і використання існуючих екологічно чистих матеріалів. Тому така упаковка, як картонна пачка стає знову актуальною і повертає втрачені позиції.

Існує три основних способи пакування продукції в картонну пачку:

- 1) з виготовленням пачки безпосередньо з рулону пакувального матеріалу.
- 2) з виготовленням та формоутворенням пачки з попередньо виготовленої висічки;
- 3) з формоутворенням пачки з попередньо виготовленої плоскоскладеної заготовки;

За першим способом працюють пакувальні машини, які безпосередньо виготовляють пачку з рулонного картону. Зараз такі машини майже не використовуються.

Пакувальні машини, що реалізують другий спосіб, мають періодичний принцип дії і, як правило, виконані з роторною та лінійно-роторною компоновкою. Характеризуються досить складною кінематикою, наявністю великої кількості виконавчих механізмів з кулачками, що стримує можливості збільшення продуктивності. Найбільшого поширення вони набули не для картонних пачок, а для коробок типу стакан-кришка.

Пакувальні машини, що реалізують третій спосіб формування пачки, використовують плоскоскладені картонні заготовки склеєні по поздовжньому шву, мають часто безперервний принцип дії. Всі операції по формоутворенню пачки, фасуванню продукції, тощо, виконуються без зупинки транспортної системи, що різко знижує (в порівнянні з обладнанням дискретної дії) динамічні навантаження і забезпечує можливість збільшення продуктивності.

**Актуальність теми.** Машини для пакування продукції в картонні пачки, виготовлені з плоскоскладених заготовок, набувають все більшого поширення і користуються попитом у виробників харчової та фармацевтичної галузей промисловості. Конструювання та визначення раціональних параметрів таких машин є пріоритетним завданням для проведення досліджень. У процесі формоутворення пачки на її бічні грані та ребра діють статичні і динамічні навантаження з боку робочих органів відповідних механізмів пакувальної машини. Цей спектр навантажень повинен сприяти нормальному протіканню процесу формоутворення за мінімально короткий проміжок часу, для забезпечення максимальної продуктивності пакувальної машини. При цьому величина навантажень на окремі елементи пачки не повинна перевищувати деяких граничних значень, за яких можливе пошкодження пачки, втрата нею заданої форми і розмірів. Вивчення силового навантаження картонної пачки в процесі реалізації операцій пакування розглянуто недостатньо, зокрема при максимальних значеннях кінематичних параметрів робочих органів. Тому, актуальною задачею досліджень на сучасному етапі розвитку пакувальних машин даного типу є дослідження динаміки процесів пакування, зокрема процесів формоутворення картонної пачки, з метою досягнення максимальної продуктивності машин при обмеженні силового навантаження на елементи пачки і забезпечення високої якості пакування.

### **Матеріали і методи.**

Розглянемо характерні конструкції механізмів, які використовуються в пакувальних машинах для формоутворення картонної пачки з плоскоскладеної заготовки.

**І тип.** На рис.1 показана схема силового навантаження елементів картонної пачки, коли процес формоутворення реалізується способом стискання плоскоскладеної заготовки по

діагоналі і заготовка пачки знаходиться між активним робочим органом, що рухається прямолінійно, і нерухомою площиною.

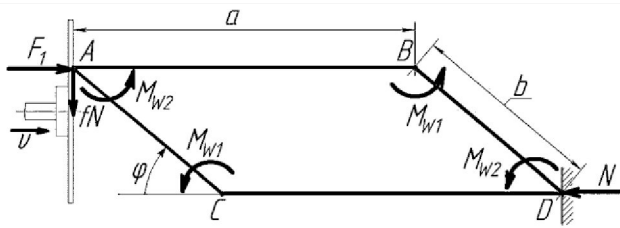


Рисунок 1 – Схема силового навантаження елементів картонної пачки при стисканні плоскоскладеної заготовки по діагоналі

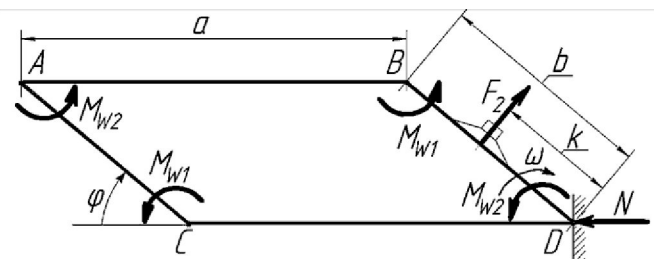


Рисунок 2 – Схема силового навантаження елементів картонної пачки при захопленні передньої грані пачки і рухом захвата по коловій траєкторії

При цьому випадку величина активної сили  $F_1$ , що діє з боку активного робочого органу на елементи картонної пачки, визначається залежністю:

$$F_1 = \frac{2(M_{W1} + M_{W2}) + \dot{v} \cdot b(m_1 \cos \varphi + m_2 \sin \varphi)}{b \cdot \sin \varphi \cdot (1 - f)}, \quad (1)$$

де  $M_{W1}$ ,  $M_{W2}$  - моменти сил опору згинанню заготовки по лінії бігування відповідно з розкритими та складеними гранями;  $\dot{v}$  - прискорення з яким рухається активний робочий орган;  $b$  - довжина короткої грані пачки;  $m_1$ ,  $m_2$  - маси, відповідно, короткої і довгої граней пачки;  $\varphi$  - поточний кут розкриття пачки;  $f$  - коефіцієнт тертя ковзання елемента пачки по поверхні активного робочого органу.

Максимальне прискорення  $\dot{v}_{\max}$  активного робочого органу при якому ще можлива передача зусиль необхідних для згинання заготовки по лініях бігування  $B$  і  $D$ :

$$\dot{v}_{\max} = \frac{\pi^2 E \cdot l \cdot \delta^3 b \cdot \sin \varphi - 12a^2 (M_{W1} + M_{W2})}{6a^2 b \cdot (m_1 \cos \varphi + m_2 \sin \varphi)}, \quad (2)$$

де  $E$  - модуль пружності картону;  $l$  - довжина грані по лінії згину заготовки;  $\delta$  - товщина картону заготовки;  $a$  - довжина грані по лінії прикладання сили з боку активного робочого органу механізму формоутворення.

При перевищенні приведеного прискорення верхня грань  $AB$  втрачає поздовжню стійкість і руйнується, що унеможливує подальший процес формоутворення. Таким чином, прискорення  $\dot{v}_{\max}$  визначає максимальну швидкодію активного робочого органу і встановлює максимальну продуктивність розглянутого способу формоутворення картонної пачки.

Якщо формоутворення картонної пачки із плоскоскладених заготовок здійснювати шляхом захоплення передньої грані заготовки, то елементи пачки не будуть навантажуватись стискаючими зусиллями.

**II тип.** Процес формоутворення реалізується пневматичним захватом, який захоплює передню коротку грань пачки і переміщується по колу (рис. 2). Кінематичні параметри активних робочих органів у цьому випадку мають значно менші обмеження, а продуктивність механізму формоутворення - вища.

Необхідне зусилля, яке повинен розвивати захват визначається залежністю:

$$F_2 = \frac{2(M_{W1} + M_{W2}) + 2m_1 b^2 \varepsilon + m_2 b^2 \sin \varphi \cdot (\omega^2 \cos \varphi + \varepsilon \sin \varphi)}{k}, \quad (3)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість руху захвата по коловій траєкторії;  $\varepsilon$  – кутове прискорення захвата;  $k$  – координата прикладання рушійної сили з боку захвата до передньої грані заготовки.

У даному випадку найбільш навантаженим елементом заготовки є передня коротка грань, що знаходиться під спектром зовнішніх і внутрішніх навантажень, які викликають деформації згину передньої грані. Величина максимальної деформації грані визначається

$$\text{залежністю: } y_{\max} = \frac{4F_2(b-k)}{3\sqrt{3} \cdot E \cdot l \cdot \delta^3} \cdot \frac{(b^2 - (b-k)^2)^{3/2}}{b} \quad (6)$$

**III тип.** Пневматичний захват захоплює передню довшу грань пачки і переміщується прямолінійно. Необхідний рушійний момент створюється силовим впливом нерухомої напрямної поверхні на коротку грань заготовки (рис. 3). У процесі розкривання бокова коротка грань заготовки ковзає по напрямній поверхні і точка контакту грані з напрямною зміщується у напрямку від точки  $A$  до точки  $C$ , тобто плече  $c$  моменту сили  $N$  зменшується.

Величина нормальної сили  $N$  залежить від величини моментів сил опору і для кожного миттєвого положення заготовки визначається величиною необхідного рушійного моменту, що забезпечує реалізацію процесу формоутворення пачки. Найбільшими значеннями сумарних моментів сил опору характеризується положення заготовки, коли кут  $\varphi$  знаходиться в межах від  $25^\circ \dots 35^\circ$ , тобто відповідає максимальному значенню моменту  $M_{W1}$ .

Для кожного миттєвого положення заготовки значення нормальної сили  $N$  визначається

$$\text{залежністю: } N = 2 \frac{M_{W1} + M_{W2} + m_1 b^2 \varepsilon_1 + m_2 b^2 \sin \varphi \cdot (\omega_1^2 \cos \varphi + \varepsilon_1 \sin \varphi)}{c} \quad (7)$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість повороту короткої грані заготовки;  $\varepsilon_1$  – кутове прискорення повороту короткої грані заготовки;  $c$  – координата точки контакту короткої грані з напрямною поверхнею.

Величина зусилля прикладеного з боку захвата до передньої грані заготовки для кожного миттєвого положення визначається формулою:

$$F_3 = 2(\cos \varphi + f \sin \varphi) \frac{M_{W1} + M_{W2} + m_1 b^2 \varepsilon_1 + m_2 b^2 \sin \varphi \cdot (\omega_1^2 \cos \varphi + \varepsilon_1 \sin \varphi)}{c} \quad (8)$$

Захват у цьому випадку повинен також мати достатню поперечну жорсткість для компенсації бокового зусилля  $F_4$  з боку заготовки.

Для підвищення надійності роботи такого механізму та сприяння реалізації процесу формоутворення використовують декілька пневматичних захватів розміщених в ряд, які здійснюють простий поступальний рух.

Вивчення силового навантаження на елементи картонної пачки від дії робочих органів механізму формоутворення пачки із плоскоскладеної заготовки не можливо проводити без урахування сил опору деформаціям згину елементів пачки по лініях бігування.

На рис.4. показані окремі етапи процесу формоутворення картонної пачки із плоскоскладених заготовок та силове навантаження при цьому.

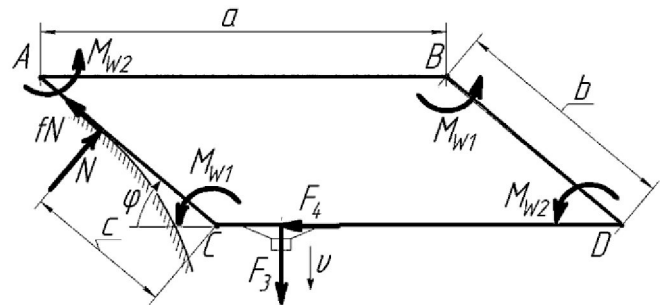
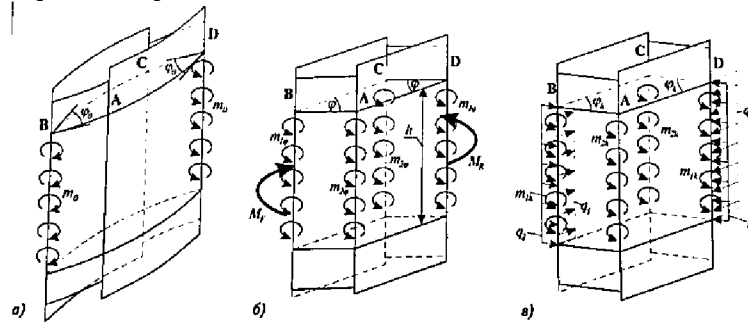


Рисунок 3 – Схема силового навантаження елементів картонної пачки при захопленні передньої грані пачки і прямолінійним рухом захвата

У плоскоскладеній заготовці (рис.4, а) після згинання картонної висічки по лініях бігування і проклеювання поздовжнього шва, протилежні ребра В і О перебувають у деформованому стані, лінії А і С лишаються недеформованими. Одразу після згинання за рахунок залишкових напружень у деформованих ребрах відбувається часткова релаксація ліній згину, і під дією остаточних лінійних моментів  $m_0$  у ребрах В і D бокові грані заготовки прогинаються і плоскоскладена заготовка пачки «розкривається». Ступінь розкриття характеризується величиною кута  $\varphi_0$ . Така властивість заготовок значно полегшує процес подальшого формоутворення картонних пачок.



**Рисунок 4 – Силове навантаження пачки у процесі формоутворення:**  
**а - після виділення одиної заготовки з масиву; б - при формуванні пачки;**  
**в – після встановлення сформованої пачки у вузол фіксації.**

Однак при зберіганні плоскоскладених заготовок їх релаксаційні характеристики зменшуються, а при тривалому зберіганні взагалі втрачаються ( $m_0 = 0$  і  $\varphi_0 = 0$ ). Заготовки злежуються, стають плоскими, площина граней деформується. Це спричиняє певні труднощі при подальшому формоутворенні пачок.

Процес формоутворення картонних пачок із плоскоскладених заготовок за допомогою робочих органів пакувальної машини полягає у деформуванні останніх по лініях бігування. (рис.4, б). При цьому зовнішню силу дію робочих органів спрямовано на подолання моментів сил опору згинанню заготовки по лініях бігування. Тобто активний момент  $M_F$  дії робочих органів на заготовку дорівнює сумі моментів сил опору згинанню у всіх чотирьох ребрах і визначається залежністю:

$$M_F = 2(m_{1\varphi} + m_{2\varphi})h, \quad (1)$$

де  $m_{1\varphi}$  і  $m_{2\varphi}$  — лінійні моменти, що діють, відповідно, у попередньо деформованих і недеформованих ребрах заготовки;  $h$  — довжина ребер заготовки.

Величини лінійних моментів  $m_{1\varphi}$  і  $m_{2\varphi}$  визначаються фізико-механічними характеристиками картону, особливостями бігування і функціонально залежать від кута розкриття  $\varphi$  бокових граней заготовок. Тобто:

$$m_{1\varphi} = \varphi_1(\varphi) \text{ і } m_{2\varphi} = \varphi_2(\varphi) \quad (2)$$

У повністю сформованій пачці кут  $\varphi_k = 90^\circ$  (рис. 1, в), і в поздовжніх ребрах пачки діють лінійні моменти  $m_{1k}$  і  $m_{2k}$ , які компенсуються опорними площинами вузлів фіксації сформованих пачок, що чинить на пачку відповідну силу дію  $q_1$  і  $q_2$ .

**Результати і обговорення.** Для проведення дослідження процесу формоутворення картонної пачки та подальшого визначення необхідних раціональних параметрів робочих органів пакувальної машини необхідно враховувати моменти сил опору деформаціям згину елементів пачки по лініях бігування. Їх аналітичне визначення супроводжується значними труднощами, спричиненими неоднорідністю картону, похибками бігування, складними внутрішніми деформаціями. Тому раціонально значення моментів сил опору згинанню по лініях бігування у кожному конкретному випадку для певного виду картону визначати експериментально.

Для цього був використаний прилад для визначення опору згину К-416 (рис. 5). Дані експерименту прилад К-416 відображає двома способами: шляхом виміру зусилля, необхідного для згинання зразка на заданий кут, або шляхом виміру і розрахунку жорсткості при згині, яка є еластичною властивістю матеріалу. Пристрій працює наступним чином (рис

б). Зразки Е розміщуються в затискний пристрій В, і мають вигляд (рис. 7) картонного прямокутника шириною  $(38,0 \pm 0,2)$  мм і довжиною не менше 70 мм. Зразки були отримані з висічок картонних пачок у машинному і поперечному напрямках в зоні ліній бігування. Після натискання кнопки пуск, затискний пристрій захоплює зразок з одного боку. Опора утримує зразок на місці до початку вимірювання. При вибраній функції автоторкання затискний пристрій повільно обертається до контакту вільного краю зразка з головкою С тензодатчика D. Потім затискний пристрій повертається на певний кут G, тобто зразок згинається на задану величину кута. Прилад запам'ятовує значення моменту опору (сил опору) згину заготовки в процесі вимірювання. Потім затискний пристрій повертається в початкове положення, розкривається і зразок вивільняється.

Вимірювальна величина може бути повністю описана лише при необмеженій кількості інформації. Таким чином, визначення фізичної величини на практиці майже завжди неповне і вносить внесок в невизначеність, яка може бути, а може і не бути значною, порівняно з необхідною точністю вимірювання. Вимірювання характеризується рядом недоліків, які призводять до похибки вимірювання. Внаслідок цього результат вимірювання відрізняється від вимірюваної величини.

Тому для обробки даних отриманих у процесі проведення дослідження доцільно використовувати метод найменших квадратів, який застосовується для наближеного представлення заданої функції іншими (простішими) функціями. Це один з методів регресійного аналізу для оцінки невідомих величин за результатами вимірів, що містять випадкові помилки.



Рисунок 5 – Прилад для визначення опору згину К-416

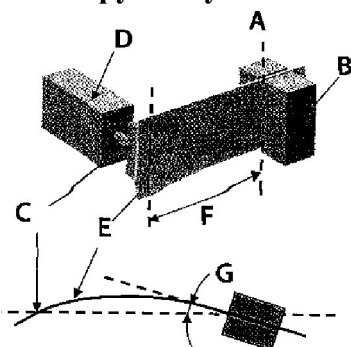


Рисунок 6 – Опір згину і жорсткості при згині: А- поворотна вісь, В- затискний пристрій, С- вимірювальна головка, D- тензодатчик, Е- зразок, F- плече згину, G- кут згину

Апроксимація отриманих даних виконана у вигляді тригонометричних поліномів, які описують залежність між моментом сил опору ліній бігування і кутом розкриття (рис. 6):

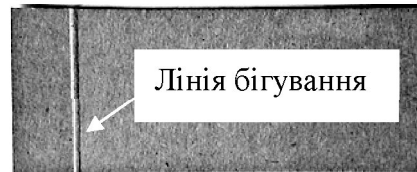


Рисунок 7 – Випробувальний зразок

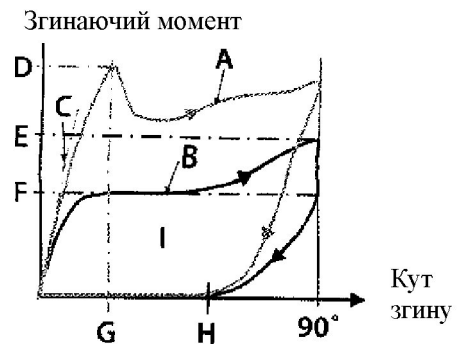


Рисунок 8 – Вимірювання моментів сил опору згину картону з та без ліній бігування: А-зразок без біговки, В- зразок з біговою, С- жорсткість при згин, D- максимальний згинаючий момент (без бігування), Е- згинаючий момент при куті 90°(з біговкою), F- згинаючий момент при релаксації (з біговою), G- кут при максимальному згинаючому моменті (без біговки), H- кут при нульовому моменті при зворотньому русі (з біговою), I- робота згину(площа під кривою) з біговкою).

- для поздовжнього бігування:

$$M_{оп} = 6,206 \sin(\varphi/16) + 0,516\varphi - 3,644;$$

- для поперечного бігування:

$$M_{оп} = -12,378 \sin(\varphi/32) + 0,693\varphi + 5,976.$$

Ступінь точності підбору апроксимаційних функцій відносно експериментальних даних дорівнює 0,94.

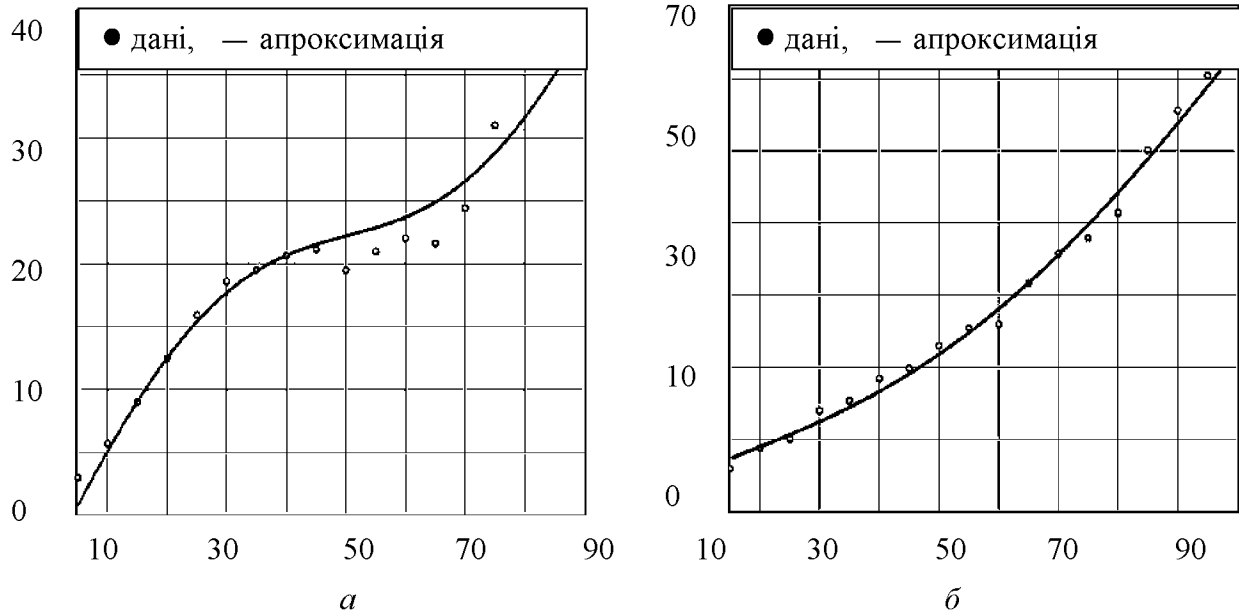


Рисунок 6 – Графік функції з використання тригонометричної апроксимації:  
а) для поздовжнього бігування; б) для поперечного бігування

З графіків на рис. 6 (а) видно, що момент сил опору ліній бігування при зміні кута  $\varphi$  від  $0^\circ$  до  $40^\circ$  стрімко зростає. Це пояснюється тим, що початок розкривання заготовки при  $\varphi = 0^\circ$  супроводжується пружними деформаціями недеформованих ліній бігування і зі збільшенням кута  $\varphi$  внутрішній опір ліній бігування зростає. Коли значення кута  $\varphi$  знаходиться в діапазоні від  $40^\circ$  до  $60^\circ$ , момент опору є майже сталим, оскільки злам ліній бігування вже відбувся. При значенні кута  $\varphi$  від  $60^\circ$  до  $90^\circ$  відбувається остаточне формоутворення прямокутної форми пачки, тому значення моментів сил опору знову зростає.

**Висновки.** Певна частина параметрів процесу формоутворення, зокрема, значення моментів сил опору ліній бігування, у кожному конкретному випадку визначаються експериментально. Результати експериментальних досліджень і геометричні та фізико-механічні характеристики заготовок дозволяють об'єктивно і точно визначати раціональні параметри робочих органів пакувальних машин у яких реалізується технологічний процес формоутворення картонних пачок із плоскоскладених заготовок. На практиці значення моментів сил опору слід визначати експериментально, оскільки їх аналітичне визначення супроводжується значними труднощами, спричиненими неоднорідністю структури картону, похибками бігування, складними внутрішніми деформаціями тощо. Як правило, точність аналітичних розрахунків у цьому разі значно поступається точності результатів експериментальних досліджень.

#### Література

1. Шредер В. Л. Упаковка из картона/ В.Л. Шредер, С.Ф. Пилипенко. – К.: ИАЦ «Упаковка» – 2004. – 560 с.
2. Масло М.А. Формоутворення картонних пачок при пакуванні // Упаковка. – 2005. – №4. – с. 42-44.