

то, враховуючи (8) і (9), замість (10) отримаємо

$$F_b = \frac{3mv^2}{a\sqrt{2}} \sqrt{\cos 2\varphi}. \quad (11)$$

Якщо обмежимося коліном з поворотом на  $90^\circ$  (що найчастіше зустрічається), то зауважимо, що при вході в коліно частинки рідини перебувають під дією максимального значення відцентрової сили

$$F_b = \frac{3mv^2}{a\sqrt{2}}, \quad (12)$$

яка зменшується до нуля при значенні кута  $\varphi = 45^\circ$ , тобто при повороті на  $90^\circ$ . Очевидно, при зміні напрямку руху на протилежний відбуватиметься поступове наростання відцентрової сили від нуля до її максимального значення згідно з виразом (11).

Зауважимо, що при такій формі коліна вторинні течії можуть викликати навіть позитивний ефект внаслідок переносу частини рідкого середовища зі зони з великою кінетичною енергією у прилежові шари, де виникли зони відриву.

1. Левицький Б.Ф., Лецій Н.П. Гідравліка. Загальний курс. Львів, 1994. 2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1975. 3. Лецій Н.П. Расчет потерь давления при течении жидкости, описываемых трехпараметрической реологической моделью // Гидравлика и гидротехника. Вып. 43. С. 3-6. 4. Лецій Н.П., Базилевич А.И. О потерях энергии при смещении двух потоков неньютоновской жидкости // Гидравлика и гидротехника, 1972. Вып. 12. С. 12-14. 5. Гумен М.С., Гумен О.М. Одне узагальнення овалів Кассіні // Прикл. геометрія і інж. Графіка. 1996. Вып. 59. С. 34.

УДК 678.067.5

## СПРОЩЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБВІДНОГО ВАЛИКА СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

© Богдан Дурняк, 1999

Українська академія друкарства

У процесі друкування в рулонних друкарських машинах паперова стрічка, яка розмотується з рулону, надходить у друкарську пару (або послідовність друкарських пар) через систему обвідних валиків. Вони, своєю чергою, впливають на натяг паперу через наявність власного моменту інерції, різної схеми проводки стрічки тощо.

Розглянемо модель обвідного валика стрічкопровідної ділянки (рис.1). Знайдемо рівняння руху обвідного валика, який приводиться за рахунок руху стрічки.

Введемо позначення (рис.1):  $F_2, F_1$  - натяг стрічки після валика і до нього,  $J_B$  - момент інерції обертових частин приводу обвідного валика, приведений до вала

обвідного валика,  $\omega_B$  – швидкість обертання обвідного валика. Без урахування тертя і проковзування систему з одним обвідним валиком описує рівняння руху

$$J_B \frac{d\omega_B}{dt} = r_B (F_2 - F_1). \quad (1)$$

За відсутності проковзування лінійну швидкість стрічки визначаємо з виразу

$$V_B = V_2 = \omega_B r_B, \quad (2)$$

де  $r_B$  – радіус циліндра обвідного валика.

Застосувавши перетворення Лапласа до (1) з урахуванням (2), після необхідних перетворень отримаємо

$$V_2(s) = \frac{r_B}{J_B s} [F_2(s) - F_1(s)]. \quad (3)$$

Приведемо вираз (3) до стандартного вигляду, зручного для подальшого аналізу. Після перетворень отримуємо

$$V_2(s) = r_B \frac{k_B}{T_B s} [F_2(s) - F_1(s)], \quad (4)$$

де  $k_B = 1$  – коефіцієнт передачі валика по моменту,  $T_B = J_B / r_B$  – постійна часу обвідного валика. На рис.2 показана структурна схема моделі обвідного валика стрічкопровідної системи.

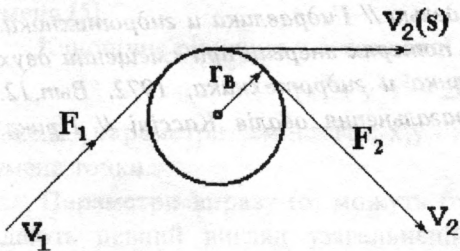


Рис.1. Функціональна схема моделі обвідного валика стрічкопровідної ділянки.

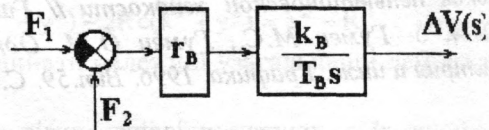


Рис.2. Структурна схема моделі обвідного валика стрічкопровідної ділянки.

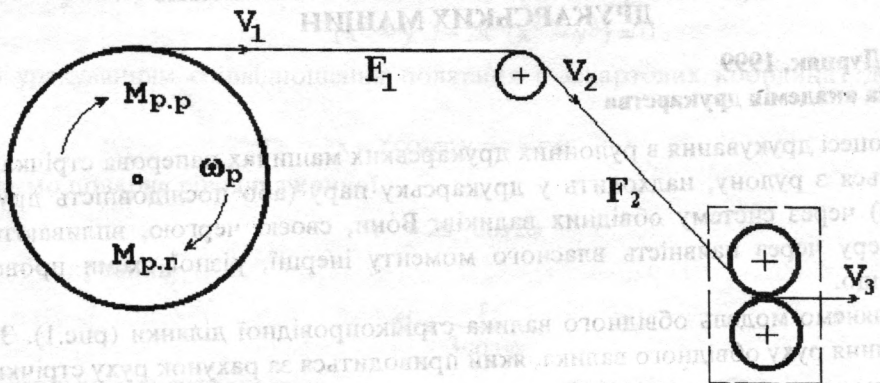


Рис.3. Функціональна схема моделі системи рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик.

Отже, обвідний валик як об'єкт керування розглядаємо як інтегруючу ланку з постійною часу  $T_B$  і коефіцієнтом передачі  $k_B$ .

На основі передавальної функції розмотуваного рулону та стрічкопровідної ділянки як об'єкта регулювання [1, 3] з урахуванням (4) на рис.3 побудована структурна схема моделі рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик (функціональна схема моделі показана на рис.3).

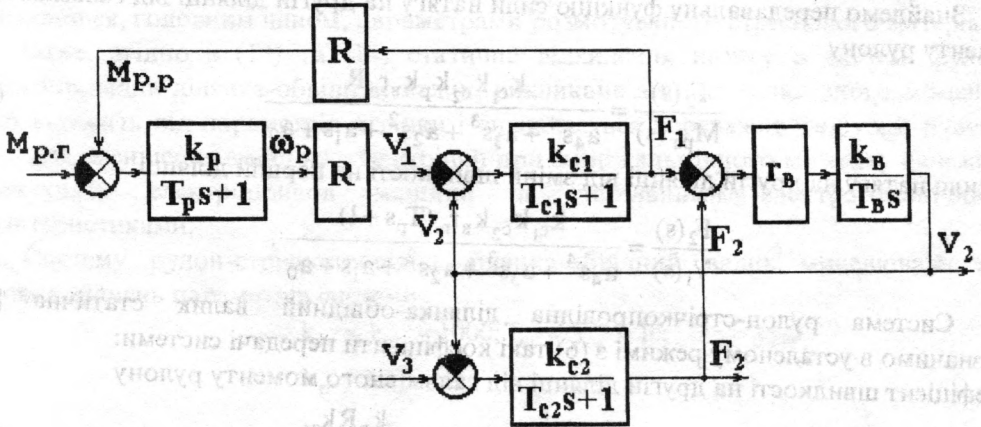


Рис.4. Структурна схема моделі системи рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик.

Із структурної схеми (рис.4) запишемо залежність швидкості руху стрічки на другій ділянці (рис.3) від гальмівного моменту рулону у вигляді:

$$V_2(s) = \frac{k_{c1} k_p R k_B r_B}{T_B s (T_{c1} s + 1) (T_p s + 1)} \times \left( 1 + \frac{k_p R^2 k_{c1}}{(T_p s + 1) (T_{c1} s + 1)} + \frac{k_{c2} k_B r_B}{T_B s (T_{c2} s + 1)} + \frac{k_B r_B k_{c1}}{T_B s (T_{c1} s + 1)} + \frac{k_B r_B k_{c2}}{T_B s (T_{c2} s + 1)} + \frac{k_p R^2 k_{c1}}{(T_p s + 1) (T_{c1} s + 1)} \right)^{-1} M_{p,r}(s). \quad (5)$$

Після перетворень отримуємо

$$\frac{V_2(s)}{M_{p,r}(s)} = \frac{b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} b_1 &= k_B r_B k_p R k_{c1} T_{c2}; & b_0 &= k_B r_B k_p R k_{c1}; \\ a_4 &= T_{c1} T_{c2} T_p T_B; & a_3 &= T_B [T_{c1} T_{c2} + T_p T_{c1} + T_p T_{c2}]; \\ a_2 &= T_B (T_{c1} + T_{c2} + T_p) + (T_{c1} + T_{c2}) T_p + k_{c1} k_p R^2 T_B T_{c2}; \\ a_1 &= T_{c1} + T_{c2} + 2T_p + T_B (1 + k_{c1} k_p R^2); \end{aligned}$$

$$a_0 = k_B r_B [k_{c_1} (1 + k_{c_2} k_p R^2) + k_{c_2}].$$

Тут  $k_p, T_p, R$  - відповідно коефіцієнт передачі, стала часу і радіус рулону,  $k_{c_1}, k_{c_2}, T_{c_1}, T_{c_2}$  - коефіцієнти передачі та сталі часу відповідних ділянок стрічкопровідної системи.

Знайдемо передавальну функцію сили натягу на другій ділянці від гальмівного моменту рулону

$$\frac{F_2(s)}{M_{p,r}(s)} = \frac{k_{c_1} k_{c_2} k_p k_B r_B R}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (7)$$

та сили натягу на другій ділянці від зміни швидкості на першій ділянці

$$\frac{F_2(s)}{V_1(s)} = \frac{k_{c_1} k_{c_2} k_B r_B (T_p s + 1)}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (8)$$

Система рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик статична [5]. Визначимо в усталеному режимі з (6) такі коефіцієнти передачі системи: коефіцієнт швидкості на другій ділянці від гальмівного моменту рулону

$$K_{V_2(M_{p,r})} = \left. \frac{V_2(s)}{M_{p,r}(s)} \right|_{s=0} = \frac{k_p R k_{c_1}}{k_{c_1} (1 + k_{c_2} k_p R^2) + k_{c_2}}; \quad (9)$$

коефіцієнт сили натягу на другій ділянці від гальмівного моменту рулону

$$K_{F_2(M_{p,r})} = \left. \frac{F_2(s)}{M_{p,r}(s)} \right|_{s=0} = \frac{k_{c_1} k_{c_2} k_p R}{k_{c_1} (1 + k_{c_2} k_p R^2) + k_{c_2}}; \quad (10)$$

коефіцієнт сили натягу на другій ділянці від зміни швидкості на першій ділянці

$$K_{F_2(V_1)} = \left. \frac{F_2(s)}{V_1(s)} \right|_{s=0} = \frac{k_{c_1} k_{c_2}}{k_{c_1} (1 + k_{c_2} k_p R^2) + k_{c_2}}. \quad (11)$$

Проаналізуємо коефіцієнти передачі (9)-(11). Оскільки  $k_{c_1} = k_{c_2} \gg 1$  і  $k_p R > 1$ , то з (9) отримуємо в першому наближенні залежність швидкості стрічки на другій ділянці від гальмівного моменту рулону для усталеного режиму

$$K_{V_2(M_{p,r})} = \frac{1}{1 + k_{c_2} R} \rightarrow 0. \quad (12)$$

Для сили натягу на другій ділянці від гальмівного моменту рулону з (10) маємо

$$K_{F_2(M_{p,r})} = \frac{1}{R}. \quad (13)$$

Відповідно для сили натягу на другій ділянці від зміни швидкості згідно з (11) отримуємо

$$K_{F_2(V_1)} = \frac{1}{k_p R^2}. \quad (14)$$

Аналізуючи останні два вирази, робимо висновок, що коефіцієнти передачі по натягу системи рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик практично

залежать від пружних властивостей стрічки та інерційності обвідного валика, а залежать лише від параметрів рулону.

Тому зміна сили натягу стрічки, викликана зміною швидкості машини істотно не залежить від матеріалу стрічки і визначається переважно силами тертя в механічній системі приводу та технологічними навантаженнями в рулоні. Одночасно зміна швидкості (12) практично не залежить від гальмівного моменту рулону, а визначається, головним чином, параметрами розмотуваного стрічкового матеріалу.

Отже, згідно з (13) та (14) статичне відхилення натягу в системі рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик, викликане зміною гальмівного моменту, мало залежить від параметрів стрічки і визначається переважно радіусом рулону. Тому для зменшення зміни натягу стрічки при зміні гальмівного моменту належить проектувати електропривод машини зі стабільними електромеханічними характеристиками.

Систему рулон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик моделювали для типових значень параметрів системи

$$k_{c_1} = k_{c_2} = 1000; T_{c_1} = T_{c_2} = 1c;$$

$$k_p = 1; T_p = 5c;$$

$$k_b = 1; T_b = 1c; r_b = 0,03m.$$

Типові перехідні характеристики системи показані на рис.5-8 відповідно для залежностей

- швидкості стрічки на другій ділянці від гальмівного моменту рулону  $V_2(M_{p,r})$ ;
- сили натягу стрічки на другій ділянці від гальмівного моменту рулону  $F_2(M_{p,r})$ ;
- сили натягу стрічки на першій ділянці від зміни швидкості  $F_1(V_1)$ ;
- сили натягу стрічки на другій ділянці від зміни швидкості  $F_2(V_1)$ .

Оскільки модель стрічкопровідної системи нестационарна та її параметри змінюються зі зміною радіуса рулону  $R$ , графіки перехідних процесів знайдені для типових значень  $R = 0.15, \dots, 0.6m$ .

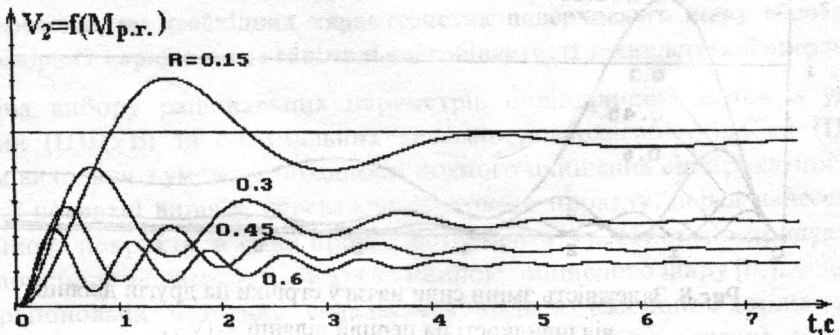


Рис.5. Залежність зміни швидкості стрічки на другій ділянці

від гальмівного моменту рулону  $V_2(M_{p,r})$ .

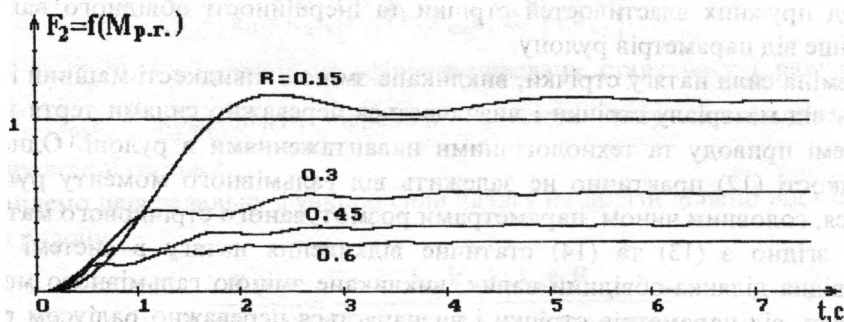


Рис.6. Залежність зміни сили натягу стрічки на другій ділянці від гальмівного моменту рулону  $F_2(M_{p.r.})$ .

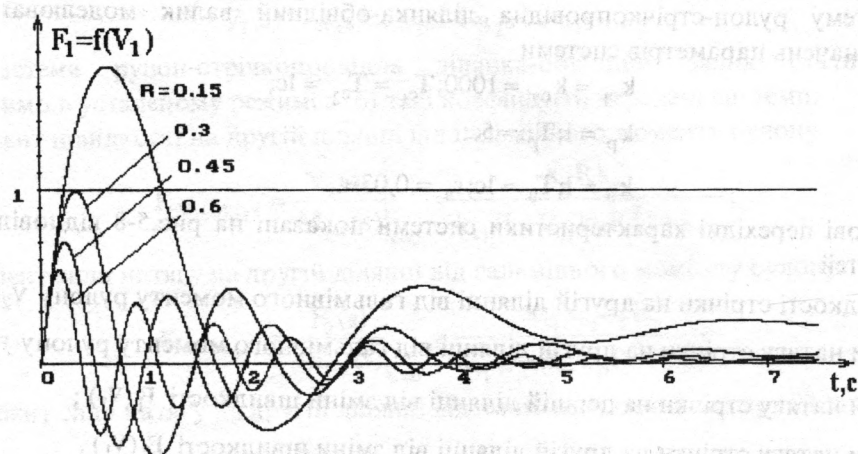


Рис.7. Залежність зміни сили натягу стрічки на першій ділянці від зміни швидкості на першій ділянці  $F_1(V_1)$ .

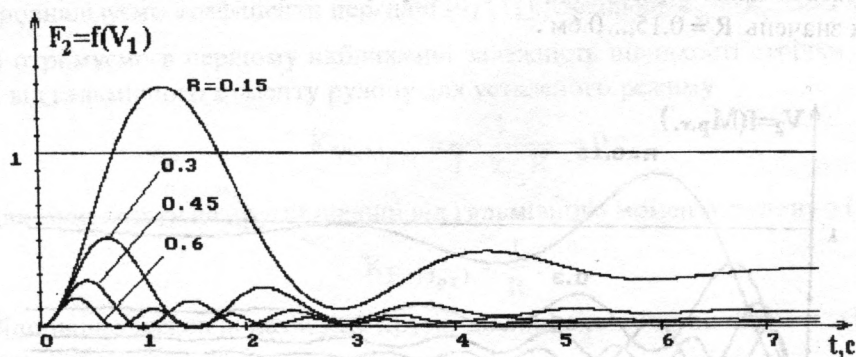


Рис.8. Залежність зміни сили натягу стрічки на другій ділянці від швидкості на першій ділянці  $F_2(V_1)$ .

З рис.7 та 8 видно, що при збуренні гальмівного моменту рулону, прикладеному до рулону, зміна натягу на першій ділянці  $F_1$  значно більша, ніж на наступній

$F_2$  (масштаби графіків рис.7 та 8 співвідносяться як 25:1), що створює небезпеку обриву стрічки саме при малих радіусах ролону відразу на першій ділянці стрічкопровідної системи ролонної друкарської машини. Саме тому, як показано в даній статті за результатами розрахунків і моделювання, пристрої, які стабілізують натяг, необхідно встановлювати на першій ділянці стрічкопровідної системи ролонної друкарської машини.

Результати моделювання підтверджують, що для стабілізації зусилля натягу необхідно ввести в систему ролон-стрічкопровідна ділянка-обвідний валик-друкарська пара амортизуючі пристрої для зменшення впливу натягу від зміни параметрів ролону, який є нестационарним об'єктом даної системи.

1. Дурняк Б.В. Математичні і структурні моделі системи "стрічкопровідна ділянка-друкарська пара" на ролонних друкарських машинах // Тези 4 Респ. конф. мол. вчених і спеціалістів "Молодь і розвиток поліграфії". Львів, 1991. С.48. 2. Казакевич В.В., Избицкий З.Н. Системы автоматического управления полиграфическими процессами. М., 1978. 3. Дурняк Б.В., Стрєнко І.Т. Моделі намотувального пристрою з приводом за вісь ролону // Поліграфія і видавнича справа. 1994. N 29. С.81-87. 4. Стрєнко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. Проектування систем керування на однокристалних мікро-ЕОМ. К., 1998. 5. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. К., 1997.

УДК 621.787

## МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЩІТОК З УДАРНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТА ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ

© Ярослав ЛИТВИНЯК, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

**Розглянуто алгоритм раціонального проектування циліндричних щіток з ударними елементами та вибору оптимальних режимів поверхневої обробки при забезпеченні, як необхідних характеристик поверхневого шару оброблюваних довгомірних виробів, так і мінімальної собівартості технологічної операції.**

Задача вибору раціональних параметрів циліндричних щіток з ударними елементами (ЦЩУЕ) та оптимальних режимів поверхневої обробки (ПО) розв'язується виходячи з умови необхідності повного очищення від прокатної окалини площинної поверхні виробу, переважно сортового прокату, перед нанесенням антикорозійного покриття за один прохід інструмента з необхідною продуктивністю  $Q$  (м/с), шорсткістю поверхні  $R_a$  ( $R_z$ ) і товщиною зміцненого шару  $[h_s]$ .

Запропонована методика складається з двох взаємопов'язаних основних частин - вибору раціональних параметрів інструмента і визначення оптимальних режимів ПО. Блок-схема алгоритму подана на рисунку.