

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУМІЩЕННЯ ФАРБ ПРИ ГАРМОНІЧНІЙ ЗМІНІ НАТЯГУ ПАПЕРОВОЇ СТРІЧКИ РУЛОННОЇ РОТАЦІЙНОЇ МАШИНИ

**Abstract.** The accuracy of the process of combining paints in multi-color roller rotary machines for the case of harmonic or close to them fluctuations of paper tape tension is investigated. The amplitude and frequency characteristics of the paint combination channels on the first general base label and the current base label are determined. It is shown that it is expedient to consider the last label as a base, because it is printed in the absence of fluctuations in the tension of the tape. In this case, it is necessary to control the phases of those form cylinders that feed the paper tape to the adjustable areas.

**Постановка проблеми.** Точність суміщення фарб високошвидкісних рулонних ротаційних машин виступає одним з визначальних факторів якості друкованої продукції. Стрічкопровідні циліндри і робочі органи друкарських машин (форми і друкарські циліндри, ротаційні ножі, перфоратори) можуть мати неузгоджений рух внаслідок люфтів, пружних коливань, зношування кінематичних пар і т. п. Це призводить до зміщення технологічних операцій у випадку незалежного приводу окремих механізмів. В результаті порушується відповідність між положенням рухомої стрічки з віддрукованим на ній зображенням відносно робочих механізмів машини в кожний певний момент часу [1, 3]. Аналіз та оцінка тих чи інших впливів на зміщення фарб вимагає складних експериментальних досліджень, затрат часу, виміральної апаратури і коштів. Тому більш ефективним дослідженням складних технологічних процесів є комп'ютерне симулювання [2, 6, 7] на основі адекватних моделей елементів стрічкопровідних систем.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Стрічкопровідна система є основним об'єктом керування рулонної ротаційної машини [2, 4]. При такому підході достатньо встановити залежність зміщення фарб регулюючої дії і основного збурення, а всі інші дії на об'єкт розглядати як збурення на об'єкт [1, 2]. В системі основним збуренням виступає відносне видовження стрічки між сусідніми друкарськими секціями машини. Регулююча дія на об'єкт може здійснюватися за допомогою реєстрового валика або механізму повороту формного циліндра (фазою формного циліндра). Тому і структурні схеми та відповідні їм математичні моделі схем зміщення кольорів будуть різними [2].

---

<sup>1</sup> University of Warmia and Mazury Olsztyn, Poland

<sup>2</sup> Українська академія друкарства, Львів

Системи автоматизованого управління суміщення фарб дозволяють здійснювати динамічну корекцію процесу поєднання фарб на відбитках в режимі «on-line» під час друкування накладу, не виймаючи відбиток з машини і без безпосередньої участі друкаря. Вимірювальні елементи можуть встановлюватися або на виході кожної друкарської секції, або за останньою. Механічні властивості безперервної паперової стрічки суттєво впливають на якість рулонного друку. Тому як об'єкт керування розглядається стрічкопровідна система багатофарбової рулонної друкарської машини

**Мета статті** – дослідження амплітудних характеристик та частотних властивостей каналів суміщення фарб по першій загальній базовій мітці та поточній базовій мітці при гармонійній зміні натягу паперової стрічки

### Виклад основного матеріалу досліджень.

Гармонійні зміни натягу паперової стрічки обумовлені биттям рулону, яке проявляє себе на частоті його розмотування  $\omega_{p,e_1} = V_p^* / \rho$  (за наявності ексцентриситету  $e_1$ ) і подвоєній частоті  $\omega_{p,e_2} = 2V_p^* / \rho$  (за наявності овальності  $e_2$ ). Знайдемо реакції процесу суміщення фарб на комбіновану вхідну дію, що є сумою ступінчастої зміни відносного видовження стрічки на номінальну величину  $\Delta\varepsilon_0^*$  і гармонійною складовою з 40%-ною амплітудою і частотою розмотування рулону, тобто

$$\Delta\varepsilon_0(t) = \Delta\varepsilon_0^* \cdot 1(t) \cdot \sin(\omega_p \cdot t) \quad (1)$$

де  $\omega_p = V_p^* / \rho$  – кутова частота розмотування рулону.

Запишемо вираз для вхідного сигналу:  $\Delta\varepsilon_0(p) = \frac{\Delta\varepsilon_0^*}{p} + A_{\varepsilon_0} \cdot \frac{\omega_p}{p^2 + \omega_p^2}$  і

визначимо реакцію процесу суміщення фарб, як зворотне перетворення Лапласа від операторного виразу:  $s_{i+1,i}(t) = L^{-1} \left[ W_{\Delta\varepsilon_0 s_{i+1,i}}(p) \cdot \Delta\varepsilon_0(p) \right]$ .

Передавальні функції суміщення фарб по каналах « $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{i+1,i}$ » ( $i = 1, 2, 3$ ) описуються виразами

$$W_{\Delta\varepsilon_0 \Delta s_{21}}(p) = k_\varepsilon \cdot \left( \frac{1 - e^{-pT_i}}{Tp} - \frac{1}{Tp+1} \right), \quad (2)$$

$$W_{\Delta\varepsilon_0 \Delta s_{32}}(p) = k_\varepsilon \cdot \left( \frac{1 - e^{-pT_i}}{Tp} - \frac{1}{Tp+1} \right) \cdot \frac{1}{Tp+1}, \quad (3)$$

$$W_{\Delta\varepsilon_0 \Delta s_{43}}(p) = k_\varepsilon \cdot \left( \frac{1 - e^{-pT_i}}{Tp} - \frac{1}{Tp+1} \right) \cdot \frac{1}{(Tp+1)^2}. \quad (4)$$

На рис. 1 показані відносні перехідні характеристики  $\overline{s_{i+1,i}}(t) = s_{i+1,i} / (k_\varepsilon \Delta \varepsilon_0^*)$  процесу суміщення фарб по поточній сусідній мітці з врахуванням гармонійної дії при швидкості друку  $V_p^* = 2\text{ м/с}$  і початковому радіусі ролону  $\rho_0 = 0,5\text{ м}$ .

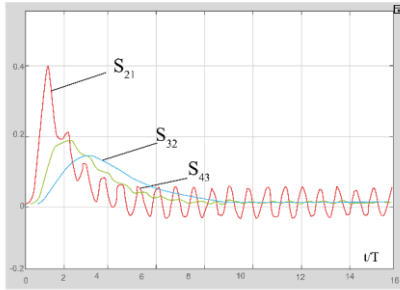


Рис. 1. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по сусідній мітці за наявності гармонійної складової

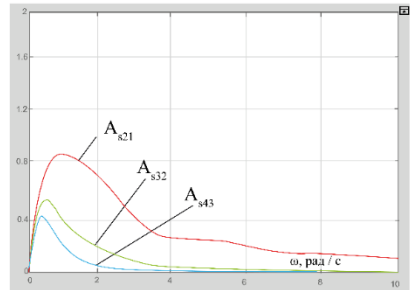


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики процесу суміщення фарб по сусідній мітці

Найбільша відносна амплітуда сталих коливань спостерігається по другій фарбі: Величина цієї амплітуди складає приблизно близько 10% від максимального піку. В абсолютних одиницях це складає величину  $A_{s_{21}} = 0,04 \cdot k_\varepsilon \Delta \varepsilon_0^* = 0,1\text{ мм}$ . По третій  $s_{32}(t)$  і четвертій  $s_{43}(t)$  фарбі вплив гармонійних коливань не значний.

Знайдемо амплітудно-частотні характеристики процесу суміщення фарб по поточних сусідніх мітках

$$A_{s_{i+1,i}}(\omega) = \left| W_{\Delta \varepsilon_0 s_{i+1,i}}(j \cdot \omega) \right|. \quad (5)$$

Графіки цих характеристик представлені на рис.2. Якщо на вході діють гармонійні коливання відносного видовження  $A_\varepsilon = 0,4 \cdot \varepsilon_0^* = 2,83 \cdot 10^{-4}$ , то в результаті виходять наступні значення амплітуд сталих коливання суміщення фарб:  $A_{s_{21}}^{ycm} = 0,44 \cdot 2,83 \cdot 10^{-4} = 0,125\text{ мм}$ ,  $A_{s_{32}}^{ycm} = 0,055 \cdot 2,83 \cdot 10^{-4} = 0,015\text{ мм}$  і  $A_{s_{43}}^{ycm} = 0,007 \cdot 2,83 \cdot 10^{-4} = 0,0002\text{ мм}$ . Таким чином, ми визначили, що амплітуда сталих коливань по поточних сусідніх фарбах зменшується майже в 10 разів по кожній фарбі. Розраховані значення амплітуд коливань узгоджуються з результатами моделювання перехідних характеристик, показаних на рис.7.

Розглянемо відносні логарифмічні частотні характеристики процесу суміщення фарб, прологарифмувавши вираз (5) для амплітудно – частотної характеристики. В результаті отримаємо залежність:

$$\bar{L}_{s_{i+1,j}}(\bar{\omega}) = 20 \cdot \log(A_{s_{i+1,j}}(\bar{\omega}) / k_{\varepsilon}), \quad (6)$$

де  $\bar{\omega} = \omega \cdot T$  - відносна частота.

На рис.3 представлені графіки ЛАЧХ процесу суміщення фарб по сусідніх поточних мітках. Ми бачимо, що даний динамічний процес має властивості безперервних смугових фільтрів з частотами фільтрації: 0,3рад/с по каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{43}$  » 0,7рад/с по каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{32}$  » і 1рад/с по каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{21}$  ». В області низьких частот ЛАЧХ даних фільтрів мають однаковий нахил +20дБ/дек, а в області високих частот, вони мають відповідно нахили: -20дБ/дек для каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{21}$  » -40дБ/дек для каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{32}$  » і -60дБ/дек для каналу «  $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{43}$  ».

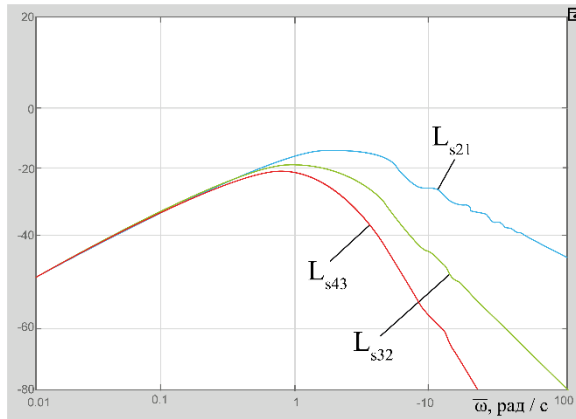


Рис.3. Логарифмічні амплітудно-частотні характеристики процесу суміщення фарб по поточній сусідній мітці

Передавальні функції каналів суміщення фарб по першій базовій мітці мають вигляд:

$$W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{31}}(p) = W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{32}}(p) + W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{21}}(p) \cdot e^{-Tp}, \quad (7)$$

$$W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{41}}(p) = W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{43}}(p) + W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{32}}(p) \cdot e^{-Tp} + W_{\Delta\varepsilon_0\Delta s_{21}}(p) \cdot e^{-2Tp} \quad (8)$$

На рис.4 показані перехідні характеристики процесу суміщення фарб за наявності гармонійної складової, коли похибки суміщення фарб визначаються по першій поточній базовій мітці. На виходах каналів суміщення фарб в даному процесі відбуваються вимушені коливання приблизно однакової амплітуди. Причиною такого результату є обрання за базу виміру мітки першої фарби, у яких відбуваються вимушені коливання з найбільшою амплітудою.

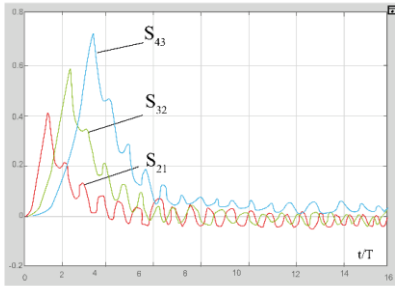


Рис.4 Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по першій поточній базовій мітці за наявності гармонійної складової

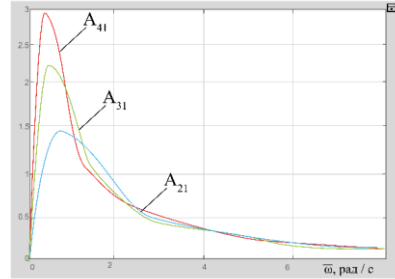


Рис.5. Амплітудно-частотні характеристики процесу суміщення фарб по першій поточній базовій мітці

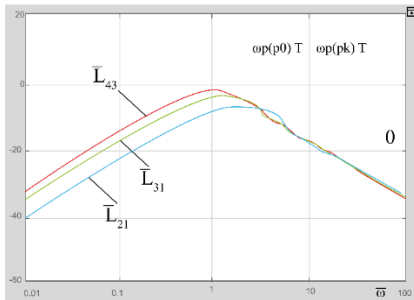


Рис.6. Відносні ЛАЧХ процесу суміщення фарб по поточній базовій мітці

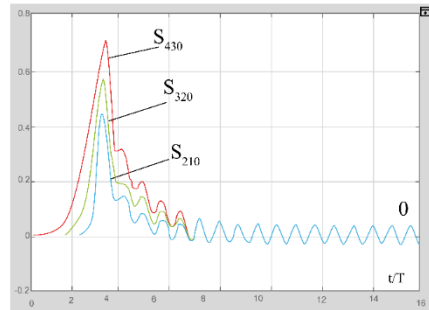


Рис.7. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по першій загальній базовій мітці за наявності гармонійної складової

На рис. 5 і 6 представлені АЧХ та ЛАЧХ каналів суміщення фарб по першій поточній базовій мітці. Дані характеристики показують, що канали суміщення фарб « $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{21}$ », « $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{31}$ », « $\Delta\varepsilon_0 \rightarrow s_{41}$ » по першій поточній базовій мітці мають властивості смугових фільтрів з відносною частотою фільтрації  $\bar{\omega} = 1$ . Логарифмічні характеристики мають зміщені відносно один одного низькочастотні складові з нахилом  $+20\text{дБ/дек}$  і одну загальну високочастотну асимптоту з нахилом  $-20\text{дБ/дек}$ . На частоті розмотування рулону при початковому радіусі  $\omega_{p0} = V_p^* / \rho_0$  дані характеристики мають значення  $-18\text{дБ}$ , а при кінцевому радіусі  $\omega_{pk} = V_p^* / \rho_k$  близько  $-30\text{дБ}$ . Знаходимо перехідні і частотні характеристики каналів суміщення фарб по першій загальній базовій фарбі. В цьому випадку їх передавальні функції мають вигляд:

$$W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{210}}(p) = W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{21}}(p) \cdot e^{-2Tp}, \quad (9)$$

$$W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{310}}(p) = W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{31}}(p) \cdot e^{-Tp}, \quad (10)$$

$$W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{410}}(p) = W_{\Delta\epsilon_0\Delta s_{41}}(p). \quad (11)$$

## Висновки

Показано, що проходження через ланку чистого запізнювання не змінює вигляд амплітудних характеристик, а частотні властивості каналів суміщення фарб по першій загальній базовій мітці будуть такими ж, як в каналів з результатом похибок суміщення фарб по першій базовій поточній мітці.

Перехідні характеристики суміщення фарб по першій загальній базовій фарбі за наявності гармонійної складової показують, що найбільші похибки суміщення фарб спостерігаються у момент часу рівний трьом постійним часу  $T$ . Загальний час встановлення реакції суміщення фарб складає приблизно  $10T$ . Вимушені коливання похибок суміщення фарб по всіх секціях однакові. З точки зору якості і точності вимірювання спосіб визначення похибок по загальній базовій мітці пріоритетний. Проте вибір першої мітки як базової невдалий, оскільки при цьому амплітуда вимушених коливань суміщення фарб однаково велика по всіх каналах.

Як базову доцільно розглядати останню мітку, оскільки вона друкується практично за відсутності коливань натягу стрічки. В цьому випадку необхідно здійснювати керування фазами тих формних циліндрів, що подають паперову стрічку на регульовані ділянки. Крім того, базова мітка може наноситися всередині машини на другій або третій друкарських секціях. В цьому випадку управління фазами попередніх фарб здійснюється формними циліндрами, що подають стрічку, а керування фазами подальших друкарських секцій здійснюється вивідними формними циліндрами. Це необхідно враховувати забезпечення оптимального керування.

1. Дурняк Б.В., Тимченко О.В. Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами – К.: Вид. центр „ПРОСВІТА”, 2003. – 232 с.
2. Луцків М.М., Хмельницька І.М. Математичне моделювання і комп’ютерне симулювання електромеханічних та стрічкопровідних систем – Львів: Вид-во УАД, 2010. – 172 с.
3. Казакевич В.В., Избицкий Э.И. Системы автоматического управления полиграфическими процессами – М.: Книга, 1978. – 342 с.
4. Тимченко О., Шевчук О. Математичне моделювання стрічкопровідних систем рулонних ротаційних машин // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України.. – К., 2017. – Вип. 80. – С. 188-195.
5. Кам’яничин І., Тимченко О., Вовк А., Шевчук О. Аналіз і дослідження системи автоматичного регулювання суміщення фарб // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.67. – К.: 2013. – С.178-184.
6. Поргинец С. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB / С. Поргинец. – Горячая Линия – Телеком. 2003. – 592 с.

7. Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Розв'язання задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB: Навчальний посібник. – Львів: ДУ “Львівська політехніка”, 2000. – 166 с.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3859691>

*Поступила 19.09.2019р.*

УДК 004.272.26

В.В. Душеба, Київ

## **ОРГАНІЗАЦІЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА В СИСТЕМАХ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

**Abstract.** The paper proposes the principles of organizing a specialized system of interprocessor exchanges in parallel information processing systems that allow you to develop a method for addressless data transmission in separate words, with hardware synchronization of each individual word, which is the basis for obtaining a significant increase in acceleration.

### **Вступ**

Коло завдань, що вимагають для свого рішення застосування високопродуктивних обчислювальних ресурсів, сьогодні ще більш розширилося. Це пов'язано з тим, що відбулися фундаментальні зміни в самій організації наукових досліджень. Внаслідок прогресивного розвитку обчислювальної техніки значно посилюється напрям чисельного моделювання і чисельного експерименту. Стало можливим моделювати в реальному часі процеси інтенсивних фізико-хімічних і ядерних реакцій, глобальні атмосферні процеси, процеси економічного і промислового розвитку і т.д. Очевидно, що рішення таких масштабних завдань вимагає значних обчислювальних ресурсів [1].

Розширення кола завдань вимагає розширення типів і різновидів багатопроцесорних систем. Проте, при цьому залишаються цілі класи завдань, які взагалі не можуть бути реалізовані навіть на сучасних найпотужніших суперкомп'ютерних системах.

### **Організація мережі обміну в системах паралельної обробки даних**

Багатопроцесорні обчислювальні системи з масовим паралелізмом (МРР) відносять до найбільш перспективних і найбільш поширених видів архітектур. Вони з'явилися, як альтернатива багатопроцесорним системам із