

Моделювання процесу колового і осьового розкочування фарби // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – 2000, №4. – С. 15–127. 6. Верхола М.І. Моделювання і дослідження процесів та елементів фарбової системи друкарських машин // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – 2000, №5. – С.9–22. 7. Верхола М.І., Гук І.Б. Моделювання та аналіз впливу траєкторії руху розтирального циліндра на процес розкочування фарби // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2001, №6. – С.337–352. 8. Верхола М.І., Луцків М.М. Сигнальні графи фарбових груп друкарських машин // Вісник ДУ «Львівська політехніка». – 1997. – №340. – С. 11–16. 9. Куо Б.Г. Теория проектирования цифровых систем управления. – М.: Машиностроение, 1986. 10. Верхола М.І., Гук І.Е., Бабінець В.М. Колове і осьове розкочування фарби у фарбовій системі з трьома накочуючими валиками // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2001, №36, – С.66–75.

УДК 62-13

І.М. ЛУЦКІВ

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДІАМЕТРІВ СТРІЧКОПРОВІДНИХ ЦИЛІНДРІВ НА НАТЯГ СТРІЧКИ В РУЛОННИХ РОТАЦІЙНИХ МАШИНАХ

© Луцків І.М., 2004

A task of construction of mathematical model of the conductribbon system, which takes into account influencing inaccuracy of making diameters of conductribbon cylinders on pull of ribbon on areas is considered. Results of computer simulation are conducted

Постановка проблеми

Принцип неперервного проведення стрічкового матеріалу через ряд технологічних операцій, що виконуються на стрічці, є найдосконалішим принципом побудови машин в різних галузях промисловості. У поліграфії рулонні ротаційні машини є найбільш продуктивним і перспективним видом друкарських машин внаслідок ротаційного способу побудови друкарського апарата і неперервної подачі стрічкового матеріалу, що послідовно задруковується. Вони є складними високоавтоматизованими і комп'ютеризованими електромеханічними системами, що складаються із ряду друкарських секцій та інших секцій для обробки задрукованої стрічки. На рулонних ротаційних машинах легко можна одержати різну сукупність фарб на обох сторонах стрічки і готову продукцію у вигляді газет, зошитів, задрукованої стрічки, змотаної в рулон, а також брошур та журналів [1, 2, 3].

Останнім часом швидкість роботи рулонних ротаційних машин зросла до 10–15 м/с та підвищились вимоги до якості готової продукції, що вимагає створення ефективніших систем автоматичного керування та контролю. Вирішення цієї проблеми можливе лише за умови розвитку адекватних моделей стрічкопровідних систем та врахування різних впливів.

Аналіз результатів досліджень

При зовнішній простоті неперервного руху і виконання технологічних операцій на стрічці, стрічкопровідні системи є складним об'єктом регулювання. Перша модель стрічкопровідної системи, запропонована Файнбергом Ю.М. для прокочування металевих заготовок у стрічку, відома під

назвою диференційного рівняння деформації або натягу ділянки стрічки, що встановлює зв'язки в перехідних режимах між відносним видовженням і швидкістю ведучих пар циліндрів [4, 5, 6]. Пізніше це рівняння було застосовано для опису стрічкопровідних систем у різних галузях промисловості (папероробної, текстильної, хімічної, поліграфічної та інших). Вивід цього рівняння здійснюється на підставі рівняння матеріального балансу. Наприклад, рівняння балансу секундного надходження і розходу стрічки через стрічкопровідні пари циліндрів [4, 6], погонних мас стрічки та секундного надходження і розходу стрічки на ділянці [5, 6] або балансу кількості стрічки [2, 3]. Для спрощення задачі виведення рівняння деформації чи натягу стрічки здійснюється при певних припущеннях, тому воно не повною мірою описує стрічкопровідну систему як об'єкт регулювання, що звужує їх функціональні можливості під час аналізу динаміки стрічкопровідних систем та, зокрема, впливу неточності виготовлення діаметрів циліндрів на виготовлення стрічки.

Задачі досліджень

У роботі розвиваються існуючі моделі видовження та натягу стрічки методом інтегрування приросту швидкості стрічки на інтервалі часу і на цій підставі аналізується вплив неточності виготовлення діаметрів циліндрів на натяг стрічки. Здійснено комп'ютерне симулювання стрічкопровідної системи з врахування неточності виготовлення діаметрів циліндрів.

Побудова математичної моделі

Розглянемо спрощену схему стрічкопровідної системи рулонної ротаційної машини, стрічкопровідні пари циліндрів якої зв'язані жорсткими валопроводами, що приводиться в рух від двигуна М (рис.1). Для спрощення задачі стрічкоживильна секція не враховується. Стрічка із заданим натягом на вході послідовно проводиться друкарськими парами циліндрів і задруковується. При русі на стрічку є різні механічні та технологічні дії і впливи (зволоження, нанесення фарби, сушіння та інші), що приводить до зміни швидкості стрічки, її видовження та натягу. Зазначимо, що для якісного друкування потрібно стабільний натяг стрічки на всіх стрічкопровідних ділянках.

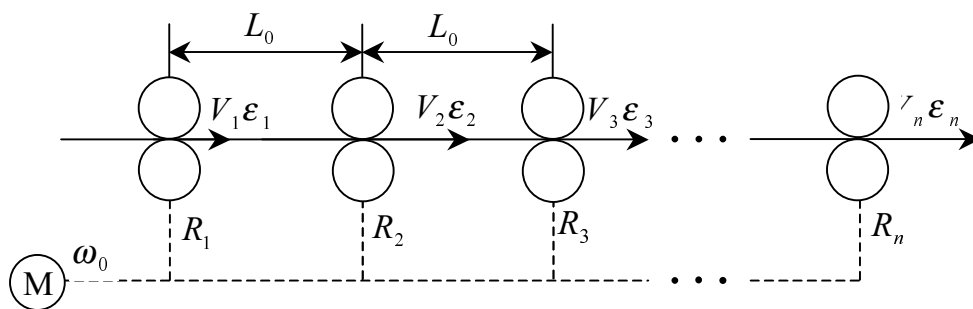


Рис. 1. Спрощена схема стрічкопровідної системи

Основними причинами зміщення фарб на багатофарбових рулонних машинах є неточність виготовлення, збирання і роботи механізмів машини, відхилення технологічного процесу від номінальних значень. Для того, щоб компенсувати негативні впливи кінематики машини та дії різних збурень, кінематику машини розраховують із врахуванням деформації стрічки, а лінійні швидкості ведучих пар циліндрів розраховують із умови поступового збільшення швидкості стрічкопровідних циліндрів.

Збільшення швидкості здійснюється поступовим збільшенням діаметрів стрічкопровідних циліндрів. Якщо всі діаметри стрічкопровідних циліндрів є однакові, то неможливо забезпечити гарантований натяг стрічки на всіх ділянках. Наявність різних дій та впливів може привести до послаблення натягу та провисання стрічки на окремих ділянках, зморшок на стрічці та появи бракованої продукції.

Аналіз стрічкопровідних систем ґрунтується на підставі моделі деформації рухомої стрічки, що приводиться в рух двома ведучими парами циліндрів [4, 5]. Для спрощення моделі роблять такі основні припущення:

- відсутнє проковзування матеріалу на ведучих парах циліндрів;
- розтяг матеріалу на ділянці відбувається в межах пружної лінійної деформації;
- швидкість стрічки на виході ділянки більша швидкості на вході.

При таких припущеннях рівняння деформації рухомої стрічки на ділянці, що приводиться в рух двома ведучими парами циліндрів, описується відомим простим диференціальним рівнянням [1, 4, 5, 6], яке запишемо так:

$$T \frac{d\varepsilon_i}{dt} + \varepsilon_i = \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_{ki}, \quad (1)$$

де ε_i – відносне видовження стрічки на i -й ділянці, ε_{ki} – відносне видовження стрічки, викликана кінематикою машини, T – стала часу ділянки стрічки.

У рівнянні (1) для спрощення задачі приймають, що відносне видовження стрічки на ділянці [1, 4, 5]:

$$\varepsilon_{ki} = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{V_{i+1} - V_i}{V_{i-1}}, \quad (2)$$

де Δl – видовження стрічки на ділянці, L_0 – довжина ділянки стрічки.

Зазначимо, що вираз (2) справедливий для усталеного режиму і не є коректним для перехідних режимів.

Визначимо видовження рухомої стрічки для малих приростів, викликані кінематикою машини:

$$\frac{d\Delta l_{ki}}{dt} = V_{i+1} - V_i. \quad (3)$$

Проінтегруємо цей вираз на інтервалі часу $[0, T]$, визначимо видовження стрічки на ділянці

$$\Delta l_{ki} = \int_0^T [V_{i+1} - V_i] dt. \quad (4)$$

Поділивши цей вираз на L_0 , одержимо відносне видовження стрічки, викликане кінематикою машини

$$\varepsilon_{ki} = \frac{\int_0^T [V_{i+1} - V_i] dt}{L_0} = \frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon_{ki} dt. \quad (5)$$

Легко довести, що після інтегрування цього виразу на кінці інтервалу відносне видовження стрічки буде відповідати виразу (2).

Після підстановки виразу (5) у вираз (1), матимемо:

$$T \frac{d\varepsilon_i}{dt} + \varepsilon_i = \varepsilon_{i-1} + \frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon_{ki} dt. \quad (6)$$

Для зручності розрахунків цей вираз можна записати ще так:

$$T \frac{d\varepsilon_i}{dt} + \varepsilon_i = \varepsilon_{i-1} + \frac{1}{L_0} \int_0^T [V_{i+1} - V_i] dt. \quad (7)$$

Подано цей вираз в операторній формі запису

$$T\varepsilon_i(s)s + \varepsilon_i(s) = \varepsilon_{i-1}(s) + \frac{1 - e^{-Ts}}{L_0 s} [V_{i+1}(s) - V_i(s)]. \quad (8)$$

Зазначимо, що праві частини цих рівнянь значно відрізняються від відомого рівняння деформації стрічки (1).

Від рівняння видовження (8) перейдемо до рівняння натягу, за умови, що натяг на ділянці $F_i = \varepsilon_i E_c$, де E_c – модуль стрічки, приведений до її поперечного перетину [1, 3, 7]

$$TF_i(s)s + F_i(s) = F_{i-1}(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} [V_{i+1}(s) - V_i(s)]. \quad (9)$$

На підставі цього рівняння можна записати передаточну функцію стрікопровідної ділянки стрічки як відношення зображень натягу до різниці (приросту) швидкостей

$$W(s) = \frac{F_i(s)}{V_{i+1}(s) - V_i(s)} = \frac{F_i(s)}{\Delta V_i(s)} = \frac{[1 - e^{-Ts}]E_c}{(Ts + 1)L_0 s}. \quad (10)$$

Отже, стрікопровідна ділянка є своєрідним інерційним об'єктом, передаточна функція якого залежить від пружних властивостей стрічки E_c , довжини ділянки стрічки L_0 та сталої часу ділянки $T = L_0 / V_1$, що визначається швидкістю роботи машини.

Одержане вище рівняння (9) записане в рекурентній формі і тому дозволяє послідовно записати систему рівнянь та знайти зміну стану натягу на ділянках стрічки стрікопровідної ділянки з n стрікопровідними парами циліндрів. Виразивши лінійну швидкість стрікопровідних циліндрів через кутову швидкість ω_0 і радіуси циліндрів $V_i = \omega_0 R_i$ та приймаючи $i = 1, 2, 3, \dots, n$, складемо систему рівнянь стрікопровідної системи:

$$\begin{aligned} TF_1(s)s + F_1(s) &= F_0(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} (R_2 - R_1)\omega_0(s) \\ TF_2(s)s + F_2(s) &= F_1(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} (R_3 - R_2)\omega_0(s) \\ TF_3(s)s + F_3(s) &= F_2(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} (R_4 - R_3)\omega_0(s) \\ &\dots \dots \dots \\ TF_i(s)s + F_i(s) &= F_{i-1}(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} (R_{i+1} - R_i)\omega_0(s) \\ &\dots \dots \dots \\ TF_n(s)s + F_n(s) &= F_{n-1}(s) + \frac{[1 - e^{-Ts}]E_0}{L_0 s} (R_n - R_{n-1})\omega_0(s) \end{aligned} \quad (11)$$

На підставі системи рівнянь (11) на рис. 2 побудована структурна схема моделі натягу рухомої стрічки в стрікопровідній системі із жорсткими зв'язками ведучих пар. Вона є зручною для аналізу та комп'ютерного симулювання.

Проаналізуємо вплив неточності виготовлення діаметрів стрічкопровідних циліндрів на натяг стрічки на ділянках. Припустимо, що діаметр другого циліндра більший за номінальний, тобто існує приріст радіуса ΔR_2 .

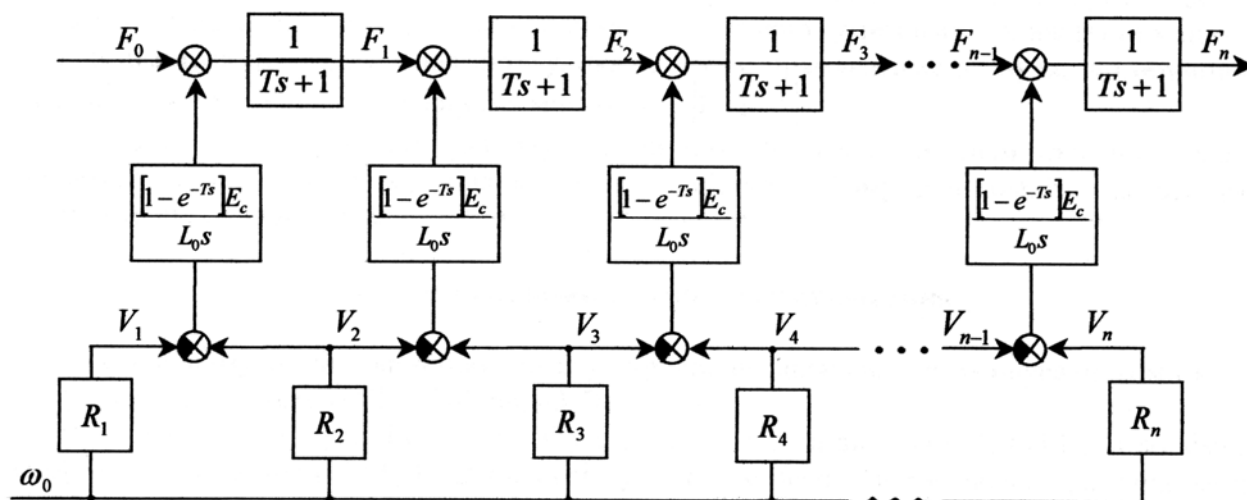


Рис. 2. Структурна схема моделі натягу рухомої стрічки в стрічкопровідній системі

На підставі структурної схеми (рис. 2) за формулою Мейсона визначимо залежність натягу стрічки на ділянках від кутової швидкості із врахуванням приросту радіуса другого циліндра для чотирьох ділянок

$$\begin{aligned}
 F_1(s) &= \frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)L_0 s} \omega_0(s) \\
 F_2(s) &= \left[\frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^2 L_0 s} - \frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)L_0 s} \right] \omega_0(s) \\
 F_3(s) &= \left[\frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^3 L_0 s} - \frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^2 L_0 s} \right] \omega_0(s) \\
 F_4(s) &= \left[\frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^4 L_0 s} - \frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^3 L_0 s} \right] \omega_0(s).
 \end{aligned} \tag{12}$$

Після перетворень:

$$\begin{aligned}
 F_1(s) &= \frac{\Delta R_2 E_c [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)L_0 s} \omega_0(s) \\
 F_2(s) &= \frac{-\Delta R_2 E_c T [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^2 L_0 s} \omega_0(s) \\
 F_3(s) &= \frac{-\Delta R_2 E_c T [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^3 L_0 s} \omega_0(s) \\
 F_4(s) &= \frac{-\Delta R_2 E_c T [1 - e^{-Ts}]}{(Ts + 1)^4 L_0 s} \omega_0(s).
 \end{aligned} \tag{13}$$

Звідси робимо висновок, що при неточному виготовленні діаметра другого циліндра тільки на першій ділянці буде приріст натягу в усталеному режимі. На наступних ділянках появлятиметься перехідна зміна натягу, яка за часом прямуватиме до нуля, що зумовлено наявністю в чисельниках цих виразів множників $[1 - e^{-Ts}]$.

Аналітичні дослідження впливу неточності виготовлення діаметрів циліндрів на динаміку натягу стрічки на ділянках є трудомістким. Тому для аналізу застосовували комп'ютерне симулювання.

Результати комп'ютерного симулювання

Для аналізу натягу динаміки натягу стрічки на ділянках застосовували комп'ютерне симулювання в пакеті MATLAB-Simulink [8].

На основі структурної схеми натягу стрічки (рис. 2) та виразів (13) і (14) за допомогою графічного редактора MATLAB-Simulink у вікні моделі побудована графічна модель стрічкопровідної системи. Виконано комп'ютерне симулювання. Задавали кутову швидкість циліндрів $\omega_0 = 112,4543154$ рад/с, лінійна швидкість стрічки $V_i = 10$ м/с, номінальні радіуси циліндрів $R_i = 83,925$ мм, приріст радіуса $\Delta R_2 = 0,01$ мм, довжина ділянки стрічки $L_0 = 5$ м, стала часу $T = 0,5$ с, модуль пружності стрічки $E_c = 5 \cdot 10^{-5}$ Нм/с² [3,7].

На рис. 3 побудовано графіки перехідних процесів натягу стрічки на ділянках при ступеневій зміні кутової швидкості. Як видно з рисунка натяг стрічки на першій ділянці в часі поступово наростає і має вигляд s-подібної кривої. Перехідний процес закінчується за 2,5 с.

Усталене значення натягу становить $F_i = 56,22$ Н. Натяг стрічки на другій ділянці поступово зменшується, досягає максимального значення і поступово прямує до нуля. Натяг стрічки на третій і четвертій ділянках є подібний до попереднього, але час досягнення максимального значення натягу збільшується. Зазначимо, що від'ємне значення натягу означає, що натяг стрічки зменшується відносно заданого значення.

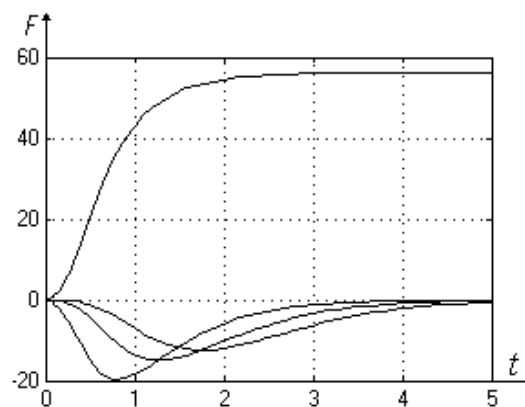


Рис. 3. Графіки перехідних процесів натягу стрічки на ділянках при ступеневій зміні кутової швидкості

Окремі значення натягу стрічки на ділянках для характерних точок наведено в таблиці. Максимальне значення натягу стрічки на ділянках відповідно становить $R_i = 83,925$; $F_3 = 14,8$; $F_4 = 12,49$ Н. Час досягнення максимального значення становить: $t_2 = 0,75$ с; $t_3 = 1,25$ с; $t_4 = 1,75$ с.

Зазначимо, що симулювання здійснювалося для середнього модуля пружності стрічки, технологічний натяг якої знаходиться в межах $200 \div 300$ Н на метр ширини [3,7]. На підставі цих даних впливає, що неточність виготовлення радіуса стрічкопровідного циліндра на $0,01$ мм викличе зміну натягу стрічки приблизно на 25 %.

Натяг стрічки в характерних точках часу

Час	Натяг стрічки на ділянках [H]			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
3T; 2,5	55,56	-2,876	-6,379	-4,471
5T; 5,0	56,22	-0,04161	-0,1947	-0,6123
∞	56,22	0	0	0
$t_{м2}$ 0,75	—	-19,86	—	—
$t_{м3}$ 1,25	—	—	-14,8	—
V_1 1,75	—	—	—	-12,49

Отже, кінематика машини, неточність виготовлення стрічкопровідних циліндрів та їх встановлення приводить до значної зміни натягу стрічки, що може привести до погіршення якості друкованої продукції та її браку.

Висновки

1. Існуючі моделі стрічкопровідних систем складені за припущення тотожності зміни відносного видовження і відносної зміни швидкості стрічки, тому недостатньо повно описують стрічкопровідні системи, що обмежує їх функціональні можливості, зокрема унеможлиблює оптимальний синтез та налагодження систем автоматичного управління ними.

2. Запропонована модель стрічкопровідної системи, в якій видовження стрічки визначається інтегруванням приросту швидкості на інтервалі часу проходження стрічки на ділянці і враховує неточності виготовлення діаметрів стрічкопровідних циліндрів на натяг стрічки.

3. Одержано аналітичні залежності натягу рухомої стрічки на ділянках від приросту радіуса циліндрів.

4. Доведено, що при неточному виготовленні даного циліндра на даній стрічкопровідній ділянці буде сталий приріст натягу, а на наступних ділянках появляється перехідна зміна натягу, яка з часом прямуватиме до нуля.

5. Результати комп'ютерного симулювання показали, що точність виготовлення діаметрів циліндрів значно впливає на натяг стрічки на ділянках і може викликати зміну натягу на окремих ділянках приблизно на 25 %, що приведе до погіршення якості друкованої продукції.

1. Дурняк Б.В. *Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Моделювання управління.* – К.: Атіка, 2002. – 292 с. 2. Митрофанов В.П., Тюрин А.А., Бирбраер Е.Г., Штолянов В.Н. *Печатное оборудование.* – М.: Издательство МГУП, 1999. – 443 с. 3. Тюрин А.А. *Печатные машины – автоматы.* – М.: Книга, 1980. – 416 с. 4. Избицкий Э.И. *Импульсное регулирование движения ленточного материала.* – М.: Энергия, 1980. – 112 с. 5. Толстой Г.Д. *Автоматизация полиграфических производственных процессов.* – М.: Книга, 1970. – 360 с. 6. Казакевич В.В., Избицкий Э.И. *Системы автоматического управления процессами.* – М.: Книга, 1978. – 340 с. 7. Чехман Я.И. *Печатные аппараты (Основы теории).* – К.: УМК ВО, 1989. – 88 с. 8. Гультияев А. *Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс.* – СПб: Питер, 2000. – 432 с.