

## АНАЛІЗ СПРОЩЕНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ НАТЯГУ ПАПЕРОВОЇ СТРІЧКИ

Значна частина газетної і книжково-журнальної продукції друкується на рулонних ротаційних машинах. Продуктивність машини і якість друкованої продукції значною мірою залежать від стабільності натягу паперової стрічки. Тому аналіз системи її натягу — питання досить актуальне.

Проаналізуємо статичні властивості спрощених моделей систем натягу паперової стрічки на основі вивчення значення коефіцієнтів передачі об'єкта і системи в цілому.

Спрощений опис поведінки ділянки машини з пружною стрічкою без врахування натягу на попередній ділянці визначається відомими диференціальним рівнянням натягу [2, 3]

$$L \frac{d\varepsilon}{dt} = V_2 - V_1(1 + \varepsilon), \quad (1)$$

де  $V_2$  і  $V_1$  — швидкість стрічки відповідно на виході та вході ділянки;  $\varepsilon$  — відносне видовження стрічки на ділянці довжиною  $L$ .

У режимі рівноваги статичне видовження стрічки на ділянці постійне

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \text{const}, \quad (2)$$

де  $\Delta L$  — абсолютне видовження стрічки на ділянці.

Значення видовження стрічки залежить від типу паперу, його властивостей і перебуває в межах 0,005... 0,03.

Вважаючи стрічку пружною, визначимо силу натягу стрічки через видовження

$$F = \varepsilon E_c, \quad (3)$$

де  $E_c$  — модуль пружності стрічки, приведений до поперечного перерізу.

З виразу (1) в врахуванням (2) і (3) після перетворень матимемо

$$T_c \frac{dF}{dt} + F = (V_2 - V_1) \frac{E_c}{V_1}, \quad (4)$$

де  $T_c = \frac{L}{V_1}$  — стала часу стрічки.

Застосовуючи до (4) перетворення Лапласа, запишемо передаточну функцію ділянки паперової стрічки як об'єкта регулювання

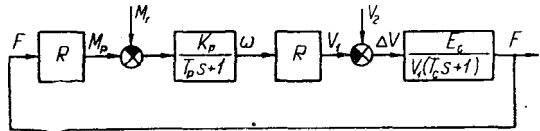
$$W(s) = \frac{F(s)}{V_2(s) - V_1(s)} = \frac{F(s)}{\Delta V(s)} = \frac{k_c}{T_c s + 1}, \quad (5)$$

де  $k_c = \frac{E_c}{V_1}$  — коефіцієнт передачі об'єкта;  $s$  — оператор Лапласа.

Таким чином, ділянка паперової стрічки є інерційною ланкою. Коефіцієнт передачі об'єкта залежить від модуля пружності стрічки і від швидкості її руху.

Проаналізуємо властивості ділянки паперової стрічки на основі коефіцієнта передачі. Величина швидкості паперової стрічки залежить від типу та режиму роботи машини і знаходиться у межах 0,4... 10 м/с. Значення модуля пружності залежить від типу паперу та його розмірів і може бути в межах 400... 4000 кг. При заданих значеннях швидкості та модуля пружності стрічки коефіцієнт передачі ділянки паперової стрічки перебуває в межах 40... 10000 кг·м/с.

Рис. 1. Структурна схема спрощеної моделі системи рулон—паперовідна ділянка.



Отже, ділянка паперової стрічки належить до типу об'єктів з великим коефіцієнтом передачі. Регулювання таких об'єктів становить певні труднощі.

Розглянемо систему рулон—паперовідна ділянка. Структурна схема спрощеної моделі системи показана на рис. 1. У системі є внутрішній зворотний зв'язок по силі натягу. На основі структурної схеми рис. 1 запишемо залежність сили натягу від швидкості машини в зображеннях

$$F(s) = \frac{\frac{E_c}{(T_c s + 1) V_1}}{1 + \frac{k_p R^2 E_c}{(T_p s + 1)(T_c s + 1) V_1}} \Delta V(s), \quad (6)$$

де  $T_p$  і  $k_p$  — стала часу та коефіцієнт передачі рулона. Після перетворень

$$F(s) = \frac{E_c (T_p s + 1)}{(T_p s + 1)(T_c s + 1) V_1 + k_p R^2 E_c} \Delta V(s). \quad (7)$$

Прийнявши оператор  $s$  рівним нулеві, визначимо статичний коефіцієнт передачі на швидкість системи рулон—паперовідна ділянка

$$k_c = \frac{F}{\Delta V} = \frac{\frac{E_c}{V_1}}{1 + k_p R^2 \frac{E_c}{V_1}}. \quad (8)$$

Нехтуючи одиницею, маємо

$$k_c = \frac{1}{k_p R^2}. \quad (9)$$

Таким чином, статичне відхилення сили натягу в системі рулон—паперовідна ділянка, викликане зміною швидкості машини,

залежить від жорсткості характеристики гальмівного пристрою заправочного вузла рулону та значення радіуса рулону. Для пониження статичного відхилення сили натягу потрібно зменшувати жорсткість гальмівного пристрою.

Для більшості друкарських машин значення радіуса рулону та коефіцієнта його передачі менші одиниці, тому коефіцієнт передачі за швидкістю системи рулон—паперовідна ділянка значно менший від коефіцієнта передачі самої паперовідної ділянки. Це пояснюється тим, що в системі є рулон, який має менш жорстку характеристику, ніж паперовідна ділянка, що призводить до «пом'якшення» характеристики системи в цілому.

Запишемо залежність сили натягу від гальмівного моменту  $M_r$

$$F(s) = \frac{\frac{k_p R E_c}{(T_p s + 1)(T_c s + 1)V_1}}{1 + \frac{k_p R^2 E_c}{(T_p s + 1)(T_c s + 1)V_1}} M_r(s). \quad (10)$$

Після перетворень

$$F(s) = \frac{k_p R E_c}{(T_p s + 1)(T_c s + 1)V_1 + k_p R^2 E_c} M_r(s). \quad (11)$$

Аналогічно до попереднього з виразу (11) визначаємо статичний коефіцієнт передачі за моментом системи рулон—паперовідна ділянка

$$k_m = \frac{F}{M_r} = \frac{k_p R \frac{E_c}{V_1}}{1 + k R^2 \frac{E_c}{V_1}}. \quad (12)$$

Нехтуючи одиницею, отримуємо

$$k_m = \frac{1}{R}. \quad (13)$$

Таким чином, статичне відхилення сили натягу в системі рулон—паперовідна ділянка, викликане зміною гальмівного моменту, визначається радіусом рулону і не залежить від інших параметрів системи. Тому для зменшення відхилень сили натягу потрібно мати гальмівний пристрій зі стабільною статичною характеристикою. Відзначимо, що до гальмівного пристрою ставляться двоякі вимоги: з одного боку потрібно зменшувати жорсткість характеристики, з другого — збільшувати стабільність.

Для стабілізації сили натягу застосовують різні системи автоматичного регулювання, в яких використовують першу та другу похідні від сили натягу, та відповідні коригуючі пристрої. Застосовують також принцип регулювання за збуренням, шляхом вимірювання швидкості стрічки, значення радіуса рулону тощо [2].

Можливий інший шлях розв'язання цієї задачі, який базується на зменшенні коефіцієнта передачі об'єкта

$$k_c = \frac{E_c}{V_1}. \quad (14)$$

На перший погляд коефіцієнт передачі об'єкта (14) змінювати неможливо, бо модуль пружності  $E_c$  і швидкість  $V_1$  стрічки — величини задані. Але об'єктом фактично є не сама паперова стрічка, а паперовідна ділянка з рухомою стрічкою, тому модуль

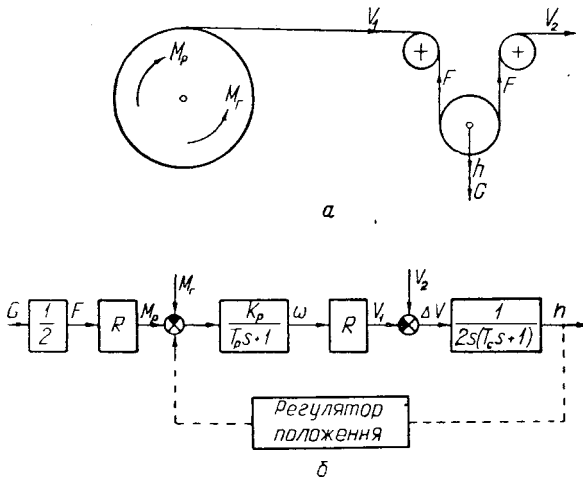


Рис. 2. Функціональна схема (а) та структурна схема спрощеної моделі (б) системи рулон—паперовідна ділянка з вантажним амортизатором.

пружності паперовідної ділянки можна змінювати шляхом введення в неї пружних елементів, у яких модуль пружності менший від модуля пружності паперу. Отже, введення пружних елементів у паперовідну ділянку значно зменшує коефіцієнт передачі об'єкта, що спрощує задачу стабілізації натягу.

У друкарських машинах давно використовують різні пружні елементи, які отримали назву амортизаторів; найчастіше застосовують вантажні, пневмосилові та пружинні амортизатори [2, 3].

Введення пружного елемента обґрунтовано вище, на основі аналізу систем з досить великим коефіцієнтом передачі об'єкта регулювання.

На рис. 2, а показана спрощена схема системи рулон—паперовідна ділянка з вантажним амортизатором. Нехтуючи опором сил тертя амортизаторів та паперовідних валиків, побудуємо структурну схему (рис. 2, б) спрощеної моделі системи рулон—паперовідна ділянка з вантажним амортизатором.

Вантажний амортизатор непружний елемент, тому його модуль пружності  $E_a=0$ , а це означає, що коефіцієнт передачі паперовідної ділянки як об'єкта регулювання

$$k_c = \frac{F}{\Delta V} = \frac{E_a}{V_1} = 0. \quad (15)$$

Таким чином, введення вантажного амортизатора надає паперовідній ділянці астатичних властивостей. Сила натягу паперової стрічки у режимі рівноваги

$$F = \frac{G}{2} \quad (16)$$

визначається тільки вагою  $G$  амортизатора і не залежить від швидкості, рушійного та гальмівного моментів на ролоні й переміщення амортизатора.

На основі структурної схеми рис. 2, б запишемо залежність переміщення  $h$  амортизатора від різниці швидкостей у зображеннях

$$h(s) = \frac{1}{2s(T_c s + 1)} \Delta V(s). \quad (17)$$

Аналізуючи формулу (17), бачимо, що паперовідна ділянка з вантажним амортизатором є інтегруючою ланкою, тому при наявності невеликої постійної різниці швидкостей переміщення амортизатора безмежно зростає.

Залежність переміщення амортизатора від гальмівного моменту  $M_r$  в зображеннях

$$h(s) = \frac{k_p R}{2s(T_p s + 1)(T_c s + 1)} M_r(s). \quad (18)$$

Як і раніше, при незначній постійній зміні гальмівного моменту переміщення амортизатора безмежно зростає.

З проведеного аналізу робимо висновок, що введення вантажного амортизатора призводить до непрацездатності системи, тому що переміщення амортизатора завжди обмежене. Для забезпечення працездатності такої системи потрібно створити систему автоматичної стабілізації положення амортизатора.

Таким чином, від стабілізації натягу ми прийшли до системи стабілізації положення амортизатора. Відзначимо, що задача розробки і реалізації системи положення амортизатора простіша від задачі розробки та реалізації системи натягу.

Регулювання положення амортизатора здійснюється шляхом зміни швидкості, або гальмівного моменту за допомогою відповідного регулятора, який на рис. 2, б показаний пунктиром.

Системи натягу з вантажним амортизатором мають ряд переваг. Це простота апаратурної реалізації, легше налагодження системи, незалежність точності регулювання від швидкості і положення амортизатора. Основним недоліком є залежність сили натягу в перехідних і статичних режимах від сил тертя та напрямку руху амортизатора. Статичні та динамічні властивості вантажного амортизатора вивчені мало. Очевидно, що це є одною з головних причин обмеженого застосування систем з вантажним амортизатором у

поліграфії, в той час, як вони широко використовуються у текстильній промисловості [1]. Тому дальше вивчення систем з вантажним амортизатором є актуальною задачею.

Введення в паперовідну ділянку пружинного вагового амортизатора призводить до істотних змін динамічних властивостей ділянки. На рис. 3 показана структурна схема спрощеної моделі системи рулон—паперовідна ділянка з ваговим пружинним амортизатором. За наявності в амортизаторі пружини у системі появляється внутрішній зворотний зв'язок по силі натягу.

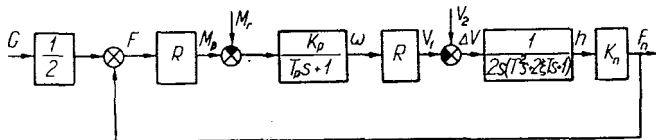


Рис. 3. Структурна схема спрощеної моделі системи рулон—паперовідна ділянка з ваговим пружинним амортизатором.

На основі структурної схеми (рис. 3) запишемо залежність переміщення амортизатора від різниці швидкостей у зображеннях

$$h(s) = \frac{1}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)} \frac{1}{1 + \frac{k_p R^2 k_n}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)(T_p s + 1)}} \Delta V(s), \quad (19)$$

де  $T$  і  $\xi$  — стала часу та коефіцієнт демпфірування амортизатора;  $k_n$  — коефіцієнт передачі пружини амортизатора.

Після перетворень

$$h(s) = \frac{T_p s + 1}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)(T_p s + 1) + k_p R^2 k_n} \Delta V(s). \quad (20)$$

Прийнявши  $s$  рівним нулеві, визначимо статичний коефіцієнт передачі за переміщенням системи рулон—паперовідна ділянка з пружинним амортизатором

$$k_n = \frac{h}{\Delta V} = \frac{1}{k_p R^2 k_n}. \quad (21)$$

Коефіцієнт передачі системи — величина кінцева, тому при дії постійної різниці швидкостей  $\Delta V$  амортизатор переміститься на кінцеву величину.

За структурною схемою (рис. 3) запишемо залежність сили натягу від різниці швидкостей у зображеннях

$$F(s) = \frac{\frac{k_n}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)}}{1 + \frac{k_p R^2 k_n}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)(T_p s + 1)}} \Delta V(s). \quad (22)$$

Після перетворень маємо

$$F(s) = \frac{k_n(T_p s + 1)}{2s(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)(T_p s + 1) + k_p R^2 k_n} \Delta V(s). \quad (23)$$

Звідси визначаємо статичний коефіцієнт передачі системи за швидкістю

$$k_v = \frac{F}{\Delta V} = \frac{1}{k_p R^2}, \quad (24)$$

що аналогічний формулі (9). Тому, як і в системі без пружинного амортизатора, для зменшення відхилення сили натягу потрібно зменшувати жорсткість гальмівного пристрою.

Запишемо залежність сили натягу від гальмівного моменту в зображеннях

$$F(s) = \frac{\frac{1}{2} k_p R k_n \frac{1}{(T_p s + 1)(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1) \cdot 2s}}{1 + \frac{k_p R^2 k_n}{2s(T_p s + 1)(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)}} M_r(s). \quad (25)$$

Після перетворень дістаємо

$$F(s) = \frac{k_p R k_n}{2s(T_p s + 1)(T^2 s^2 + 2\xi T s + 1) + k_p R^2 k_n} M_r(s). \quad (26)$$

Звідси знаходимо статичний коефіцієнт передачі системи за гальмівним моментом

$$k_m = \frac{F}{M_r} = \frac{1}{R}, \quad (27)$$

який аналогічний виразу (13). Тому наведені вище суперечливі вимоги до жорсткості характеристики гальмівного пристрою справедливі також для даної системи.

Як бачимо, статичне відхилення сили натягу паперової стрічки, викликане зміною швидкості машини та гальмівного моменту при сталому значенні радіуса рулону, не залежить від наявності вагового пружинного амортизатора.

Отже, пружинний амортизатор не виконує функції регулятора прямої дії. Переміщаючись, він тільки зменшує динамічне відхилення сили натягу при дії різних швидкозмінних збурень, тобто виконує функції демпфера.

**Список літератури:** 1. Быстров А. М., Глазунов В. Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности. — М.: Лесная индустрия, 1977. 2. Казакевич В. В., Избицкий Э. Н. Системы автоматического управления полиграфическими процессами. — М.: Книга, 1978. 3. Толстой Г. Д. Автоматизация полиграфических производственных процессов. — М.: Книга, 1970.

The article analyses the static properties of the simplified system of roll-papercemducting sector with different types of amortizers. The paper gives the dependance on the strenght stretch of the roll on different stirring for different types of amortizers.

Стаття надійшла в редакцію 18. 02. 82