

УДК 519.711

## КОМП'ЮТЕРНЕ СИМУЛЮВАННЯ СУМІЩЕННЯ ФАРБ ПРИ СТУПЕНЕВІЙ ІМПУЛЬСНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ СТРІЧКИ РУЛОННОЇ РОТАЦІЙНОЇ МАШИНИ

О. В. Шевчук, Я. М. Кавин

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

*На основі лінеаризованої моделі суміщення фарб досліджено характеристики поздовжнього розгудження фарб при ступеневій зміні відносного видовження стрічки та в залежності від способу вимірювання суміщення фарб чотирифарбової рулонної ротаційної машини. Розглянуто методи вимірювання похибок суміщення фарб по сусідніх, поточних та базових фарбових мітках. Досліджено перехідні характеристики процесу суміщення фарб при імпульсній зміні відносного видовження стрічки при різних значеннях відносної деформації стрічки.*

**Ключові слова:** *стрічкопровідна система, математична модель, симулятор, поздовжнє зміщення фарб, перехідна характеристика, похибка суцнення фарб.*

**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, вимірювальної 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 відносно 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].

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. Залишається відкритим питання про динамічні властивості даного процесу в абсолютних координатах. Для цього необхідно враховувати нелінійність як в стрічкопровідній системі, так і в самому процесі поздовжнього суміщення фарб [ 1 ]. Необхідно відзначити, що різні дослідники приводять приблизно однакові результати процесу суміщення фарб по натягу паперової стрічки. Проте перехідні характеристики процесу управління ними відрізняються [1, 2, 4]. Саме тому доцільно лінеаризувати нелінійну динамічну модель процесу суміщення фарб і порівняти отримані результати.

**Мета статті** – моделювання та аналіз впливу відносного видовження стрічки на перехідні характеристики системи автоматичного регулювання поздовжнього суміщення фарб.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** На рис. 1 показана схема ділянки паперової стрічки між  $i$ -тою та  $i+1$ -ю папероведучими парами, які містять  $N$  задрукованих відбитків. На даному рисунку використані наступні позначення: ПВП <sub>$i$</sub>  —  $i$ -та папероведуча пара,  $d$  — діаметр циліндрів ПВП,  $L_j$  — довжина шляху паперової стрічки між точками А і В,  $\varphi_i$  і  $\varphi_{i+1}$  — фази  $i$ -го та  $i+1$ -го формних циліндрів,  $N$  число відбитків, які задруковуються на  $i$ -тій ділянці паперової стрічки,  $M_i$  — та,  $M_{i+1}$  — мітки  $i$ -тою та  $(i+1)$ -го формних циліндрів.

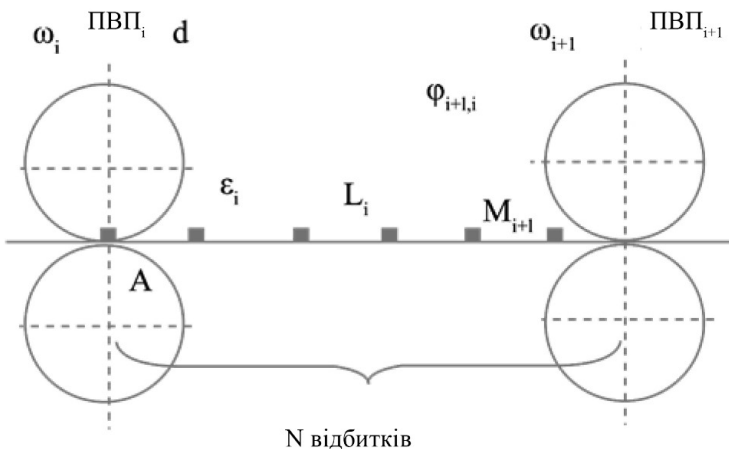


Рис. 1. Ділянка паперової стрічки із задрукованими відбитками

Якщо у вихідному положенні різниця фаз між  $i$  тими та  $i+1$  циліндрами рівна 0, тоді рівняння статички приймає вигляд:

$$L_i = \pi dN.$$

Звідси випливає, що похибка суміщення фарб може порушуватися за рахунок зміни довжини ділянки  $L_i$ . Якщо довжина шляху стрічки  $L_i$  не кратна сумарній довжині  $N$  відбитків, то потрібно встановлювати початкову різницю фаз  $\Delta\varphi_{i,i+1} = \varphi_{i+1} - \varphi_i$

$$(d/2) \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i) = \pi dN - L_i.$$

Розглянемо координату  $s_{i+1,i}$  що показує зсув мітки  $M_{i+1}$  відносно мітки  $M_i$ , тобто

$$s_{i+1,i} = L_i - \pi dN + (d/2) \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i).$$

Рівняння (3) враховує зміну зміщення фази  $i+1$ -го формного циліндра відносно фази  $i$  - го формного циліндра  $i$ . Шукаємо довжину нерозтягнутої паперової стрічки  $dL_{0,i}$ , що подається на дану ділянку через вхідну стрічковедучу пару за нескінченно малий час  $dt$

$$dL_{0,i} = \frac{V_i}{1 + \varepsilon_{i-1}} dt.$$

Тоді за час  $T_i = L_i/V_i$ , що відповідає часу руху стрічки по даній ділянці, довжина паперової стрічки в ідеалі дорівнює:

$$L_{0,i}(t) = \int_{t-T_i}^t \frac{V_i}{1 + \varepsilon_{i-1}} dt.$$

Врахуємо пружну деформацію паперової стрічки  $\varepsilon_i$  і запишемо закон зміни поточної довжини задрукованої стрічки

$$LN_i(t) = (1 + \varepsilon_i) \cdot \int_{t-T_i}^t \frac{V_i}{1 + \varepsilon_{i-1}} dt.$$

Різниця між довжиною шляху стрічки  $L_i$  і поточною довжиною  $LN_i(t)$  з врахуванням відносного зміщення фаз  $\varphi_{i+1} - \varphi_i$ ; при подовжньому суміщенні фарб дає похибку

$$L_i(t) - LN_i(t) + \frac{d}{2} [\varphi_{i+1}(t) - \varphi_i(t - T_i)] = s_{i+1,i}(t).$$

Рівняння (7) встановлює динамічний зв'язок похибки суміщення фарб  $s_{i+1}$  по

сусідній мітці в залежності від довжини шляху по якому рухається паперова стрічка  $L_i(t)$ , та довжини надрукованих відбитків  $LN_i(t)$ , і поточної різниці фаз вхідного  $\varphi_i(t - T_i)$  і вихідного  $\varphi_{i+1}(t)$  формних циліндрів даної  $i$  – і ділянки паперової стрічки.

Підставивши у формулу (7) значення поточної довжини паперової стрічки, яке ми визначили за формулою (6), отримуємо інтегральне рівняння поздовжнього суміщення фарб

$$L_i(t) - (1 + \varepsilon_i) \cdot \int_{t-T_i}^t \frac{V_i}{1 + \varepsilon_{i-1}} dt + \frac{d}{2} (\varphi_{i+1}(t) - \varphi_i(t - T_i)) = s_{i+1,i}(t).$$

В цьому рівнянні похибка суміщення фарб  $s_{i+1,i}$  може змінюватися за рахунок зміни шляху по якому рухається стрічка  $L_i$ , на величину  $\Delta L_i$ , та за рахунок зміни положення реєстрового валика. Відносні видовження  $\varepsilon_i$  та  $\varepsilon_{i+1}$  міняються при змінах натягу, а різниця фаз  $\Delta\varphi_{i+1,i} = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ ; – залежить від поточних значень фази  $i$  го і  $i+1$ -го формних циліндрів. Варто відзначити, що часто в рівняннях суміщення фарб розглядають відносне зміщення фази  $\Delta\varphi_{i+1,i} = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ . Досліджено що дане твердження виконується лише для сталого режиму. Проте в динаміці робочої машини різницю фаз надрукованих міток ми повинні враховувати із зміщенням за часом, тобто  $\Delta\varphi_{i+1,i}(t) = \varphi_{i+1}(t) - \varphi_i(t - T_i)$ , оскільки мітки на вхідній стрічковедучій парі друкуються раніше, на час  $T_i$ .

Розглянемо номінальний режим суміщення фарб, який характеризується сталими значеннями змінних:

$$L_i = L_i^*, \varepsilon_{i-1} = \varepsilon_i = \varepsilon^*, V_i = V^*, \varphi_{i+1} = \varphi_{i+1}^*; \varphi_i = \varphi_i^*; s_{i+1,i} = s_{i+1,i}^*,$$

із номінальним часом руху стрічки по  $i$ -тій ділянці  $T_i^* = L_i^*/V^*$

Підставимо ці значення в рівняння (8)

$$L_i^* - (1 + \varepsilon^*) \int_{t-T_i^*}^t dt + \frac{d}{2} (\varphi_{i+1}^* - \varphi_i^*) = s_{i+1,i}^*.$$

Після проведення перетворень отримуємо залежність

Знайдемо значення інтеграла  $V^* \int_{t-T_i^*}^t dt = L_i^*$ . Тоді статичне рівняння

суміщення фарб приймає наступний вигляд:

$$\frac{d}{2} \cdot (\varphi_{i+1}^* - \varphi_i^*) = s_{i+1,i}^*.$$

В результаті дослідження виявили, що статична похибка суміщення фарб залежить від початкового зміщення фаз формних циліндрів. Застосовуючи рівняння (2), ми можемо записати похибку суміщення фарб через довжину ділянки паперової стрічки, тобто

$$L_i^* - \pi dN = s_{i+1,i}^*$$

Досліджено, що дане рівняння аналогічне рівнянню статички (1). Тоді стає очевидним, що рівняння (10) може бути отримане із загального динамічного рівняння суміщення фарб (8), яке враховує відносні деформації стрічки на виході і вході ПВП та інтегруючи властивості друкарського апарату.

При моделюванні досліджуємо випадок, коли зміна відносного видовження паперової стрічки на вході першої ділянки є прямокутним імпульсом, тривалість якого  $T_\varepsilon$ , складає дві, чотири або вісім постійних часу  $T$  ділянки паперової стрічки. Оскільки таку вхідну дію можна представити у вигляді суми двох ступінчастих функцій, зміщених на час  $T_\varepsilon$ , то реакція процесу суміщення фарб на імпульсну дію може бути визначена як різниця двох перехідних характеристик.

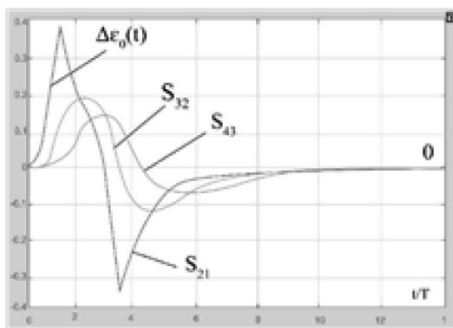


Рис.2. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній сусідній фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $2T$

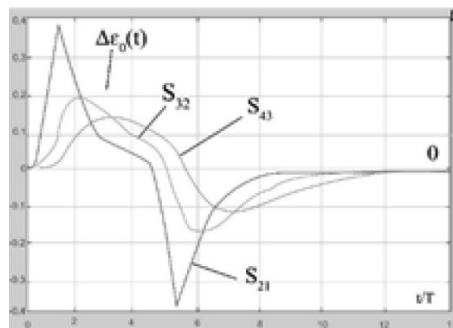


Рис.3. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній сусідній фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $4T$

При такому підході в процесі вимірюванні похибок суміщення фарб по поточній сусідній фарбі реакція на прямокутний імпульс висотою  $\Delta\varepsilon_0$  і тривалістю  $T_\varepsilon$  може бути розрахована по формулі:

$$s_{i+1,i}(t, \Delta\varepsilon, T_\varepsilon) = s_{i+1,i}(t, \Delta\varepsilon_0) \cdot 1(t) - s_{i+1,i}(t - T_\varepsilon, \Delta\varepsilon_0) \cdot 1(t - T_\varepsilon)$$

На рис. 1-3 показані графіки імпульсних перехідних характеристик процесу суміщення фарб, розраховані по формулі (11). Видно, що процес суміщення фарб в даному випадку має чітко виражені диференціюючі властивості.

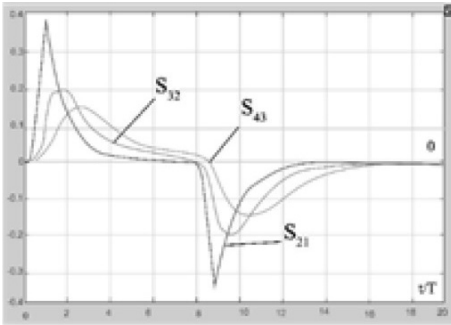


Рис.4. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній сусідній фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $8T$

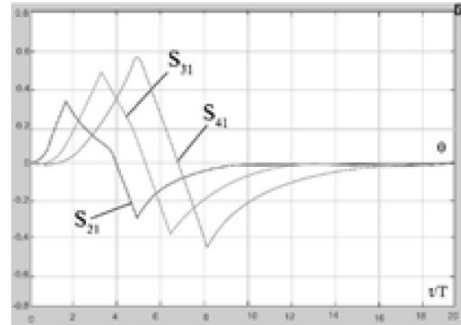


Рис. 5. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $2T$

Похибка суміщення фарб другої фарби має різкі динамічні піки, які відповідають моментам ступінчастої зміни відносного видовження стрічки. Похибки третьої і четвертої фарб міняються за досить плавними експоненціальними законами, амплітуда яких складає приблизно половину і третину (відповідно для третьої і четвертої фарб). На рис.5 .9 представлені графіки реакцій процесу суміщення фарб по першій поточній базовій мітці на прямокутну зміну відносного видовження паперової стрічки.

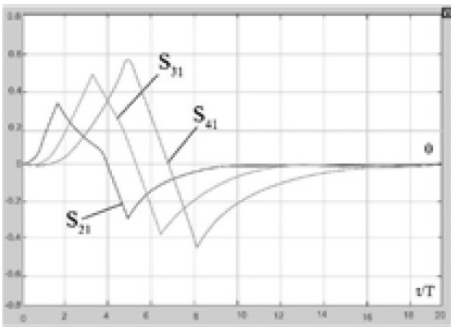


Рис. 6. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $4T$

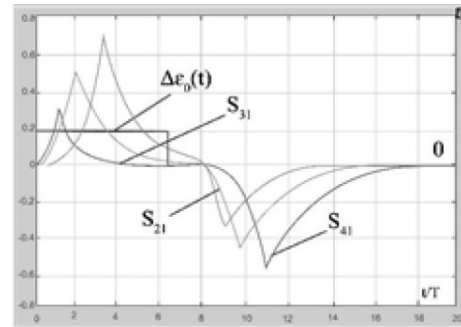


Рис. 7. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по поточній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $8T$

В порівнянні з попереднім сімейством графіків, показаних на рис.2-4, дані характеристики містять різкі динамічні піки для всіх фарб. При цьому амплітуда коливань суміщення фарб збільшується приблизно на 50% для кожної наступної фарби. Крім того, час встановлення перехідних процесів теж дещо зростає.

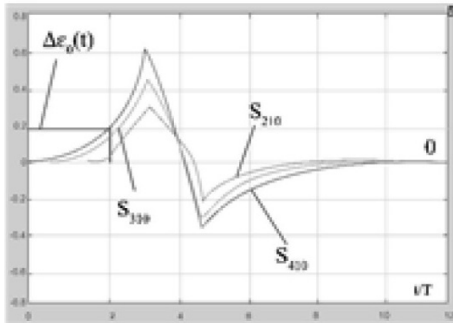


Рис.8. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по загальній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $2T$

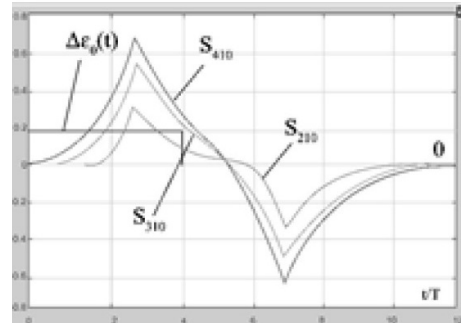


Рис.9. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по загальній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом часу  $4T$

На рис. 8-10 представлені графіки імпульсних прямокутніх характеристик процесу суміщення фарб по першій загальній базовій мітці. Як бачимо, ці графіки аналогічні графікам, показаним на рис.9-11. за винятком того, що на них збігаються моменти часу максимумів що характеризують процес похибок при суміщенні фарб.

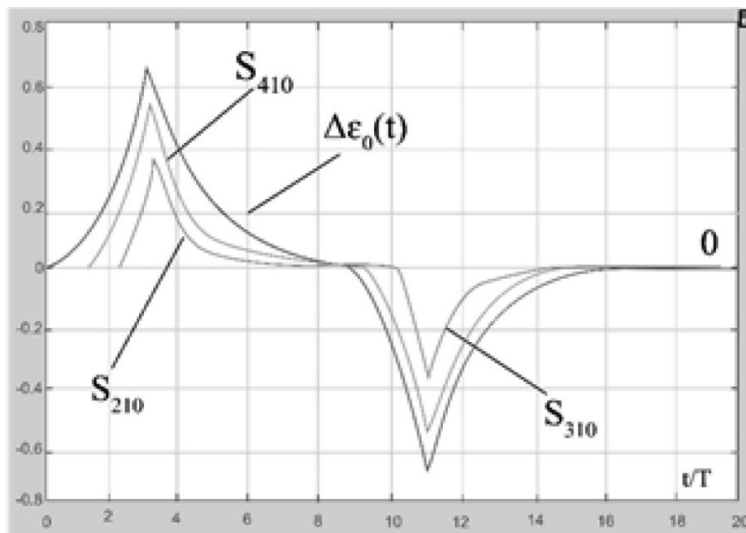


Рис.10. Перехідні характеристики процесу суміщення фарб по загальній базовій фарбі при імпульсній зміні відносного видовження стрічки протягом час  $2T$

**Висновки.** Максимальні похибки суміщення фарб спостерігаються після проміжку часу що рівний трьом постійним часу  $T$  після ступінчастої зміни відносного видовження стрічки. Це значення часу відповідає часу проходження відбитків через секції рулонної ротаційної машини.

Досліджено методи вимірювання похибок суміщення фарб по сусідніх, поточних і загальних базових фарбах.

Перехідні і частотні характеристики каналів суміщення фарб по останній четвертій базовій фарбі. Показано, що в цьому випадку найбільше динамічне відхилення спостерігається по першій фарбі, яке складає 0,7 від базового значення. Максимальні відхилення по другій і третій фарбах складають приблизно 0,5 і 0,25 від найбільшого розходження по першій фарбі.

Розраховані перехідні характеристики каналів суміщення фарб по другій і третій базових фарбах. Досліджено, що найкращими властивостями володіє метод визначення похибок суміщення фарб по другій базовій фарбі. Він забезпечує зменшення величини динамічних відхилень суміщення фарб та найменшу інерційність каналів управління даним процесом.

В цілому, можна вважати, що з точки зору мінімуму динамічних відхилень оптимальним є спосіб вимірювання похибок суміщення фарб по поточних сусідніх мітках.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дурняк Б.В., Тимченко О.В. Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами : монографія. Київ: 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. В.В.Казакевич В.В., Э.И. Избицкий Э.И.. Системы автоматического управления полиграфическими процессами Москва: Книга, 1978. 342 с.
4. Тимченко О., Шевчук О. Математичне моделювання стрічкопровідних систем ролонних ротатійних машин: Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. Київ, 2017. – Вип. 80. – С. 188-195.
5. Кам'янчин І., Тимченко О., Вовк А., Шевчук О. Аналіз і дослідження системи автоматичного регулювання суміщення фарб/ І. Кам'янчин, О.Тимченко, А. Вовк, О. Шевчук / Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – Вип.67. – Київ: 2013. С.178-184.
6. Поргинев С. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB Москва: Горячая Линия – Телеком. 2003. – 592 с.
7. Лозинський А.О., Мороз В.І., Я.С. Паранчук Я.С. Розв'язання задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB: навч. Посібник Львів: ДУ “Львівська політехніка”, 2000. 166 с.

### REFERENCES

1. Durniak B.V., Tymchenko O.V. (2003). Matematychnе modeliuвання i realizatsiia system keruvannya strichkoprovodnymy systemamy : monohrafiia. Kyiv: Vyd. tsentr „PROSVITA”, 232 s. (in Ukrainian)
2. Lutskiv M.M., Khmelnytska I.M. (2010). Matematychnе modeliuвання i kompiuterne symuliuvannya elektromekhanichnykh ta strichkoprovodnykh system Lviv: Vyd-vo UAD, 172 s. (in Ukrainian)



3. V.V. Kazakevich V.V., Je.I. Izbickij Je.I. (1978). Sistemy avtomaticheskogo upravlenija poligraficheskimi processami Moskva: Kniga, 342 s. (in Russian)
4. Tymchenko O., Shevchuk O. (2017). Matematychni modeliuvannia strichkopovidnykh system rulonnykh rotatsiinykh mashyn: Zbirnyk naukovykh prats Instytutu problem modeliuvannia v enerhetytsi im. H. Ye. Pukhova. Kyiv, Vyp. 80. – S. 188-195. (in Ukrainian)
5. Kamianchyn I., Tymchenko O., Vovk A., Shevchuk O. (2013). Analiz i doslidzhennia systemy avtomatichnoho rehuliuвання sumishchennia farb/ I. Kamianchyn, O. Tymchenko, A. Vovk, O. Shevchuk / Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii. Zb. nauk. pr. IPME NAN Ukrainy. – Vyp.67. – Kyiv.S.178-184. (in Ukrainian)
6. Porginev S. (2003). Komp'juternoe modelirovanie fizicheskikh processov v pakete MATLAB Moskva.:Gorjachaja Linija – Telekom.– 592 s. (in Russian)
7. Lozynskyi A.O., Moroz V.I. , Ya.S. Paranchuk Ya.S. (2000). Rozviazannia zadach elektromekhaniky v seredovyschakh paketiv MathCAD i MATLAB: navch. Posibnyk Lviv: DU “Lvivska politekhnika”, 166 s. (in Ukrainian)

DOI: 10.32403/2411-9210-2019-2-42-29-37

## COMPUTER SIMULATION OF INK COMBINING IN THE STAGE IMPULSE DEFORMATION OF THE TAPE IN A WEB ROTARY PRINTING PRESS

O. V. Shevchuk, Ya. M. Kavyn  
*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
uad\_wiz@ukr.net*

*The characteristics of longitudinal ink disadjustment at the stage change of the relative tape elongation and depending on the method of measuring the color matching of the four-color web-fed rotary printing press have been studied on the basis of a linearized model of color matching. The methods of measuring the ink combining errors on the adjacent, current and basic ink marks have been considered. The transient characteristics of the ink combining process under the impulse change of the relative tape elongation at different values of the relative tape deformation have been studied.*

**Keywords:** *tape leading system, mathematical model, simulator, longitudinal ink displacement, transient characteristic, ink combining error.*

*Стаття надійшла до редакції 25.04.2019.  
Received 25.04.2019.*