

Математичне моделювання процесу подачі стрічки пакувального матеріалу

*М.С. Чепур, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н.,
Т.Т. Гнатів, НУХТ, м. Київ*

Вступ. Запропоновано методику визначення теоретичного радіуса й махового моменту рулонів у процесах розмотування плівкового пакувального матеріалу. Наведено математичні моделі, сформульовано пропозиції щодо оптимізації процесів керування роботою функціональних модулів подачі пакувального матеріалу.

Матеріали і методи дослідження. Для оптимального управління швидкісними режимами роботи електроприводів для функціонального модуля розмотування стрічки необхідна інформація щодо статичних та динамічних навантажень під час намотування або розмотування рулону пакувального матеріалу.

Відомо, що момент двигуна функціонального модуля розмотування стрічки має три складових [1]:

а) складову M_m , обумовлену силою натягу T і діаметром рулону D_p розмотування:

$$M_m = TR_p, \quad (1)$$

де R_p – радіус рулону, $R_p = D_p / 2$;

б) складову M_s , обумовлену опором стрічки по радіусу розмотування:

$$M_s = (K_s b h^3) / (2R_p) \quad (2)$$

де K_s – коефіцієнт опору; b – ширина стрічки; h – товщина стрічки;

в) динамічну складову M_∂ :

$$M_\partial = [(GD_M^2 + GD_p^2) / 375] (dn_m / dt) \quad (3)$$

де GD^2 – маховий момент функціонального модуля розмотування стрічки (Н·м²): $GD_p^2 = G(2R_p)^2$ – величина махового моменту під час розмотування рулону; n_m – швидкість обертання функціонального модуля розмотування стрічки.

Момент обертання двигуна є функцією радіуса рулону R_p , від якого залежить якість подачі пакувального матеріалу з рулону.

У роботі запропоновано непрямої спосіб визначення діаметра рулону, який залежить від швидкості обертання функціонального модуля розмотування пакувальної стрічки, швидкості обертання рулонотримача пакувальної машини n_m та подачі ролика n_0 , що має діаметр $D_{\text{рол}}$:

$$D_p = D_{\text{рол}} (n_0 / n_m). \quad (4)$$

Радіус рулону дорівнює:

$$R_p = (D_{\text{рол}} n_0) / (2n_m). \quad (5)$$

При використанні традиційних тахогенераторів відносна похибка складає

значення $\epsilon_n = 0,3-2,5$ [2]. Результуюча похибка визначення радіуса рулону досягає 1,5–2,5 %, що ускладнює реалізацію оптимальних режимів керування модулем подачі стрічки.

Метою дослідження є розрахунок точності та швидкодії операцій із визначення радіуса й махового моменту рулону. Теоретичний радіус рулону R_t дорівнює:

$$R_t = -[(h + \delta)/2] + \left\{ \left[R_i + \frac{h + \delta}{2} \right]^2 + \left[\frac{h + \delta}{\pi} \int_0^t v(t) dt \right]^{-0,5} \right. \quad (6)$$

де R_i – поточне значення радіуса рулону; h – товщина намотуваного матеріалу; δ – середнє значення зазору між витками матеріалу в рулоні; $v(t)$ – закон зміни лінійної швидкості матеріалу; t – проміжок часу, через який необхідно визначити швидкість.

Використовуючи метод вимірювання відстані до поверхні рулону за допомогою ультразвукових датчиків, було визначено зміну радіуса рулону в процесі його розмотування (рис. 1). На поверхню рулону 2 направляється хвиля 1, за допомогою спеціального випромінювача приймаються відбиті від поверхні рулону сигнали, вимірюється час між посиланням зондуючого сигналу і його відгуком на приймач.

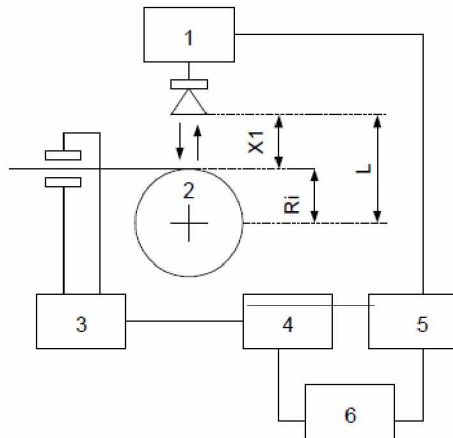


Рис. 1. Схема експериментального стенда: 1 – випромінювач акустичної хвилі, 2 – поверхня рулону, 3 – товщиномір, 4, 5 – обчислювальні блоки, 6 – блок оброблення сигналу

Оскільки довгомірний матеріал розмотується з рулону, то для обчислення теоретичного радіуса зручно використовувати зменшення площі рулону за час t . Зменшення рулону складає величину:

$$(h - \delta) \int_0^t v(t) dt.$$

З урахуванням товщини матеріалу, площа рулону (по торцях) становитиме:

$$\pi[R_1 + (h + \delta)/2]^2 + [(h + \delta)] \int_0^t v(t) dt.$$

Квадрат розрахункового радіуса дорівнюватиме:

$$R_t^2 = [R_1 + (h + \delta)/2]^2 + [(h + \delta)/\pi] \int_0^t v(t) dt,$$

Величина махового моменту рулону визначена за формулою:

$$GD_p^2 = \sum_{i=1}^k GD_{i \text{ вит}}^2 = \sum_{i=1}^k [2gyb\pi(2R_{\text{н}}h - h^2)(2R_{\text{н}}^2 - 2R_{\text{н}}h + h^2)], \quad (7)$$

де i – порядковий номер витка; k – число витків до моменту часу визначення махового моменту рулону; h_i – товщина стрічки в i -му витку; $R_{pi} = R_{\text{н}}$ – зовнішній радіус рулону в процесі розмотування. Залежності радіуса рулону під час розмотування й намотування отримані за умови постійної швидкості (рис. 2 і 3).

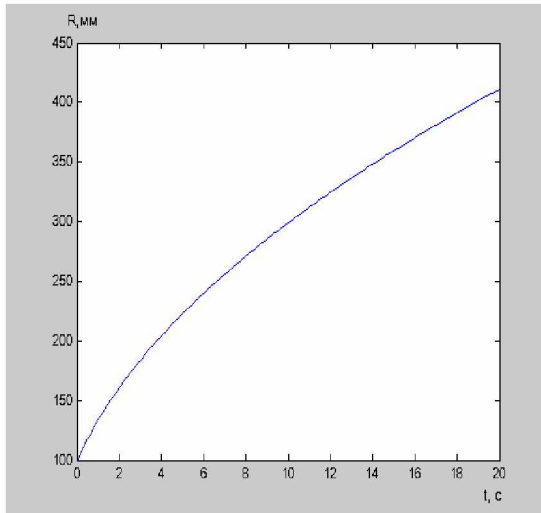


Рис. 2. Зміна радіуса рулону при намотуванні з постійною швидкістю

Розрахунки й побудова залежностей здійснювалися в середовищі Matcad при наступних початкових умовах:

При намотуванні:

$h = 1,2$ мм; $R_1 = 100 \dots 420$ мм; $0 \leq t \leq 20$ с; $v = 20$ м/с;

При розмотуванні:

$h = 1,2$ мм; $R_1 = 420 \dots 100$ мм; $0 \leq t \leq 20$ с; $v = 20$ м/с.

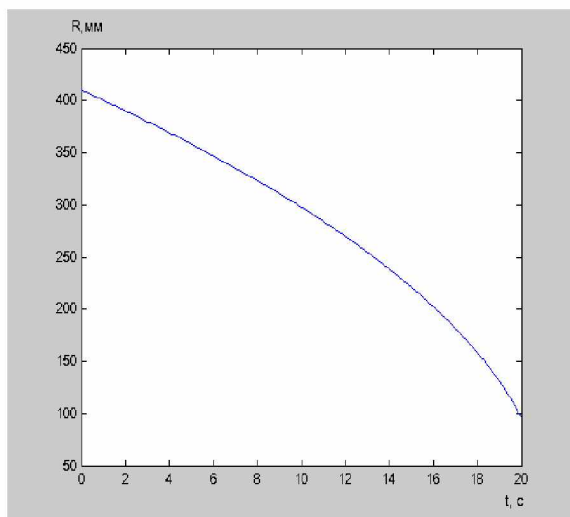


Рис. 3. Зміна радіуса рулону при розмотуванні з постійною швидкістю

Попередня оцінка за результатами імітаційного моделювання показує, що відносна похибка визначення величини радіуса рулону не перевищує 1 %.

Висновки. Запропоновано математичні моделі для визначення теоретичного радіуса й махового моменту рулону в процесі розмотування пакувального матеріалу. Обґрунтовано способи визначення махового моменту й радіуса рулону, засновані на непряму вимірюванні. Виявлено, що зміни радіуса рулону під час розмотування, з точки зору швидкодії й точності системи керування, краще фіксуються в системі з електроприводами для рулонотримачів у пакувальній машині.

Література

1. *Elatta A.Y., Gen L.P., Zhi F.L.* An Overview of Robot Calibration // Information Technology Journal 3 (1), Asian Network for Scientific Information. 2004. P. 74–78.
2. *Ruggeri S., Vertuan A., Legnani G., Visioli A.* Kinetostatic calibration of a SCARA robot // XIX Congresso AIMETA, Associazione Italiana di meccanica teorica e applicata. (Ancona, 14–17 Settembre, 2009). 10 p.