УДК681. 625.23:004.942

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ У ФАРБОДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ З ТРЬОМА НАКОЧУВАЛЬНИМИ ВАЛИКАМИ

М. І. Верхола, М. І. Калитка, І. Б. Гук

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

Розроблено математичну модель фарбодрукарської системи, що описує циркулювання потоків фарби поверхнями валиків і циліндрів та роботу фарбоживильного пристрою. Побудовано в середовищі Matlab-Simulink симулятор фарбодрукарської системи, який імітує роботу усіх її компонентів. Проведено моделювання та дослідження впливу навантаження і величини розщеплення фарби в зонах контакту на тривалість виходу фарбодрукарської системи на робочий режим. Отримано залежності тривалості перехідного процесу від щільності заповнення форми друкувальними елементами та від зміни коефіцієнта розщеплення фарби в зонах контакту валиків і циліндрів α_i . Виявлено, що для діапазону коефіцієнтів заповнення форми друкувальними елементами від 0,5 до 1,0 ці залежності є практично обернено пропорційними. Зі зменшенням k_z нелінійність характеристик зростає і найбільша тривалість виходу на робочий режим — $\alpha_i = 0,45$. Визначивши тривалість перехідного процесу можна отримати величину коефіцієнтів розщеплення фарби, що дає змогу підвищити точність параметрів вхідного завдання.

Ключові слова: фарбодрукарська система, математична модель, фарбоживильний пристрій, симулятор, моделювання, перехідний процес, коефіцієнт розщеплення фарби.

Постановка проблеми. Як відомо з теорії автоматичного керування, перехідний процес — це процес зміни в часі координат динамічної системи, який виникає під час переходу від одного усталеного режиму роботи до іншого. Час виходу фарбодрукарської системи на усталений режим залежить від багатьох чинників. Тривалість перехідного процесу пов'язана із інерційністю фарбодрукарських систем, яка залежить від їх структури та кількості валиків і циліндрів, які можуть змінюватися у досить широкому діапазоні. Що більше валиків і циліндрів та що більший їх діаметр, то більша інерційність системи. Водночас тривалість виходу фарбодрукарських систем на робочий режим, як стверджується у низці наукових праць, залежить також і від площі заповнення форми друкувальними елементами. Проте сьогодні практично немає наукових праць, які були б присвячені аналізу впливу зміни коефіцієнтів розщеплення фарби на тривалість перехідного процесу фарбодрукарських систем. Від тривалості виходу фарбодрукарської системи на робочий режим залежить кількість некондиційних друкованих відбитків, тому

дослідження впливу коефіцієнтів поділу фарби в зонах контакту валиків і циліндрів на перехідний процес системи є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Факт впливу щільності заповнення форми друкувальними елементами та тривалість виходу фарбодрукарських систем на усталений режим підтверджено низкою публікацій. У публікації [1] подано результати дослідження тривалості перехідного процесу фарбодрукарської системи при виході її на усталений режим залежно від коефіцієнтів заповнення форми друкувальними елементами. Встановлено, що при зменшенні площі друкувальних елементів час виходу системи на усталений режим зростає. Аналогічними є результати проведених досліджень динамічних властивостей фарбодрукарської системи на основі моделі офсетної машини, яка побудована за допомогою програмного пакету Matlab [2]. У праці [3], яка присвячена дослідженню динаміки фарбодрукарських систем, підтверджено, що усталене значення товщин фарби на поверхні друкувальних відбитків встановлюється за час, який приблизно обернено пропорційний коефіцієнту заповнення друкарської форми. Таку ж залежність тривалості перехідного процесу від коефіцієнтів заповнення фарби отримано в результаті моделювання друкарського процесу в офсетній машині за допомогою комп'ютерної програми QuickBASIC [4].

Тривалість перехідного процесу також залежить і від інерції відновлення балансу між надходженням і витратою фарби в зонах регулювання після зміни подачі фарби у фарбоживильному пристрої. Встановлено [5], що при зміні зональної подачі фарби час виходу фарбодрукарської системи на робочий режим більший, ніж при зміні загальної подачі. Так, час виходу на робочий режим офсетних машин при зміні загальної подачі фарби відповідає тривалості 300 циклів, а при зміні зональної — 500–600 циклів роботи машини. Це означає, що практично така ж кількість відбитків не відповідатиме вимогам до якості друкованої продукції.

У результаті огляду та аналізу доступних наукових публікацій не вдалося виявити праць присвячених дослідженню впливу коефіцієнтів розподілу фарби на динамічні властивості фарбодрукарських систем. Оскільки тривалість виходу фарбодрукарської системи на усталений режим безпосередньо пов'язана з кількістю некондикційних відбитків, тому дослідження впливу зміни коефіцієнтів розподілу фарби на тривалість перехідного процесу має важливий як теоретичний, так і практичний інтерес.

Мета статті — розробити математичну модель фарбодрукарської системи, яка описує режим роботи фарбоживильного пристрою та процес передачі фарби від входу системи до друкарських відбитків і побудувати на її основі симулятор та провести дослідження впливу коефіцієнтів розподілу фарби на динаміку фарбодрукарської системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. У науковій праці [6] стверджується, що величина коефіцієнтів розподілу фарби в місцях контакту валиків і циліндрів фарбодрукарської системи залежить від швидкості друкарської машини, матеріалів поверхонь елементів системи, в'язкості фарби та температури. Відповідно до цієї інформації можна стверджувати, що коефіцієнти розподілу фарби будуть

змінюватися. Для визначення впливу зміни коефіцієнтів розподілу фарби в зонах контакту валиків і циліндрів на тривалість виходу фарбодрукарської системи на робочий режим використовуємо метод математичного моделювання. Розглянемо вирішення поставленого завдання на прикладі фарбодрукарської системи з трьома накочувальними валиками (рис. 1).

Рис. 1 Фарбодрукарська система з трьома накочувальними валиками

Величина зональної подачі фарби регулюється відповідними регулювальними органами (РО), які можуть бути реалізовані на основі гвинтів або кулачкових механізмів. Дуктор (Д), повертаючись на заданий кут за цикл роботи фарбодрукарської системи, переміщає фарбу своєю поверхнею. Передавальний валик (ПВ), який має коливальний рух, передає фарбу від дуктора до першого валика розкочувальної підсистеми і в зворотному напрямку. Фарба транспортується поверхнями валиків і циліндрів розкочувальної підсистеми (1–9) до накочувальних валиків 10, 11 і через проміжний валик 12 до накочувального під номером 13. Накочувальні валики наносять фарбу на поверхню друкувальних елементів форми, яка кріпиться на формному циліндрі (ФЦ). З поверхні друкувальних елементів частина фарби передається офсетним циліндром (ОЦ) до паперу (П), який переміщається через зону контакту офсетного циліндра з друкарським циліндром (ДЦ). Після виходу паперу із зони контакту офсетного й друкарського циліндрів на його поверхні утворюються фарбовідбитки, які відтворюють зображення друкарської форми.

Для розроблення математичної моделі отримаємо такі допущення: довжини кіл валиків і циліндрів поділені на ціле число умовних одиниць; час проходження потоку фарби поверхнею валиків і циліндрів шляху в 1 у. о. відповідає одній відносній одиниці; нехтуємо часом проходження фарби через зону контакту; лінійні швидкості елементів фарбодрукарської системи рівні між собою; проковзування валиків і циліндрів відсутнє; цикл роботи фарбоживильного пристрою може бути рівний часу одного або двох обертів формного циліндра; за змінні приймаємо товщини потоків фарби в місцях контакту і на поверхні елементів фарбодрукарської системи та товщини подачі та передачі фарби на відбитки.

При введенні відносного часу опис процесу розкочування та передачі фарби не залежатиме від швидкості обертання валиків і циліндрів.

На підставі прийнятих допущень та наукових праць [7, 8, 9] складаємо систему рівнянь фарбодрукарської системи, схема якої наведена на рис. 1.

$$\begin{aligned}
 x_n(z) &= P_d(z)h_d(z) + R_n(z)R_{n1}(z)x_1 + R_n^*(z)R_{dn}(z)x_1(z); \\
 h_n(z) &= P_n(z)P_{1n}(z)x_n(z) + P_{nd}(z)P_n^*(z)x_n(z); l_d = R_d(z)x_n(z); \\
 x_1(z) &= P_n(z)P_{1n}(z)x_n(z) + P_{nd}(z)P_n^*(z)x_n(z) + R_1(z)x_2(z); \\
 h_1(z) &= P_1(z)x_1(z); l_n(z) = R_n(z)R_{n1}(z)x_1 + R_n^*(z)R_{dn}(z)x_1(z); \\
 x_2(z) &= P_1(z)x_1(z) + R_2(z)x_5(z); \\
 h_{2,1}(z) &= P_{2,1}(z)x_2(z); l_1(z) = R_1(z)x_2(z); \\
 x_3(z) &= P_{2,1}(z)x_2(z) + R_3(z)x_3(z); \\
 h_{2,2}(z) &= P_{2,2}(z)x_3(z); l_3(z) = R_3(z)x_3(z); \\
 x_4(z) &= P_{2,2}(z)x_3(z) + R_4(z)x_4(z); \\
 h_{2,3}(z) &= P_{2,3}(z)x_4(z); l_4(z) = R_4(z)x_4(z); \\
 x_5(z) &= P_{2,3}(z)x_4(z) + R_{5,2}(z)x_7(z); \\
 h_5(z) &= P_5(z)x_5(z); l_2(z) = R_2(z)x_5(z); \\
 x_6(z) &= P_5(z)x_5(z) + R_6(z)x_{9,2}(z); \\
 h_6(z) &= P_6(z)x_6(z); l_{5,1}(z) = R_{5,1}(z)x_6(z); \\
 x_7(z) &= R_{5,1}(z)x_6(z) + R_7(z)x_{9,1}(z); \\
 h_{7,1}(z) &= P_{7,1}(z)x_7(z); l_{5,2}(z) = R_{5,2}(z)x_7(z); \\
 x_8(z) &= P_{7,1}(z)x_7(z) + R_8(z)x_8(z); \\
 h_{7,2}(z) &= P_{7,2}(z)x_8(z); l_8(z) = R_8(z)x_8(z); \\
 x_{9,1}(z) &= P_{7,2}(z)x_8(z) + R_{9,2}(z)x_{10}(z); \\
 h_{9,1}(z) &= P_{9,1}(z)x_{9,1}(z); l_7(z) = R_7(z)x_{9,1}(z); \\
 x_{9,2}(z) &= P_6(z)x_6(z) + P_{9,1}(z)x_{9,1}(z); \\
 h_{9,2}(z) &= P_{9,2}(z)x_{9,2}(z); l_6(z) = R_6(z)x_{9,2}(z); \\
 x_{10}(z) &= R_{9,1}(z)x_{11}(z) + R_{10}(z)x_{\phi 1}(z); \\
 h_{10}(z) &= P_{10}(z)x_{10}(z); l_{9,2}(z) = R_{9,2}(z)x_{10}(z); \\
 x_{11}(z) &= P_{9,2}(z)x_{9,2}(z) + R_{11,2}(z)x_{12}(z); \\
 h_{11}(z) &= P_{11}(z)x_{11}(z); l_{9,1}(z) = R_{9,1}(z)x_{11}(z); \\
 x_{12}(z) &= R_{11,1}(z)y_{\phi 2}(z) + R_{12}(z)x_{13}(z); \\
 h_{12}(z) &= P_{12}(z)x_{12}(z); l_{11,2}(z) = R_{11,2}(z)x_{12}(z); \\
 x_{13}(z) &= P_{12}(z)x_{12}(z) + R_{13}(z)x_{\phi 3}(z); \\
 h_{13}(z) &= P_{13}(z)x_{13}(z); l_{12}(z) = R_{12}(z)x_{13}(z); \\
 x_{\phi 1}(z) &= P_{10}(z)x_{10}(z) + R_{\phi}(z)x_{o\phi}(z); \\
 h_{\phi 1}(z) &= P_{\phi 1}(z)x_{\phi 1}(z); l_{10}(z) = R_{10}(z)x_{\phi 1}(z); \\
 x_{\phi 2}(z) &= P_{\phi 1}(z)x_{\phi 1}(z) + P_{11}(z)x_{11}(z);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{\phi 2}(z) &= P_{\phi 2}(z)x_{\phi 2}(z); \quad l_{11.1}(z) = R_{11.1}(z)x_{\phi 2}(z); \\
 x_{\phi 3}(z) &= P_{\phi 2}(z)x_{\phi 2}(z) + P_{13}(z)x_{13}(z); \\
 h_{\phi 3}(z) &= P_{\phi 3}(z)x_{\phi 3}(z); \quad l_{13}(z) = R_{13}(z)x_{\phi 3}(z); \\
 x_{o\phi}(z) &= P_{\phi 3}(z)x_{\phi 3}(z) + R_{o\phi}(z)x_c(z); \\
 h_{o\phi}(z) &= P_{o\phi}(z)x_{o\phi}(z); \quad l_{\phi}(z) = R_{\phi}(z)x_{o\phi}(z); \\
 x_c(z) &= P_{o\phi}(z)x_{o\phi}(z); \quad l_{o\phi}(z) = R_{o\phi}(z)x_c(z); \\
 h_c(z) &= P_c(z)x_c(z),
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $x_n(z)$, $x_i(z)$, $x_{\phi}(z)$, $x_{o\phi}(z)$, $x_c(z)$ — z -зображення товщин потоків фарби в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи; $h_i(z)$, $l_i(z)$ — z -зображення товщин потоків фарби на поверхні валиків і циліндрів; $h_d(z)$, $h_c(z)$ — z -зображення товщин подачі фарби та передачі її на матеріал, що задруковується; $P_n(z)$, $R_n(z)$, $P_n^*(z)$, $R_n^*(z)$ — оператори передачі фарби передавальним валиком під час його контакту з дуктором та першим валиком розкочувально-накочувальної підсистеми; $P_d(z)$, $R_d(z)$ — оператори передачі фарби дукторним циліндром від дукторної скриньки до передавального валика і в зворотному напрямку; $P_{nd}(z)$, $P_{ln}(z)$, $R_{nl}(z)$, $R_{dn}(z)$ — оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби передавальним валиком від дуктора до розкочувального валика та у зворотному напрямку; $P_i(z)$, $R_i(z)$ — оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби поверхнями валиків і циліндрів; $P_{\phi}(z)$, $R_{\phi}(z)$, $P_{o\phi}(z)$, $R_{o\phi}(z)$ — оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби поверхнями формного і офсетного циліндрів; $P_c(z)$ — оператор передачі фарби з поверхні формного циліндра на матеріал, що задруковується.

Оператори передачі фарби фарбоживильним пристроєм детально розкрито в працях [10, 11]. А оператори передачі фарби в коловому напрямку іншими компонентами фарбодрукарської системи на підставі публікації [12] можна подати так:

$$\begin{aligned}
 P_i(z) &= \alpha_i z^{-R_i}; \quad R_i(z) = \gamma_i z^{-r_i}; \\
 P_{\phi i}(z) &= \alpha_{\phi i} F_i(z) z^{-P_{\phi i}}; \quad R_{\phi}(z) = \gamma_{\phi} z^{-r_{\phi}}; \\
 P_{o\phi}(z) &= \alpha_{o\phi} z^{-P_{o\phi}}; \quad R_{o\phi}(z) = \gamma_{o\phi} z^{-r_{o\phi}},
 \end{aligned} \tag{2}$$

де α_i , γ_i — коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби із зон контакту на поверхню валиків і циліндрів; $\gamma_{o\phi} = 1 - \beta$ (β — коефіцієнт передачі фарби на папір); z^{-R_i} , z^{-r_i} , $z^{-P_{\phi i}}$, $z^{-r_{\phi}}$, $z^{-P_{o\phi}}$, $z^{-r_{o\phi}}$ — транспортні запізнення передачі фарби елементами фарбодрукарської системи; $F_i(z)$ — оператори формування навантаження.

Для наочного відображення процесу розподілу і передачі фарби побудуємо структурну схему. Основними елементами для побудови структурних схем є ланка, суматор і вузол. Ланка відповідає оператору передачі прямих і зворотних потоків фарби. Суматор відображає накладання потоків фарби в зонах контакту. Вузол на виході з суматора — це місце розщеплення фарби при виході із зон контакту валиків і циліндрів.

Застосувавши такий підхід, будуємо структурну схему фарбодрукарської системи з трьома накочувальними валиками, яка зображена на рис. 2.

Рис. 2. Структурна схема фарбодрукарської системи з трьома накочувальними валиками

На структурній схемі подано першу та останню зони фарбодрукарської системи. На вході схеми відображені товщини зональної подачі фарби, а на виході товщини фарби, що передається на відбитки. Прямі і зворотні вітки контурів відтворюють переміщення потоків фарби поверхнями валиків і циліндрів.

На основі структурної схеми та математичної моделі в середовищі Matlab-Simulink побудовано симулятор фарбодрукарської системи. Геометричні розміри валиків і циліндрів задаються через показники степеня відповідних операторів передачі фарби. Коефіцієнти розподілу фарби в зонах контакту задаються блоками, що є складовими операторів передачі прямих і зворотних потоків фарби. Значення коефіцієнтів передачі фарби з поверхні офсетного циліндра на папір становило $\beta = 0,7$. Щільність заповнення форми друкувальними елементами задається за допомогою блоків, що відображають оператори передачі фарби $F_i(z)$.

Перед початком кожного модельного експерименту задавалися певні значення коефіцієнтів розщеплення фарби α_i та коефіцієнтів заповнення форми K_j і визначалися величини вхідного завдання, які повинні забезпечувати товщину фарби на поверхні відбитків 1 мкм, що відповідає технологічно необхідній товщині. Визначення вхідного завдання відбувалося за дотриманням умови балансу подачі фарби та передачі її на відбитки в сумі з кількістю фарби, що повертається у дукторну скриньку. Графічні залежності вхідного завдання h_d від коефіцієнтів заповнення форми для різних значень α_i наведені на рис. 3.

Рис. 3. Графічні залежності вхідного завдання h_d від коефіцієнтів заповнення форми для різних значень α_i : 1 – 0,4; 2 – 0,41; 3 – 0,42; 4 – 0,43; 5 – 0,44; 6 – 0,45; 7 – 0,46; 8 – 0,47; 9 – 0,48; 10 – 0,49; 11 – 0,5; 12 – 0,51; 13 – 0,52; 14 – 0,54; 15 – 0,56; 16 – 0,58; 17 – 0,6

Для автоматичного визначення тривалості перехідного процесу в середовищі Matlab-Simulink побудовано пристрій, структурна схема якого зображена на рис. 4.

Рис. 4. Схема пристрою для автоматичного визначення тривалості виходу фарбодрукарської системи на робочий режим

Змінюючи щільність заповнення форми друкувальними елементами та коефіцієнти розщеплення фарби, задаємо відповідні значення вхідного завдання, які отримані для сталої величини ширини смуги подачі фарби, що становить 30 мм. Проводимо симулювання та визначаємо кількість робочих циклів до виходу фарбодрукарської системи на усталений режим $N_{\text{пп}}$.

Результати моделювання для декількох значень коефіцієнтів розщеплення фарби α_i подані в табл. 1.

Таблиця 1

Результати імітаційного моделювання

№ з/п	κ_3	$\alpha_i = 0,4;$ $\gamma_i = 0,6$		$\alpha_i = 0,45;$ $\gamma_i = 0,55$		$\alpha_i = 0,5;$ $\gamma_i = 0,5$		$\alpha_i = 0,54;$ $\gamma_i = 0,46$		$\alpha_i = 0,6;$ $\gamma_i = 0,4$	
		h_d	$N_{\text{шпн}}$	h_d	$N_{\text{шпн}}$	h_d	$N_{\text{шпн}}$	h_d	$N_{\text{шпн}}$	h_d	$N_{\text{шпн}}$
1	0,10	178,8	419	32,59	546	11,61	420	8,26	253	6,75	114
2	0,15	183,8	410	37,32	482	15,75	337	11,97	197	9,984	92
3	0,20	188,2	399	42,02	429	19,89	273	15,71	158	13,27	76
4	0,25	192,7	389	46,73	386	24,04	229	19,47	130	16,57	63
5	0,30	197,5	380	51,43	353	28,19	198	23,22	113	19,87	55
6	0,35	202,4	370	56,2	324	32,34	175	26,97	99	23,17	49
7	0,40	206,9	360	60,95	301	36,5	158	30,73	90	26,47	45
8	0,45	211,7	351	62	284	40,66	145	34,48	82	29,77	42
9	0,50	216,6	344	70,54	263	44,82	134	38,24	76	33,07	39
10	0,55	221,55	336	75,345	248	48,985	125	41,995	71	36,37	37
11	0,60	226,5	328	80,15	234	53,15	116	45,75	67	39,67	35
12	0,65	231,5	322	84,935	223	57,305	110	49,505	63	42,975	33
13	0,70	236,5	316	89,72	212	61,46	104	53,26	60	46,28	32
14	0,75	241,7	308	94,525	203	65,625	99	57,015	57	49,58	31
15	0,80	246,9	300	99,33	194	69,79	94	60,77	55	52,88	30
16	0,85	252,15	294	104,165	186	73,95	90	64,525	53	56,18	29
17	0,90	257,4	289	109	179	78,11	87	68,28	52	59,48	28
18	0,95	262,7	283	113,85	172	82,27	84	72,035	50	62,78	27
19	1,00	268	278	118,7	165	86,43	81	75,79	49	66,08	26

Більш ґрунтовні результати проведених досліджень у вигляді графічних залежностей подано на рис. 5.

Значний вплив на тривалість перехідного процесу має як величина щільності заповнення форми друкувальними елементами, так і коефіцієнти розщеплення фарби. Особливо цей вплив посилюється зі зменшенням коефіцієнта заповнення форми, наприклад, при зменшенні κ_3 від 0,5 до 0,1 спостерігається нелінійне зростання тривалості виходу фарбодрукарської системи на усталений режим. Якщо $\alpha_i = 0,5$, то зі зміною κ_3 від 1,0 до 0,5 тривалість перехідного процесу зростає майже в 1,7 раза, а зі зменшенням κ_3 до 0,1 тривалість збільшується в 5,2 раза. Подібний характер зберігається і зі збільшенням α_i . Так, для $\alpha_i = 0,6$ при зменшенні κ_3 від 1,0 до 0,5 тривалість перехідного процесу зростає майже в 1,5 раза, а зі зменшенням κ_3 до 0,1 — в 4,4 раза. При зменшенні значень коефіцієнтів розщеплення фарби зміна κ_3 не значно впливає на приріст тривалості виходу фарбодрукарської системи. Так, для $\alpha_i = 0,4$ зі зменшенням κ_3 від 1,0 до 0,5 тривалість перехідного процесу збільшується в 1,24 раза, а при зменшенні κ_3 до 0,1 тривалість зростає лише в

1,5 раза. Для зручності аналізу впливу коефіцієнтів поділу фарби α_i на тривалість перехідного процесу побудовано графічні залежності, які зображено на рис. 6.

Рис. 5. Графічні залежності тривалості перехідного процесу N_{III} від κ_z для різних значень α_i : 1 – 0,4; 2 – 0,41; 3 – 0,42; 4 – 0,43; 5 – 0,44; 6 – 0,45; 7 – 0,46; 8 – 0,47; 9 – 0,48; 10 – 0,49; 11 – 0,5; 12 – 0,51; 13 – 0,52; 14 – 0,54; 15 – 0,56; 16 – 0,58; 17 – 0,6

Рис. 6. Графічні залежності тривалості перехідного процесу від коефіцієнтів розщеплення фарби α_i для κ_z : 1 – 0,1; 2 – 0,15; 3 – 0,2; 4 – 0,25; 5 – 0,3; 6 – 0,35; 7 – 0,4; 8 – 0,45; 9 – 0,5; 10 – 0,55; 11 – 0,6; 12 – 0,65; 13 – 0,7; 14 – 0,75; 15 – 0,8; 16 – 0,85; 17 – 0,9; 18 – 0,95; 19 – 1,0

Аналізуючи ці залежності, можна стверджувати, що для діапазону коефіцієнтів заповнення форми друкувальними елементами від 0,5 до 1,0 спостерігається майже лінійна обернено пропорційна залежність тривалості виходу фарбодрукарської системи на усталений режим від коефіцієнтів α_i . А зі зменшенням κ_z нелінійність характеристик інтенсивно зростає і найбільша тривалість перехідного процесу спостерігається, коли $\alpha_i = 0,45$. Оскільки, як обґрунтовано в праці [11], текстова і образна багатоколірна продукція, яка виготовляється офсетним способом, друкується загалом з форм з κ_z в діапазоні 0,1–0,35, то навіть незначне відхилення α_i має суттєвий вплив на тривалість виходу на робочий режим, а, відповідно, і на кількість некондиційних фарбовідбитків.

Висновки. Для дослідження динаміки фарбодрукарської системи з трьома накочувальними валиками розроблено математичну модель, яка описує процес розподілу і передачі фарби та роботу фарбоживильного пристрою. Побудовано структурну схему системи, на основі якої розроблено симулятор фарбодрукарської системи, який імітує роботу усіх компонентів системи, до складу якого входить пристрій для автоматичного визначення тривалості перехідного процесу.

Проведено моделювання та дослідження впливу коефіцієнтів розщеплення фарби в зонах контакту валиків і циліндрів та коефіцієнтів заповнення форми друкувальними елементами на динаміку фарбодрукарської системи. Встановлено, що зі зміною щільності заповнення форми друкувальними елементами тривалість виходу фарбодрукарської системи на усталений режим змінюється нелінійно. Крім того, на характер залежності кількості циклів тривалості виходу системи на робочий режим значний вплив має величина коефіцієнтів розщеплення фарби α_i .

Виявлено, що для діапазону коефіцієнтів заповнення форми друкувальними елементами κ_z від 0,5 до 1,0 спостерігається майже лінійна обернено пропорційна залежність. А зі зменшенням κ_z нелінійність характеристик суттєво зростає і найбільша тривалість перехідного процесу є при $\alpha_i = 0,45$. Оскільки більшість поліграфічної продукції друкується з форм з κ_z в діапазоні 0,2–0,35, то для зменшення кількості некондиційної продукції потрібно або уникати такої величини α_i , або вживати додаткові засоби для усунення факторів, що впливають на процес фарбопередачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. WANG Wei-peng, WU Qiu-min, WU Ji-mei. Study for Dynamic Property of the Inking System of Offset Press. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication. 2007-04. Vol. 15. URL: <http://en.cnki.com.cn> (viewed on 16.05.2015). Title from the screen.
2. Qiu Min Wu, Ji Mei Wu, Rui Wang. Study for Dynamic Property of the Inking System of Offset Press Based on Matlab. Applied Mechanics and Materials. Oct. 2011. Vol. 121–126. Pp. 392–396. URL: <http://www.scientific.net> (viewed on 10.02.2015). Title from the screen.
3. Щербина Ю. В. Аналитический метод исследования динамики красочных аппаратов печатных машин. Проблемы полиграфии и издательского дела. Москва : Московский государственный университет печати им. Ивана Федорова, 2007. № 1. С. 3–15.

4. Shem M. Chou. Computer Simulation of Offset Printing: II. Effects of Vibrator Oscillation and Image Layout. Warrendale: Printing Industries of America. 1997. 25 p. URL: <http://www.printing.org> (viewed on 16.05.2014). Title from the screen.
5. Ефимов М. В. Автоматизированное управление полиграфическим производством : учеб. для вузов. Москва : Изд-во МГУП «Мир книги», 1998. 416 с.
6. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / пер. с нем. Москва : МГУП, 2003. 1280 с.
7. Верхола М. І., Гук І. Б., Пановик У. П. Аналіз розподілу фарби у послідовних фарбових системах з розтиральним циліндром за їх статичними моделями. Комп'ютерні технології друкарства. 2013. № 29. С. 27–42.
8. Верхола М. І., Гук І. Б., Пановик У. П. Інформаційна технологія аналізу розподілу фарби у фарбодрукарських системах офсетних машин. Технологічні комплекси. 2014. № 2 (10). С. 65–76.
9. Інформаційна технологія перевірки достовірності моделей фарбодрукарських систем з розтиральними циліндрами / Верхола М. І., Гук І. Б., Пановик У. П., Споляк Р. М. Технологічні комплекси. 2015. № 1/1 (11). С. 53–63.
10. Верхола М. І., Гук І. Б. Моделювання та визначення коефіцієнта передачі фарби передавальним валиком у фарбовій системі з розтиральним циліндром. Комп'ютерні технології друкарства. 2009. № 21. С. 39–52.
11. Споляк Р. М. Інформаційна технологія для налагодження фарбодрукарських систем офсетних машин : автореф. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.06. Львів : Українська академія друкарства, 2016. 26 с.
12. Калитка М. І. Моделювання та комп'ютерне визначення впливу коефіцієнтів розщеплення фарби на розподіл її мікропотоків у фарбодрукарській системі офсетного друку. Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. 2019. № 89. С. 204–214.

REFERENCES

1. WANG, Wei-peng, WU, Qiu-min, & WU, Ji-mei. (2007-04). Study for Dynamic Property of the Inking System of Offset Press: Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 15. Retrieved from <http://en.cnki.com.cn> (viewed on 16.05.2015). Title from the screen (in English).
2. Qiu-min Wu, Ji-mei Wu, Rui Wang. (Oct. 2011). Study for Dynamic Property of the Inking System of Offset Press Based on Matlab: Applied Mechanics and Materials, 121–126, 392–396. Retrieved from <http://www.scientific.net> (viewed on 10.02.2015). Title from the screen (in English).
3. Shherbina, Ju. V. (2007). Analiticheskij metod issledovanija dinamiki krasochnyh apparatov pechatnyh mashin: Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela. Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj universitet pechati im. Ivana Fedorova, № 1, 3–15 (in Russian).
4. Shem, M. Chou. (1997). Computer Simulation of Offset Printing: II. Effects of Vibrator Oscillation and Image Layout: Warrendale: Printing Industries of America. Retrieved from <http://www.printing.org> (viewed on 16.05.2014). Title from the screen (in English).
5. Efimov, M. V. (1998). Avtomatizirovannoe upravlenie poligraficheskim proizvodstvom. Moskva : Izd-vo MGUP «Mir knigi» (in Russian).

6. Kipphan, G. (2003). Jenciklopedija po pechatnym sredstvam informacii. Tehnologii i sposoby proizvodstva / per. s nem. Moskva : MGUP (in Russian).
7. Verkhola, M. I., Huk, I. B., & Panovyk, U. P. (2013). Analiz rozpodilu farby u poslidovnykh farbovykh systemakh z roztyrnyym tsylindrom za yikh statychnymy modeliamy: Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 29, 27–42 (in Ukrainian).
8. Verkhola, M. I., Huk, I. B., & Panovyk, U. P. (2014). Informatsiina tekhnolohiia analizu rozpodilu farby u farbodrukarskykh systemakh ofsetnykh mashyn: Tekhnolohichni komplekсы, 2 (10), 65–76 (in Ukrainian).
9. Verkhola, M. I., Huk, I. B., Panovyk, U. P., & Spoliak, R. M. (2015). Informatsiina tekhnolohiia perevirky dostovirnosti modelei farbodrukarskykh system z roztyrnyymy tsylindramy: Tekhnolohichni komplekсы, 1/1 (11), 53–63 (in Ukrainian).
10. Verkhola, M. I., & Huk, I. B. (2009). Modeliuvannia ta vyznachennia koefitsiienta peredachi farby peredavalnym valykom u farbovii systemi z roztyrnyym tsylindrom: Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 21, 39–52 (in Ukrainian).
11. Spoliak, R. M. (2016). Informatsiina tekhnolohiia dlia nalahodzhennia farbodrukarskykh system ofsetnykh mashyn : avtoref. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.13.06. Lviv : Ukrainiska akademiia drukarstva (in Ukrainian).
12. Kalytko, M. I. (2019). Modeliuvannia ta komp'uterne vyznachennia vplyvu koefitsiientiv rozshchepлення farby na rozpodil yii mikropotokiv u farbodrukarskii systemi ofsetnoho druku: Zbirnyk naukovykh prats Instytutu problem modeliuvannia v enerhetytsi im. H. Ye. Pukhova NAN Ukrainy, 89, 204–214 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2020-1-60-53-65

SIMULATION AND COMPUTER DETERMINATION OF DURATIONS OF THE TRANSITION PROCESS IN AN INK PRINTING SYSTEM WITH THREE ROLLING ROLLERS

M. I. Verkhola, M. I. Kalytko, I. B. Huk

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
m.i.werh@gmail.com*

To study the dynamics of the ink printing system with three storage rollers, a mathematical model has been developed, which describes the circulation of ink flows of rotating rollers and cylinders and the operation of the ink medium. A Matlab-Simulink environment-based inkjet simulator has been constructed that attempts to use its components to create an automated transition duration mechanism.

Modelling and research using the use and magnitude of the ink opening in the contact zone for the duration of the higher ink printing system in the operating mode have been done. The transitions from the significant filling of the form of other elements and deviations from the number of ink opening coefficients in the contact zone of rollers

and cylinders have been experienced. It is updated that the first one changes over time, and the second number of elements of the triviality of the higher ink-printing system is formed in the steady state, which changes nonlinearly. In addition, there are different cycles of duration of calibrated systems in operation, with large amounts of effective propagating inks. Monthly, for a range that is more efficient, the delay forms other elements of the elements, from 0.5 to 1.0, which is often offered by proportional ability. With a decrease in the short-term nonlinear reliability of the characteristics increases significantly and the greatest duration of the transient process occurs then. People believe that theoretically and practically the value has revealed the duration of the found ink-printing system, which allowed achieving a large number of people, reproducing the ink in the contact zone of rollers and cylinders and mandatory correctors that require an input question.

Keywords: *ink printing system, mathematical model, ink supply device, simulator, modelling, transient process, ink splitting coefficient.*

Стаття надійшла до редакції 16.03.2020.

Received 16.03.2020.