

УДК 621.798

О.М. Залета*Луцький національний технічний університет***АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОДАЧІ СТРІЧКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В МАШИНАХ ДЛЯ ПАКУВАННЯ В М'ЯКУ ТАРУ ТА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЇЇ РОБОТИ**

Представлено результати досліджень конструкції і принципу роботи пристроїв подачі стрічкових пакувальних матеріалів в машинах для пакування в м'яку споживчу тару, описано методіку розрахунку параметрів їх функціонування при сталому режимі руху плівки. Визначено формулу для визначення натягу стрічки матеріалу при сталому режимі її руху.

Ключові слова: пристрій, стрічковий матеріал, рулон, розрахунок.

Рис. 3. Табл. 1. Форм. 19. Літ. 5.

О.М. Залета**АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЛЕНТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНАХ ДЛЯ УПАКОВКИ В МЯГКУЮ ТАРУ И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЕЕ РАБОТЫ**

Представлены результаты исследований конструкции и принципа работы устройств подачи ленточных упаковочных материалов в машинах для упаковки в мягкую потребительскую тару, описана методика расчета параметров их функционирования при установившемся режиме движения пленки. Определена формула для определения натяжения ленточного материала при установившемся режиме его движения.

Ключевые слова: устройство, ленточный материал, рулон, расчет.

O.M. Zaleta**ANALYSIS OF SUPPLY SYSTEM OF TAPE MATERIAL IN THE MACHINES TO PACK IT IN THE SOFT PACKAGING AND TO CALCULATE THE PARAMETERS OF ITS WORK**

The results of construction research and principle of the appliances operation of supply of tape packing materials in the machines to pack it in the soft consumer packaging were represented and methodology of parameters calculation of its operation at the state motion of film was described. The formula for determining of the strip tension at the steady state of motion was defined.

Keywords: appliance, tape material, roll, calculation.

Постановка проблеми. Пристрої подачі стрічкових пакувальних матеріалів призначені для розмотування стрічки з рулону і подачі її в технологічну секцію пакувальної машини з постійним натягом. Правильне налагодження системи подачі пакувального матеріалу і забезпечення стабільності роботи пристроїв даного призначення є важливою складовою ефективності функціонування машини в цілому. Тому актуальною є задача знаходження значень параметрів роботи цих пристроїв за умов використання пакувальних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями та при різних режимах виконання технологічної операції, зокрема на початку і наприкінці періоду використання рулону.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо конструктивні особливості розглянутих пристроїв. Для можливості обертання рулону в процесі розмотування з нього стрічки він встановлюється на валах. Знайшли застосування два види валів: вал, що проходить всередині втулки рулону, на якому розміщено два конуса, що входять у втулку рулону з торців [1, 5], або два консольних вала 1 з аналогічними конусами (рис. 1. а, б), розміщених на поворотних важелях 2, що дозволяють за допомогою електродвигуна 3 через механічні передачі переміщати рулон в робоче положення і повертати його у вихідне положення (для встановлення нового рулону). Пристрої для встановлення рулону другого типу виконуються одно-, дво- і трипроменевими і дозволяють оперативно встановлювати рулони як в призупиненій машині, так і в її робочому стані. В установках першого типу – з одним валом всередині втулки – для встановлення рулону потрібно більше операцій. Крім того, довгий вал має великий момент інерції щодо осі обертання. Останнє спричиняє деякі труднощі в забезпеченні сталості натягу стрічки в кінці процесу розмотування (при малому радіусі рулону), якщо швидкість стрічки висока. З цієї причини пристрої першого типу не застосовуються у високошвидкісних пакувальних автоматах. Головна їх перевага – компактність. Тому вони часто використовуються в машинах малих та середніх габаритів. Їх встановлення в пакувальних машинах дає можливість одночасної працювати з декількома рулонами [2, 4].

Процес розмотування рулону при сталому режимі. Щоб зрозуміти принцип функціонування тих чи інших пристроїв подачі стрічкових матеріалів, необхідно виявити фізичну сутність процесу розмотування рухомої стрічки [4]. Спочатку розглянемо рух стрічки з постійною

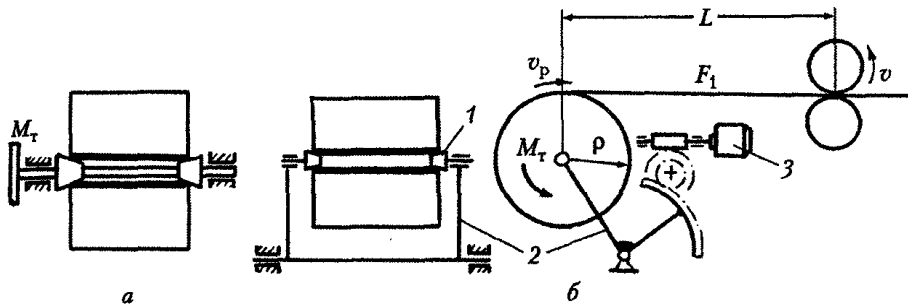


Рис. 1. Схеми механізмів кріплення рулону

швидкістю v стрічкоподаючих валків (рис. 1, б), при якому кутова швидкість рулону повинна бути постійною. Для визначеності будемо вважати, що релаксаційні процеси в рулоні закінчилися і натяг плівки в ньому дорівнює нулю. При сталому режимі руху плівки на ділянці L за одиницю часу Δt з рулону відмотається стрічка довжиною

$$l_0 = v_p \cdot \Delta t, \quad (1)$$

яка відразу ж при виході на ділянку L одержить приріст на величину

$$\Delta l = (v - v_p) \cdot \Delta t, \quad (2)$$

внаслідок різниці швидкостей стрічкоподаючих валків і рулону. Відносне видовження стрічки ε , на ділянці L буде мати величину

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{(v - v_p) \Delta t}{v_p \cdot \Delta t} = \frac{v - v_p}{v_p}. \quad (3)$$

Так як зв'язок між напруженням в стрічці і її відносним видовженням виражається рівнянням

$$\sigma^m = E \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

де m – показник нелінійності матеріалу стрічки;

E – модуль пружності матеріалу, МПа;

то її натяг F_1 на ділянці L буде рівний:

$$F_1 = \sigma \cdot b \cdot \delta = b \cdot \delta \cdot m \cdot E \cdot \frac{v - v_p}{v_p}. \quad (5)$$

Ідеальний рулон характеризується такими параметрами як: товщина δ , ширина b плівки і модуль пружності E матеріалу; ρ , ρ_n , ρ_k – поточний, початковий і кінцевий радіуси рулону.

Вимірювання радіуса рулону у функції кута φ його поточного повороту при розмотуванні може бути представлено рівнянням спіралі:

$$\rho(\varphi) = \rho_0 - \frac{\delta}{2\pi} \cdot \varphi. \quad (6)$$

Закономірність зміни радіуса рулону і частоти його обертання знайдемо, диференціюючи попередній вираз за часом

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{\delta}{2\pi} \cdot \omega_p = -\frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{v_p}{\rho} \quad (7)$$

і розв'язуючи отримане диференціальне рівняння, розділяючи в ньому змінні і враховуючи початкову умову $\rho = \rho_0$ при $t = 0$ отримаємо

$$\rho = \sqrt{\rho_0^2 - \frac{v_p \cdot \delta}{\pi} \cdot t}. \quad (8)$$

Зі зменшенням радіусу рулону частота обертання рулону зростає:

$$\omega_p = \frac{v_p}{\rho} = \frac{v_p}{\sqrt{\rho_0^2 - \frac{v_p \cdot \delta}{\pi} \cdot t}}, \quad (9)$$

а момент інерції зменшиться

$$J_p \cong \frac{m\rho^2}{2} - \frac{m_k\rho_k^2}{2} = \pi\rho^2 b\gamma\rho^2 - \pi\rho_k^2 b\gamma\rho_k^2 = \pi b\gamma(\rho^4 - \rho_k^4), \quad (10)$$

де ρ_k – внутрішній діаметр втулки рулону;

γ – питома маса стрічки;

$m = \pi b\gamma(\rho^2 - \rho_k^2)$ – маса рулону.

Довідкові дані про властивості полімерних матеріалів наведені в табл. 1 [3].

Таблиця 1. Властивості полімерних пакувальних матеріалів

Матеріал	Густина (питома маса) γ , кг/м ³	Модуль пружності E, МПа	Відносне видовження ϵ , %
Поліетилен низької густини (ПЕНГ)	920	200	500
Поліетилен високої густини (ПЕВГ)	960	1000	700
Поліпропілен (ПП)	910	1400	600
Іономери	930-970	180-240	350-400
Поліамід (ПА)	1130	1800	180
М'який полівінілхлорид (ПВХ)	1300	40	230

Використовуючи принцип Даламбера, складемо рівняння моментів щодо осі обертання рулону:

$$F_1\rho = (J_p - J_0)\frac{d\omega_p}{dt} + M_T, \quad (11)$$

де J_0 – момент інерції валів, на яких встановлений рулон.

Кутове прискорення рулону в сталому режимі руху стрічки знайдемо, диференціюючи вираз $\omega_p = v_p / \rho$ з урахуванням виразу (8) для визначення ρ :

$$\frac{d\omega_p}{dt} = \frac{d\left(\frac{v_p}{\rho}\right)}{dt} = \frac{v_p}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} = \frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{v_p^2}{\rho^3}. \quad (12)$$

Після підстановки отриманих виразів у рівняння моментів отримуємо розгорнуту формулу для визначення натягу стрічки при сталому режимі її руху:

$$F_1 = (J_p + J_0) \frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{v_p^2}{\rho^4} + \frac{M_T}{\rho}. \quad (13)$$

Для виконання всього комплексу технологічних операцій стрічка при її русі в машині повинна бути натягнутою, причому величина натягу повинна бути постійною. Регулятор натягу стрічки зображений на рис. 2. Якщо прибрати важіль 9 із пружиною 10, і створити важелем 11 деяке постійне гальмівне зусилля, закріпивши його жорстко, то гальмівний момент на валу рулону буде постійним, а в міру розмотування стрічки 14 з рулону її натяг буде поступово збільшуватися (обернено пропорційно радіусу рулону), досягаючи 8–10-кратного значення початкового значення при повному рулоні. Валик на важелі 13, жорстко зв'язаний з важелем 7, в сукупності з пружиною розтягування 6 і демпфером 5 утворюють коливну систему з одним ступенем свободи. Створюючи крутний момент, пружина 6 прагне повернути важіль 13 вправо і весь час натягує стрічку. Таким чином, валик на важелі 13 має можливість вимушено коливатися і компенсувати биття рулону, в міру розмотування рулону і зростання середнього натягу стрічки поступово в «середньому» переміщатися вліво, розтягуючи пружину 6. Звернемо увагу, що при цьому важіль 8 також в «середньому» повертається вліво.

Тепер замкнемо систему регулювання, зв'язавши важелі 8 і 12 тягами 9 і через пружину стиснення 10. Тоді при збільшенні натягу стрічки і повороті важеля 8 вліво зусилля пружини 10 зменшуватиметься, що спричинить зменшення тиску колодок 3 на гальмівний шків 4 і, як наслідок, зменшення натягу стрічки, який почав зростати.

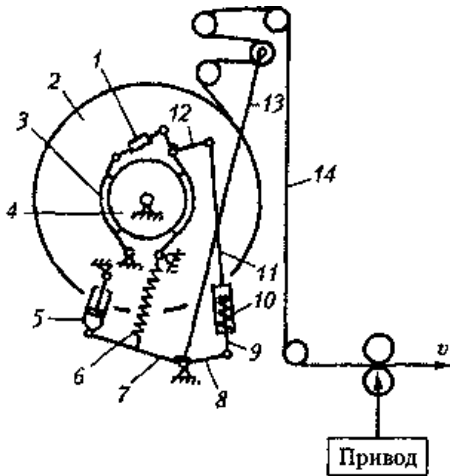


Рис. 2. Схема регулятора натягу стрічки

Внаслідок неминучих коливань важеля 13 через биття рулону при кожному його обороті і коливань пов'язаного з ним важеля 8 зусилля, що передається пружиною 10 на гальмівний шків, також буде коливальним щодо деякої середньої лінії, що має тенденцію до зниження. Отже, у міру розмотування рулону гальмівне зусилля «в середньому» буде зменшуватись, а велике відхилення натягу стрічки від заданого середнього рівня буде виключено. Необхідний рівень натягу стрічки задається зміною довжини регульованих тяг 1 і 9, тобто зміною попереднього стиску пружини 10.

Процес подачі стрічки при змінному режимі її руху. Розглянемо загальну схему руху стрічки (рис. 3). На ній прийняті наступні позначення:

$v_{i-1} = v_{i-1}(t), v_i = v_i(t)$ – швидкості першої та другої стрічкоподаючих пар валків (функції часу):

$L_i = L_i(t)$ – шлях стрічки між першою і другою парами

валків;

$F_{i-1}(t) = \varepsilon_{i-1}(t)$ – натяг і відповідне йому відносне подовження стрічки на вході в першу пару;

$F_i(t) = \varepsilon_i(t)$ – натяг і відносне видовження стрічки на вході у другу стрічкоподаючу пару [4].

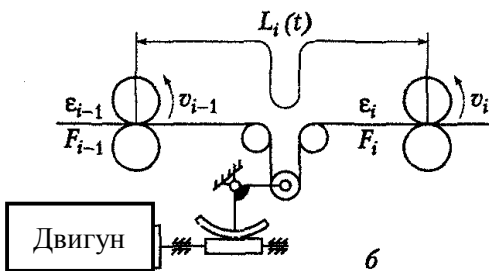


Рис. 3. Схема стрічкоподаючої системи

Виявимо функціональний зв'язок між цими величинами, які в загальному випадку всі є деякими функціями часу. Для визначеності шуканої величиною прийемо відносне видовження стрічки ε_i на ділянці L_i , а інші функції – заданими.

При виведенні функціональної залежності будемо користуватися поняттям кількості стрічки, під яким при постійній її товщині розуміється її початкова довжина. Наприклад, з визначення відносного видовження стрічки як

відношення різниці наступної l і попередньої l_0 довжин матеріалу стрічки до її попередньої (початкової, ненапруженої) довжини $\varepsilon_i = \frac{l_0 - l}{l_0}$ можна визначити її кількість l_0 , якщо відомі

довжина натягнутої стрічки l та її відносне видовження $l_0 = \frac{l}{l + \varepsilon}$.

В деякий момент часу t кількість стрічки на ділянці L_i між секціями стрічкоподаючих валків буде:

$$L_{i0} = \frac{L_i}{l + \varepsilon} \quad (14)$$

Визначимо зміни ΔL_{i0} кількість стрічки на ділянці між ротаційними парами за проміжок часу Δt . За цей час в другу ділянку ввійде кількість стрічки, рівна $v_{i-1}\Delta t / (1 + \varepsilon_{i-1})$, вийде – $v_i\Delta t / (1 + \varepsilon_i)$. Зміна ΔL_{i0} кількості стрічки на ділянці L_i буде рівною $\Delta L_{i0} = \frac{v_{i-1}\Delta t}{1 + \varepsilon_{i-1}} - \frac{v_i\Delta t}{1 + \varepsilon_i}$.

Розділимо обидві частини останнього рівняння на Δt і перейдемо до границі $\Delta t \rightarrow 0$:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L_{i0}}{\Delta t} = \frac{dL_{i0}}{dt} = \frac{V_{i-1}}{1 + \varepsilon_{i-1}} - \frac{V_i}{1 + \varepsilon_i} \quad (15)$$

Якщо продиференціювати обидві частини даного виразу (14) по часу, підставити результат в (15), то після ряду спрощень та перетворень отримаємо рівняння:

$$\frac{d\varepsilon_i}{dt} + A_i(t) \cdot \varepsilon_i = B_i(t), \quad (16)$$

де A_i та B_i – змінні коефіцієнти.

Розв'язок (16) має вигляд

$$\varepsilon_i = e^{-\int A_i dt} \left[C_i + \int B_i(t) \cdot e^{\int A_i dt} dt \right], \quad (17)$$

де C_i – постійна інтегрування.

Це рівняння справедливе і для визначення приросту деформації стрічки відносно деякого постійного значення ε' .

$$\Delta\varepsilon_i(t) = e^{-\int A_i dt} \left[C_i + \int B_i(t) \cdot e^{\int A_i dt} dt \right],$$

де $\Delta\varepsilon_i(t) = \varepsilon_i(t) - \varepsilon'$, $\Delta\varepsilon_{i-1}(t) = \varepsilon_{i-1}(t) - \varepsilon'$.

$$B_i(t) = \frac{1}{L_i} \left(v_i - v_{i-1} + v_i \Delta\varepsilon_{i-1} + \frac{dL_i}{dt} \right) \cdot A_i(t) = \frac{1}{L_i} \left(v_{i-1} - \frac{dL_i}{dt} \right). \quad (18)$$

Приведені рівняння виражені в рекурентній формі та дозволяють послідовно знайти зміну деформованого стану рухомої стрічки (приймавши, що $i = 1, 2, \dots, m$) в стрікоподаючій системі з m стрікоподаючими парами валків.

При сталому режимі руху будемо мати:

$$\varepsilon_i^{cm} = \frac{B_i^{cm}}{A_i^{cm}} = \frac{v_i - v_{i-1}}{v_{i-1}} + \frac{v_{i-1}}{v_{i+1}} \varepsilon_{i-1}^{cm}. \quad (19)$$

Зокрема, при $v_i = v$, $v_{i-1} = v$, $\varepsilon_{i-1} = 0$ отримаємо рівняння (3).

Висновки:

1) відповідно до (5) натяг стрічки може бути створений за рахунок різниці швидкостей стрікоподаючих валків і рулону, яка в свою чергу може бути забезпечена або прикладанням до рулону гальмівного моменту, або примусовим обертанням рулону із заданою швидкістю v_p від приводу;

2) оскільки в виразі (13) величини ρ і J_p є змінними, зокрема спадаючими, то сталість натягу стрічки в процесі розмотування рулону може бути досягнута лише відповідним зменшенням гальмівного моменту M_T ;

3) інерційні сили рулону в сталому режимі пропорційні товщині стрічки і квадрату кутової швидкості рулону;

4) так як в знаменнику першого доданка в (13) радіус в четвертому степені, то при високій швидкості стрічки і малому радіусі рулону (наприкінці процесу розмотування) сила інерції може настільки збільшитися, що для забезпечення умови $F = \text{const}$ необхідно буде змінити знак перед членом M_T / ρ , тобто замість гальмівного моменту прикласти до рулону додатковий обертовий момент. Проте останнє відноситься лише до високошвидкісних машин зі швидкістю стрічки більше 5 м/с. При менших швидкостях цим прискоренням рулону при сталому русі при $v_p = \text{const}$ можна знехтувати.

5) рівняння, що записані в рекурентній формі (18), (19), дозволяють послідовно знайти зміну деформованого стану рухомої стрічки (приймавши, що $i = 1, 2, \dots, m$) в стрікоподаючій системі з m стрікоподаючими парами валків.

1. Гавва О.М. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / О.М. Гавва, А.П. Безпалько, А.І. Волчко [За ред. О.М. Гавви]. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.
2. Гавва О.М. Пристрої подачі рулонного пакувального матеріалу / О.М. Гавва, М.А. Масло, В.Л. Яровий // Упаковка. – 2006. – № 2. – С. 34–28.
3. Мікульюнок І.О. Полімери в пакуванні / І.О. Мікульюнок, Г.Л. Рябцев // Упаковка. – 2001. – № 3. – С. 18–20.
4. Митрофанов В.П. Технологическое оборудование и оснастка упаковочного производства: учеб. пособ. / В.П. Митрофанов, В.И. Бобров. – М.: МГУП, 2003. – 204 с.
5. Пальчевский Б.О. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин: навч. посіб. / Б.О. Пальчевский, О.А. Крестьянполь, Д.В. Бондарчук [За ред. Б.О. Пальчевського] – Луцьк.: РВВ ЛНТУ, 20011. – 295 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2014.