

Б. В. Дурняк, І. М. Хмельницька

МОДЕЛЬ ЗМІЩЕННЯ ФАРБ У РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИНАХ З ВИПЕРЕДЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ЦИЛІНДРІВ ДРУКАРСЬКИХ ПАР

Розв'язана задача побудови моделі зміщення фарб у рулонних друкарських машинах з жорстким зв'язком циліндрів друкарських пар з урахуванням послідовного випередження їх швидкостей, яка обчислюється інтегруванням приросту на інтервалі часу. Наведено результати комп'ютерного симулювання.

The untied task of construction of model displacement of paints on roll printing-presses with the hard copulas cylinders of printing pairs with consideration of the successive passing their speeds, which is calculated by integration of increase on a time domain. The resulted results of computer simulation.

Зростання попиту на кольорову друковану продукцію сприяло значно ширшому розповсюдженню рулонних друкарських машин – найпростіших за конструкцією, найпродуктивніших і найперспективніших. Ротаційна будова друкарського апарата цих машин зумовлена неперервною подачею задруковуваного матеріалу у вигляді стрічки. На відміну від аркушевих друкарських рулонні машини є високоавтоматизованими електромеханічними системами, що складаються з окремих секцій, вимагають застосування складних систем керування електроприводом, автоматичного регулювання натягу й намотування стрічки, суміщення фарб та ін. [2 – 4, 13]. Підвищення вимог до якості кольорового друку зумовило створення високоефективних систем автоматичного керування, зокрема, систем автоматичного суміщення фарб та оптимального налагодження існуючих систем. Усе це потребує більш повного аналізу стрічкопровідної системи машини з урахуванням жорстких і гнучких зв'язків між друкарськими секціями, конструкційних особливостей ротаційної машини та різних впливів.

Існуючі моделі стрічкопровідних систем рулонних друкарських машин побудовані при певних припущеннях, тому є неточними, що утруднює синтез систем автоматичного керування [1 – 3, 6, 7, 10]. Моделі зміщення фарб побудовані на базі моделі деформації ділянки рухомої стрічки також при певних припущеннях [8, 10, 11] і через те неадекватно описують процес зміщення фарб, що унеможливило розрахунок механічної системи приводу ротаційної машини, зокрема, потрібної точності виготовлення друкарських циліндрів, величини випередження їх швидкостей і величини зміщення фарб, синтез систем автоматичного зміщення фарб. Вирішення даної проблеми можливе за умови розвитку адекватних моделей стрічкопровідних систем, що враховували б взаємозв'язки між механічними, технологічними та електромеханічними параметрами рулонних ротаційних друкарських машин, на підставі яких можна здійснювати розрахунки механічної частини приводу, синтез нових ефективних систем керування та налагодження існуючих.

Стрічкопровідні системи широко застосовуються в металургійній, переробній, хімічній, текстильній та інших галузях промисловості [1, 6, 7]. Математичні моделі стрічкопровідних систем побудовано при певних припущеннях, внаслідок чого натяг і деформація рухомої стрічки на ділянці наближено описуються диференціальним рівнянням першого порядку, виходячи з якого створюються математичні моделі окремих елементів та стрічкопровідної системи в цілому [1, 4, 6, 7, 10]. Перевагою цих моделей є простота. На підставі наближених моделей здійснюються аналіз динаміки стрічкопровідної системи і синтез систем автоматичного регулювання натягу стрічки у вищезгадуваних галузях, що дає задовільні результати [1, 6, 7].

Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних друкарських машин відносяться до класу прецизійних стрічкопровідних систем, особливістю яких є виконання на рухомому стрічковому матеріалі різних технологічних операцій, наприклад, фальцювання, рубання та ін. з точністю 0,03 – 0,5 мм і менше [5, 8, 10, 11, 13]. Існуючі моделі зміщення фарб і лінії фальцювання та

рубання, побудовані на підставі наближеного диференціального рівняння видовження рухомої стрічки на ділянці [8, 10, 11], неадекватні і не в повній мірі описують динаміку зміщення фарб та інших технологічних операцій. У роботах [5, 9] для докладнішого опису натягу та деформації ділянки рухомої стрічки запропоновано метод інтегрування приросту швидкості стрічки на інтервалі часу. Моделі зміщення фарб значно ідеалізовані і навіть не враховують наявності жорстких зв'язків між приводом окремих друкарських секцій, точності виготовлення діаметрів циліндрів друкарських пар, точності збирання тощо.

Побудовано повніші моделі зміщення фарб у багатофарбових рулонних друкарських машинах. Враховано жорсткі зв'язки між циліндрами друкарських пар суміжних секцій при наявності послідовного випередження їх швидкості. Виконано аналіз моделей та комп'ютерне симулювання.

Для побудови математичної моделі зміщення фарб розглянемо схему ідеалізованої стрічкопровідної системи рулонної друкарської машини (рис. 1) з урахуванням жорсткого зв'язку між стрічкопровідними циліндрами друкарських пар і приводом машини. Тут циліндри друкарських пар сполучені між собою горизонтальними і вертикальними валопроводами (умовно показано пунктирними лініями). Циліндри приводяться в рух від головного двигуна М. Стрічка з рулону поступово подається з потрібним натягом у друкарські секції циліндрами друкарських пар, на яких здійснюється технологічна операція послідовного нанесення фарб на стрічку, тобто задруковування. Для спостереження та контролю за зміщенням фарб на стрічці кожної друкарської секції додатково різними кольорами робляться контрольні мітки. При русі та друкуванні відбуваються різні дії, які викликають зміну видовження стрічки на ділянках, а отже, точність тих чи інших технологічних операцій.

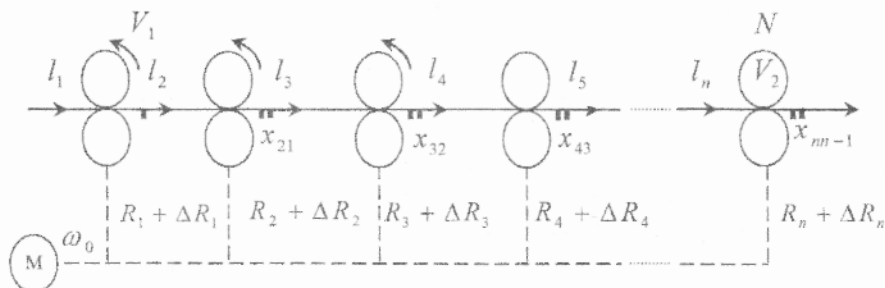


Рис.1. Схема ідеалізованої стрічкопровідної системи

На зміщення фарб впливають різні фактори, основними з яких є натяг, деформація і швидкість стрічки. Для якісного друкування потрібні сталий натяг стрічки на всіх стрічкопровідних ділянках і невелика її деформація. Внаслідок різних впливів і технологічних дій змінюється натяг, що викликає погіршення якості друкованої продукції та появу браку [2, 4, 5, 8, 9]. Для компенсації негативних впливів кінематику машини розраховують з урахуванням видовження стрічки. Для цього лінійні швидкості стрічкопровідних циліндрів друкарських пар повинні задовольняти нерівності [11, 12]

$$V_1 < V_2 < V_3 < \dots < V_n.$$

Ця умова здійснюється збільшенням діаметрів циліндрів у кожній наступній друкарській секції. Відносне значення зростання швидкості залежить від типу й товщини стрічкового матеріалу, робочої швидкості, типу машини і в практиці проектування рулонних офсетних друкарських машин знаходиться в межах 0,1 – 2% [2, 4, 11, 12].

При побудові математичної моделі робимо такі основні припущення: швидкість даної пари циліндрів більша за попередню, що забезпечується відповідним збільшенням діаметра циліндра; стрічка являє собою пружний матеріал і розтягається в межах пружної деформації; відсутнє проковзування стрічкового матеріалу в зонах контакту ведучих пар циліндрів; основними діями на ділянку стрічки є видовження та приріст швидкості стрічки на ділянці; нехтуємо вагою та аеродинамічними властивостями стрічки на ділянці.

Спочатку розглянемо зв'язок між абсолютним видовженням рухомої стрічки на ділянці, яка приводиться в рух двома парами циліндрів суміжних секцій, і швидкостями на суміжних секціях, що описується простим диференціальним рівнянням [1, 4, 8, 10]

$$T_i \frac{d\Delta L_i}{dt} + \Delta L_i = \Delta L_{i-1} + \Delta L_{0i-1} + \Delta L_{iv}, \quad (1)$$

де $\frac{\Delta L_i}{dt}$ – абсолютне видовження стрічки на i -й ділянці; ΔL_{0i-1} – абсолютне видовження стрічки, спричинене збуреннями на вході ділянки; ΔL_{iv} – видовження ділянки стрічки, викликане різницею лінійних швидкостей циліндрів суміжних друкарських секцій; T_i – стала часу ділянки.

Видовження стрічки на ділянці, спричинене приростом швидкості стрічки, визначимо інтегруванням його на інтервалі часу [5, 9]:

$$\Delta L_{vi} = \int_0^T [V_{i+1} - V_i] dt. \quad (2)$$

Підставивши вираз (2) у вираз (1), одержимо диференціальне рівняння видовження рухомої стрічки на довільній ділянці:

$$T_i \frac{d\Delta L_i}{dt} + \Delta L_i = \Delta L_{i-1} + \Delta L_{0i-1} + \int_0^T [V_{i+1} - V_i] dt. \quad (3)$$

Зауважимо, що права частина цього рівняння суттєво відрізняється від правої частини відомих рівнянь натягу та деформації ділянки стрічки. Для зручності запису й подальшого аналізу упустимо знак приросту Δ і подамо рівняння (3) в операторній формі запису:

$$T_i l_{i(s)} s + l_i(s) = l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s) + \frac{1 - e^{-T_i s}}{s} [V_{i+1}(s) - V_i(s)] \quad (4)$$

Зміни $l_i(s)$ та l_{i-1} є зображеннями відповідних змінних, а вираз $\frac{1 - e^{-T_i s}}{s}$ відповідає зображенню інтегрування різниць швидкостей на інтервалі часу $[0, T_i]$. Винісши $l_i(s)$ за дужки, одержимо рівняння

$$[T_i s + 1] l_i(s) = l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s) + \frac{1 - e^{-T_i s}}{s} [V_{i+1}(s) - V_i(s)] \quad (5)$$

Розв'язок даного рівняння в операторній формі запису матиме вигляд

$$l_i(s) = \frac{1}{T_i s + 1} [l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s)] + \frac{1 - e^{-T_i s}}{(T_i s + 1)s} [V_{i+1}(s) - V_i(s)]. \quad (6)$$

Як уже зазначалося, для гарантованого натягу стрічки на ділянці в рулонних ротаційних друкарських машинах необхідне послідовне випередження швидкості циліндрів, яке здійснюється за рахунок поступового збільшення діаметрів стрічкопровідних пар циліндрів [11, 12]. Виразимо лінійну швидкість циліндрів через кутову швидкість і діаметри циліндрів:

$$V_i = \omega_0 R_i, \quad (7)$$

де R_i, ω_0 – радіус і кутова швидкість циліндрів.

Підставивши значення швидкості у вираз (6), одержимо

$$l_i(s) = \frac{1}{T_i s} [l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s)] + \frac{1 - e^{-T_i s}}{(T_i s + 1)s} [R_{i+1} - R_i] \omega_0(s). \quad (8)$$

Це рівняння записане в рекурентній формі, тому дозволяє послідовно визначити стан видовження рухомої стрічки на ділянках у стрічкопровідній системі. Приймаючи послідовно $i=1,2,3,\dots,n$, одержимо:

$$\begin{aligned} l_2(s) &= \frac{1}{T_1s+1} [l_1(s) + l_{01}(s)] + \frac{1-e^{-T_1s}}{(T_1s+1)s} (R_2 - R_1)\omega_0(s); \\ l_3(s) &= \frac{1}{T_2s+1} [l_2(s) + l_{02}(s)] + \frac{1-e^{-T_2s}}{(T_2s+1)s} (R_3 - R_2)\omega_0(s); \\ l_4(s) &= \frac{1}{T_3s+1} [l_3(s) + l_{03}(s)] + \frac{1-e^{-T_3s}}{(T_3s+1)s} (R_4 - R_3)\omega_0(s); \\ l_i(s) &= \frac{1}{T_{i-1}s+1} [l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s)] + \frac{1-e^{-T_{i-1}s}}{T_{i-1}s+1} (R_i - R_{i-1})\omega_0(s); \\ l_n(s) &= \frac{1}{T_{n-1}s+1} [l_{n-1}(s) + l_{0n-1}(s)] + \frac{1-e^{-T_{n-1}s}}{T_{n-1}s+1} (R_n - R_{n-1})\omega_0(s). \end{aligned} \quad (9)$$

Маючи рекурентні вирази видовження стрічки на ділянках, можна визначити зміщення фарб на суміжних друкарських секціях інтегруванням різниць видовжень ділянки стрічки, зміщеної на час проходження її між друкарськими секціями [8, 10, 11]. Коли на вході ділянки відбулося видовження стрічки ΔL_{i-1} , то приріст швидкості ΔV , зумовлений збільшенням діаметрів циліндрів суміжних друкарських секцій та зміщенням фарб, можна визначити підсумовуванням зміщень фарб, викликаних видовженням і приростом діаметрів.

$$x_{i+1}(s) = \left[\frac{1}{T_is+1} - e^{-T_{0i}s} \right] \frac{1}{T_{0i}s} [l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s)] + \frac{1-e^{-T_is}}{s} \left[\frac{1}{T_is+1} - e^{-T_{0i}s} \right] \frac{1}{T_{0i}s} (R_{i+1} - R_i)\omega_0(s), \quad (10)$$

де T_{0i} – час проходження контрольної мітки між суміжними ділянками.

На підставі виразу (10) з урахуванням (9) одержимо рекурентні залежності зміщення фарб на суміжних секціях при прирості видовження та швидкості на першій ділянці, спричиненому збільшенням радіусів циліндрів друкарських секцій.

$$\begin{aligned} x_{21}(s) &= \left[\frac{1}{T_1s+1} - e^{-T_{01}s} \right] \frac{1}{T_{01}s} [l_1(s) + l_{01}(s)] + \frac{1-e^{-T_1s}}{s} \left[\frac{1}{T_1s+1} - e^{-T_{01}s} \right] \frac{1}{T_{01}s} (R_2 - R_1)\omega_0(s); \\ x_{32}(s) &= \left[\frac{1}{T_2s+1} - e^{-T_{02}s} \right] \frac{1}{T_{02}s} [l_2(s) + l_{02}(s)] + \frac{1-e^{-T_2s}}{s} \left[\frac{1}{T_2s+1} - e^{-T_{02}s} \right] \frac{1}{T_{02}s} (R_3 - R_2)\omega_0(s); \\ x_{43}(s) &= \left[\frac{1}{T_3s+1} - e^{-T_{03}s} \right] \frac{1}{T_{03}s} [l_3(s) + l_{03}(s)] + \frac{1-e^{-T_3s}}{s} \left[\frac{1}{T_3s+1} - e^{-T_{03}s} \right] \frac{1}{T_{03}s} (R_4 - R_3)\omega_0(s); \\ x_{i+1,i}(s) &= \left[\frac{1}{T_is+1} - e^{-T_{0i}s} \right] \frac{1}{T_{0i}s} [l_{i-1}(s) + l_{0i-1}(s)] + \frac{1-e^{-T_is}}{s} \left[\frac{1}{T_is+1} - e^{-T_{0i}s} \right] \frac{1}{T_{0i}s} (R_{i+1} - R_i)\omega_0(s); \\ x_{n,n-1}(s) &= \left[\frac{1}{T_ns+1} - e^{-T_{0n}s} \right] \frac{1}{T_{0n}s} [l_{n-1}(s) + l_{0n-1}(s)] + \frac{1-e^{-T_ns}}{s} \left[\frac{1}{T_ns+1} - e^{-T_{0n}s} \right] \frac{1}{T_{0n}s} (R_n - R_{n-1})\omega_0(s). \end{aligned} \quad (11)$$

Зміщення фарб залежить від бази, відносно якої воно вимірюється. Якщо визначається зміщення фарб на суміжних друкарських секціях, то це здійснюється безпосередньо за рекурентною системою рівнянь (11). Коли вимірюється зміщення всіх фарб відносно першої, що прийнята за базову, то його можна визначити підсумовуванням зміщення на всіх попередніх друкарських секціях з урахуванням часу переміщення мітки до розглядуваних секцій [8,10,11]:

$$x_{k1} = x_{k,k-1}(t) + x_{k-1}(t - T_{ok1}). \quad (12)$$

Застосувавши операторну форму запису з (12), одержимо вирази зміщення фарб відносно першої друкарської секції (першої фарби):

$$\begin{aligned} x_{31}(s) &= x_{32}(s) + x_{21}(s)e^{-T_{02}s}; \\ x_{41}(s) &= x_{43}(s) + x_{31}(s)e^{-T_{03}s}; \\ x_{51}(s) &= x_{54}(s) + x_{41}(s)e^{-T_{04}s}; \\ x_{k1}(s) &= x_{k,k-1}(s) + x_{k-1,1}(s)e^{-T_{k}s}. \end{aligned} \quad (13)$$

На підставі викладеного за виразами (9), (11) та (13) побудована розгорнута структурна схема моделі (рис. 2) зміщення фарб у багатофарбових рулонних друкарських машинах при наявності дії збурень видовження стрічки на входах ділянки при різних діаметрах циліндрів друкарських пар за умови, що довжини ділянок стрічок однакові (тоді і всі сталі часу будуть однакові ($T_i = T, T_{0i} = T_0$)). Така схема є наочною і зручною для аналізу та комп'ютерного симулювання.

Проаналізуємо залежність зміщення фарб на стрічці, викликаного послідовним збільшенням діаметрів циліндрів друкарських секцій (випередженням швидкості). Для цього за структурною схемою на підставі топологічної формули Мезона [10] запишемо залежність зміщення фарб після другої друкарської секції від кутової швидкості, спричиненого збільшенням радіуса R_2 :

$$x_{21}(s) = \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s} \left[\frac{1}{T_0 s + 1} - e^{-T_0 s} \right] \frac{1}{T_0 s} (R_2 - R_1) \omega_0. \quad (14)$$

Прийнявши кутову швидкість $\omega_0 = V_1 / R_1$, а час проходження стрічки на відстані L_0 між друкарськими секціями $T = L_0 / V_1$, після підстановки одержимо

$$x_{21}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \left[\frac{1}{Ts + 1} - e^{-Ts} \right] \frac{V_1^2}{L_0} \beta_{21}(s). \quad (15)$$

Коефіцієнт β_{21} , так званий коефіцієнт випередження швидкості пар циліндрів другої друкарської секції відносно першої, визначаємо за формулою

$$\beta_{21} = \frac{R_2 - R_1}{R_1}. \quad (16)$$

Якщо коефіцієнт $\beta_{21} = 0$, то швидкість пар циліндрів обох друкарських секцій є однаковою, і тому на стрічці відсутнє зміщення фарб, спричинене випередженням. Але в даному випадку не можна забезпечити гарантованого натягу на ділянці при наявності збурень, наприклад, при зволоженні або сушінні стрічки, що викличе зміщення фарб. Якщо коефіцієнт випередження $\beta_{21} \leq 0$, то не матимемо гарантованого натягу стрічки на ділянці й можливі поява зморшок та провисання, що призведе до браку задрукованої стрічки.

Подібне зміщення фарб на стрічці спостерігається на виході третьої друкарської секції при випередженні β_{31} :

$$x_{32}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s(Ts + 1)} \left[\frac{1}{Ts + 1} - e^{-Ts} \right] \frac{V_1^2}{L_0} \beta_{21}(s) - \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \left[\frac{1}{Ts + 1} - e^{-Ts} \right] \frac{V_1^2}{L_0} \beta_{21}(s). \quad (17)$$

Після перетворень

$$x_{32}(s) = -\frac{1 - e^{-Ts}}{s} \left[\frac{1}{Ts + 1} - e^{-Ts} \right] \frac{V_1^2 Ts}{(Ts + 1)L_0} \beta_{21}(s). \quad (18)$$

Наявність у чисельнику множника TS означає, що при випередженні β_{21} зміщення фарби x_{32} є тільки динамічним, тимчасове зміщення фарб з часом затухає до нуля.

Аналогічно визначимо зміщення фарби на стрічці на виході четвертої друкарської секції при випередженні β_{21} :

$$x_{43}(s) = \frac{1-e^{-Ts}}{s(Ts+1)^2} \left[\frac{1}{Ts+1} - e^{-T_0s} \right] \frac{V_1^2}{L_0} \beta_{21}(s) - \frac{1-e^{-Ts}}{s(Ts+1)} \left[\frac{1}{Ts+1} - e^{-T_0s} \right] \frac{V_1^2}{L_0} \beta_{21}(s). \quad (19)$$

Після перетворень

$$x_{43}(s) = -\frac{1-e^{-Ts}}{s} \left[\frac{1}{Ts+1} - e^{-T_0s} \right] \frac{V_1^2 Ts}{(Ts+1)^2 L_0} \beta_{21}(s). \quad (20)$$

Присутність у чисельнику множника TS означає, що при випередженні β_{21} зміщення фарб x_{43} також є тільки динамічним, а тимчасове зміщення з часом затухає до нуля.

Так само можна визначити аналітичні залежності зміщення фарб на стрічці при наявності випередження швидкості на інших парах циліндрів друкарських секцій, а також вплив неточності виготовлення діаметрів циліндрів, їх встановлення в опорах тощо.

Як видно із залежностей (15), (17), (20) та інших, аналітичне вивчення динаміки зміщення фарб на стрічковому матеріалі шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь чи на підставі топологічної формули Мезона є трудомістким, тому для дослідження застосовано комп'ютерне моделювання в найбільш популярному середовищі MATLAB-Simulink [3]. На підставі системи рівнянь (11) і (13) та структурної схеми моделі зміщення фарб за допомогою графічного редактора Simulink у вікні моделі побудовано графічну модель зміщення фарб у багатофарбовій рулонній друкарській машині. Проведено комп'ютерне моделювання впливу послідовного випередження швидкості циліндрів друкарських пар на зміщення фарб. При комп'ютерному моделюванні задавалися такі параметри: комп'ютерна лінійна швидкість стрічки $V = 10 \text{ м/с}$; номінальний радіус циліндрів друкарських пар $R = 88,925 \text{ мм}$; послідовні прирости радіусів $\Delta R = 0,01 \text{ мм}$; стала часу ділянки стрічки $T = 0,2 \text{ с}$; час проходження контрольної мітки між суміжними ділянками $T_0 = 0,5 \text{ с}$. Метою комп'ютерного моделювання була побудова перехідних характеристик зміщення фарб на різних друкарських секціях і їх аналіз. Результати комп'ютерного моделювання у вигляді першої серії перехідних характеристик зміщення фарб на суміжних друкарських секціях при послідовному випередженні швидкості, зумовлені послідовним збільшенням радіусів на величину $\Delta R = 0,01 \text{ мм}$, наведено на рис. 3.

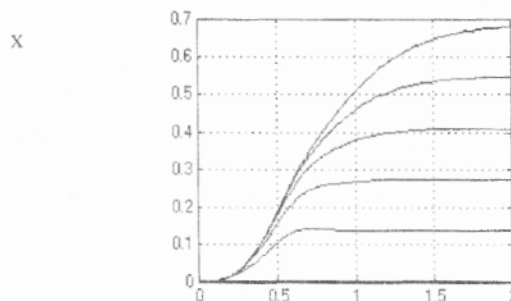


Рис. 3. Перехідні характеристики зміщення фарб на суміжних друкарських секціях

Як бачимо, перехідні характеристики зміщення фарб на суміжних друкарських секціях мають S-подібний вигляд. Зміщення фарб спочатку зі зростаючою швидкістю збільшується і плавно досягає усталеного значення, що залежить від розташування друкарської секції й знаходиться в межах 0,135–0,699 мм. Час перехідного процесу також залежить від розміщення дру-

карської секції і перебуває в межах 0,70–2,15 с. Окремі значення зміщення фарб в усталеному режимі наведено в таблиці.

ЗМІЩЕННЯ ФАРБ В УСТАЛЕНОМУ РЕЖИМІ ПРИ ВИПЕРЕДЖЕННІ ШВИДКОСТІ ($\Delta R = 0,01$ мм)

Параметри	Зміщення фарб (у міліметрах) і час перехідного процесу t_{nn}				
	x_{21}	x_{32}	x_{43}	x_{54}	x_{65}
$x(\infty)$	0,135	0,2125	0,4072	0,0405	0,699
t_{nn}	0,70	1,25	1,40	1,80	2,15
$x(\infty)$	0,135	0,405	0,8010	1,35	2,025
t_{nn}	0,70	1,25	1,57	2,25	2,57

Результати комп'ютерного симулювання у вигляді другої серії перехідних характеристик зміщення фарб відносно першої друкарської секції при послідовному випередженні швидкостей, зумовленого послідовним приростом радіусів на величину $\Delta R = 0,01$ мм, графічно зображено на рис.4.

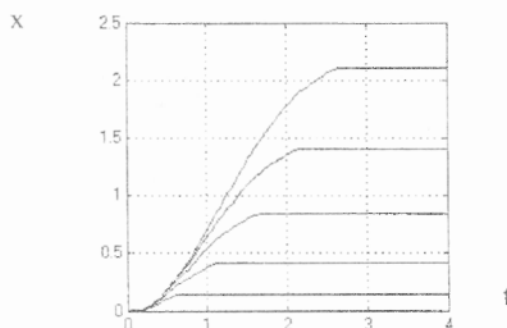


Рис. 4. Перехідні характеристики зміщення фарб відносно першої друкарської секції

Перехідні характеристики зміщення фарб відносно першої друкарської секції мають S-подібний вигляд. Зміщення фарб спочатку збільшується з наростаючою швидкістю і плавно досягає усталеного значення, яке залежить від розташування друкарської секції і знаходиться в межах 0,135–2,57 мм. Час перехідного процесу залежить від розміщення друкарської секції і перебуває в межах 0,70–2,57 с. Окремі значення зміщення фарб в усталеному режимі і час перехідного процесу t_{nn} містяться в таблиці.

Як бачимо, процес зміщення фарб у рулонних ротаційних машинах є своєрідним інерційним об'єктом регулювання. При випередженні швидкості циліндрів, необхідних для забезпечення гарантованого натягу стрічки на ділянках при наявності збурень, спостерігається зміщення фарб, яке послідовно наростає і потребує компенсації регулюючими впливами на стрічкопровідну систему.

Отже, з вищевикладеного випливає:

1. Існуючі моделі стрічкопровідних систем і моделі зміщення фарб побудовані при припущенні тотожності зміни відносного видовження стрічки на ділянці і відносної зміни швидкості, тому недостатньо описують динаміку стрічкопровідної ділянки, що обмежує їх функціональні можливості та робить недопустимими оптимальний синтез і налагодження системи автоматичного суміщення фарб у багатокольорових рулонних ротаційних машинах.

2. Запропоновано модель зміщення фарб у багатокольорових рулонних ротаційних друкарських машинах, де видовження стрічки на ділянці визначається інтегруванням приросту

швидкості на інтервалі часу проходження стрічки ділянкою і враховує послідовне випередження швидкості циліндрів, зумовлене поступовим збільшенням їх діаметрів.

3. Одержано аналітичні залежності зміщення фарб від випередження швидкості циліндрів друкарських пар для різних баз вимірювання зміщення.

4. Доведено, що зміщення фарб відносно випередження швидкості є своєрідним інерційним об'єктом, а усталене зміщення фарб залежить від місця розташування друкарської секції й послідовно збільшується від секції до секції.

5. Побудовані математичні та графічні моделі в середовищі MATLAB – Simulink дозволяють шляхом комп'ютерного симулювання визначати величину зміщення фарб для різного випередження швидкості.

6. Одержані моделі можна застосовувати для синтезу систем автоматичного зміщення фарб у рулонних ротаційних багатофарбових друкарських машинах та їх налагодження.

1. Быстров А. М., Глазунов В. Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности. М., 1977. 2. Гуляев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс. СПб., 2000. 3. Волощак І. А., Стрепко І. Т. Автоматизований електропривод поліграфічних машин: Підручник. Львів, 1998. 4. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Моделювання управління. К., 2002. 5. Толстой Г. Д. Автоматизация полиграфических производственных процессов. М., 1970. 6. Егоров В. Н., Шостаков В. М. Динамика систем электропривода. Л., 1983. 7. Иванов Г. М., Левин Г. М., Хуторецкий В. М. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока. М., 1978. 8. Казакевич В. В., Избицкий Э. И. Системы автоматического управления процессами. М., 1978. 9. Луцків І. М. Аналіз впливу неточності виготовлення діаметрів стрічкопровідних циліндрів на натяг стрічки в рулонних ротаційних машинах // Автоматизація: 36. наук. пр. НУ «Львівська політехніка». Львів, 2004. 10. Луцків М. М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами. Львів, 2000. 11. Митрофанов В. П., Тюрин А. А., Бирбраер Е. Г., Штоляков В. Н. Печатное оборудование. М., 1999. 12. Митрофанов В. П. Точностные требования к многокрасочным машинам и печатным материалам // Полиграфия. 1979. №9. С. 23 – 24. 13. Дурняк Б. В., Луцків І. М. Модель видовження рухомої стрічки в стрічкопровідних системах з випередженням швидкості ведучих пар рулонних ротаційних машин // Електроенергетичні та електромеханічні системи: Вісник НУ «Львівська політехніка». 2004. №511. С. 33 – 40.