

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ФАРБИ МІЖ ВХОДОМ ТА ВИХОДОМ ФАРБОВОЇ СИСТЕМИ В ДИНАМІЦІ

Побудовано моделі, які дають можливість досліджувати вплив режиму роботи передавального валика на перерозподіл потоків фарби між виходом і входом фарбової системи.

Mathematical models that were build in this work permit to research the influence of transfer platen on the reallocation of ink between output and input in inking systems.

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

Модернізація офсетних друкарських машин останні десять років пов'язана в основному з удосконаленням фарбоживильних пристроїв та систем керування ними.

Як відомо [1] загальне регулювання подання фарби у фарбову систему можна здійснювати: зміною розміру щілини між фарбовим ножом і дукторним циліндром; швидкістю обертання дукторного циліндра; кількістю циклів передавального валика за один оберт формного циліндра; тривалістю вистою передавального валика біля дуктора та зміною кута повороту дукторного циліндра. Два останні випадки визначають ширину смуги подачі фарби у розкочувальну групу. Зональне регулювання подання фарби здійснюється гвинтами або ексцентриками, які розташовані в корпусі фарбового корита по всій довжині ножа з певним кроком. Фарбовий ніж може виготовлятися суцільним, але при регулюванні зонального подання фарби гвинти деформують ніж не тільки в межах своєї зони, але і в сусідніх зонах, вносячи відповідні похибки. Тому в сучасних пристроях [2] застосовуються фарбоживильні пристрої з розрізаними фарбовими ножами, які не мають цього недоліку.

В аркушевих офсетних машинах фірми "Heidelberg" застосовується фарбовий ніж, який складається з набору ексцентричних циліндриків, які через тонку плівку контактують з дукторним циліндром.

Фарбоживильні пристрої друкарських машин фірми "MAN Roland" комплектуються фарбовими ножами, які складаються з окремих вузьких шибєрів встановлених радіально до дукторного циліндру.

¹ Українська академія друкарства

Щілини між ножем та дукторним циліндром регулюються високоточними мікродвигунами обладнаними цифровими системами керування.

В літературних джерелах [3,2] та рекламних проспектах фірм-виробників друкарських машин стверджується, що завдяки удосконаленню фарбоживильних пристроїв зросла точність попереднього налагодження фарбової системи та якість друку, яка, в свою чергу, залежить від рівномірності товщини шару фарби на друкувальних елементах форми.

Докладніша інформація, яка б обгрунтовувала ці твердження – відсутня. Якщо під зростанням точності попереднього зонального налагодження мати на увазі забезпечення формування більш тонкого шару фарби на поверхні дукторного циліндра, то це не означає, що при цьому однозначно підвищиться якість друкованої продукції. Так, з одного боку, формування порцій фарби меншої товщини дає можливість збільшити їх ширину, але, з іншого, – це збільшує зону контакту передавального валика із дукторним циліндром, що, в свою чергу, призведе до зміни циркулювання фарбових потоків між виходом і входом фарбової системи. Тому дослідження впливу параметрів формування подання фарби на процес розкочування і передання фарби у фарбових системах з розтиральними циліндрами є актуальною проблемою.

2. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Враховуючи, що фарбові системи, до складу яких розтиральні циліндри і фарбоживильні пристрої є надзвичайно складними, вирішувати поставлену проблему пропонуємо шляхом імітаційного моделювання.

На сьогодні є досить широкий спектр публікацій, присвячених розкочуванню та накочуванню фарби на форму і передання її на матеріал [5,6,7,8,9]. В роботі [5] досліджено вплив режиму подання фарби на функціонування фарбової системи без врахування повернення фарби у фарбове корито. В роботі [11] досліджено розподіл потоків витрати і повернення фарби до її джерела в усталеному режимі. В публікації [12] здійснено аналіз розподілу потоків фарби між виходом і входом фарбової системи, але без врахування дії розтирального циліндра. Виявлення впливу розтиральних циліндрів на процес передання і розподілу фарби у фарбовій системі є важливою задачею.

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФАРБОВОЇ СИСТЕМИ

Вирішення поставленої задачі виконаємо на базі фарбової системи послідовної структури, схема якого подана на рис. 1.

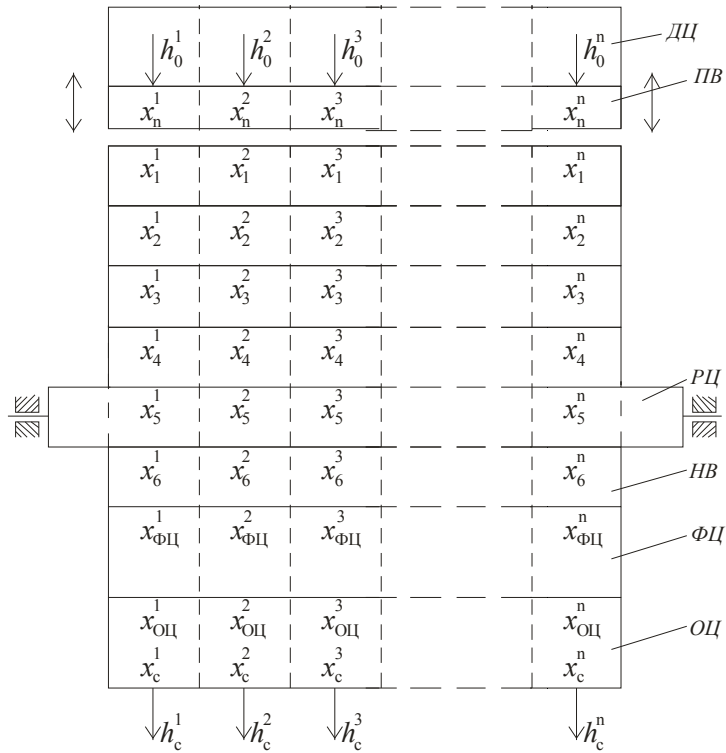


Рис. 1. Схема фарбової системи послідовної структури.

Порції фарби, товщина яких може регулюватись за допомогою регулювальних елементів вздовж твірної дукторного циліндра ДЦ за допомогою передавального валика ПВ, подаються на перший розкочувальний валик фарбової системи. Потoki фарби, які транспортуються фарбовими валиками, сумуються при вході в місця контакту валиків і розчеплюються при виході з них. Шар фарби, що надходить в певну зону поверхні розтирального циліндра РЦ, переміщаючись до місця контакту з наступним валиком, зміщується ще й в осьовому напрямку. Таке ж осьове зміщення отримуватиме і зворотній потік на поверхні циліндра. Отже, дія розтирального циліндра призводить до відхилення прямих і зворотних потоків фарби в осьовому напрямку. Далі фарба із зони контакту РЦ з накочувальним валиком НВ наноситься останнім на друкарську форму, закріплену на формному циліндрі ФЦ, і через офсетний циліндр ОЦ передається на поверхню матеріалу, який задруковується.

При побудові математичної моделі приймаємо наступні допущення: діаметри валиків і циліндрів різні; довжини кіл елементів фарбової системи поділені на ціле число умовних одиниць; час проходження шляху в один $см$ відповідає одній відносній одиниці; лінійні швидкості поверхонь валиків і циліндрів рівні між собою; проковзування між елементами фарбової системи відсутнє; поверхні елементів фарбової системи умовно розділені на зони в напрямку передання фарби; кількість зон відповідає кількості елементів регулювання зонального подання фарби; ширини зон рівні між собою; період переміщення розгортального циліндра в осьовому напрямку та період роботи передавального валика відповідають часу одного оберту формного циліндра. За змінні приймаємо товщини потоків фарби в місцях контакту елементів фарбової системи і на їх поверхнях та товщини шарів подачі фарби і передачі її на відбиток.

На підставі публікацій [1,2,5,9,12,13] та прийнятих припущень, складаємо за схемою фарбової системи (рис.1.) її математичну модель.

$$\begin{aligned}
h^{j_{d_0}}(z) &= P_{\alpha}(z) z^{-P_d} h^{j_{d_0}}(z); \quad x^n(z) = h^{j_0}(z) + l^{j_{d_n}}(z); \\
h^{j_{n_d}}(z) &= (P_{\alpha}(z) \alpha_{n_0} x^{j_n}(z) + \overline{P_{\alpha}}(z) l^{j_{d_n}}) z^{-P_n}; \\
l^{j_{d_0}}(z) &= \gamma_{n_0} x^{j_n}(z); \\
h^{j_{n_{d_{\Sigma}}}}(z) &= P_{\alpha}(z) h^{j_{n_d}}(z) + \overline{P_p}(z) z^{-(R_z + P_n)} l^{j_{n_{1\Sigma}}}(z); \\
l^{j_{n_d}}(z) &= P_{\alpha}(z) z^{-r_n} h^{j_{n_{d_{\Sigma}}}}(z); \\
l^{j_{n_{d_{\Sigma}}}}(z) &= l^{j_{n_d}}(z) + \overline{P_p}(z) z^{-R_z} l^{j_{n_1}}(z); \\
l^{j_{d_n}}(z) &= l^{j_{n_{d_{\Sigma}}}}(z); \\
h^{j_{n_{1\Sigma}}}(z) &= \overline{P_{\alpha}}(z) z^{-P_z} h^{j_{n_d}}(z) + h^{j_{n_1}}(z); \\
h^{j_{1n}}(z) &= P_p(z) h^{j_{n_{1\Sigma}}}(z); \quad x^{j_1}(z) = h^{j_{n_1}}(z) + l^{j_2}(z); \\
l^{j_{n_1}}(z) &= P_p(z) \gamma_1 z^{-r_n} x^{j_1}(z); \\
l^{j_{n_{1\Sigma}}}(z) &= P_p(z) l^{j_{n_1}}(z) + \overline{P_{\alpha c}} z^{-(P_z + r_n)} h^{j_{n_{d_{\Sigma}}}}(z); \\
h^{j_{n_1}}(z) &= P_p(z) z^{-P_n} l^{j_{n_{1\Sigma}}}(z);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_1^j(z) &= (P_p(z)\alpha_1 + \overline{P_p(z)})x_1^j(z); \\
x_1^j(z) &= h_{n_1}^j(z) + l_1^j(z); & h_1^j(z) &= P_1^j(z) - x_1^j(z); \\
x_2^j(z) &= h_1^j(z) + l_2^j(z); & l_1^j(z) &= R_1^j(z) \cdot x_2^j(z); \\
h_2^j(z) &= P_2^j(z) \cdot x_2^j(z); \\
x_3^j(z) &= h_2^j(z) + l_3^j(z); & l_2^j(z) &= R_2^j(z) \cdot x_3^j(z); \\
h_3^j(z) &= P_3^j(z) \cdot x_3^j(z); \\
x_4^j(z) &= h_3^j(z) + l_4^j(z); & l_3^j(z) &= R_3^j(z) \cdot x_4^j(z); \\
h_4^j(z) &= P_4^j(z) \cdot x_4^j(z); \\
x_5^j(z) &= h_4^j(z) + l_5^j(z) + l_5^{j(j-1)}(z) + l_5^{j(j+1)}(z); \\
l_4^j(z) &= R_4^j(z) \cdot x_5^j(z); & h_5^j(z) &= P_5^j(z) \cdot x_5^j(z); \\
h_5^{(j-1)j}(z) &= P_5^{(j-1)j} \cdot x_5^j(z); \\
h_5^{(j+1)j}(z) &= P_5^{(j+1)j} \cdot x_5^j(z); \\
x_6^j(z) &= h_5^j(z) + l_6^j(z) + h_5^{j(j-1)}(z) + h_5^{j(j+1)}(z); \\
l_5^j(z) &= R_5^j(z) \cdot x_6^j(z); & l_5^{(j-1)j}(z) &= R_5^{(j-1)j}(z) \cdot x_6^j(z); \\
l_5^{(j+1)j}(z) &= R_5^{(j+1)j}(z) \cdot x_6^j(z); \\
h_6^j(z) &= P_6^j(z) \cdot x_6^j(z); \\
x_7^j(z) &= h_6^j(z) + l_7^j(z); & l_6^j(z) &= R_6^j(z) \cdot x_7^j(z); \\
h_7^j(z) &= P_{fc}^j(z) \cdot x_7^j(z); \\
x_8^j(z) &= h_7^j(z) + l_9^j(z); & l_7^j(z) &= R_{fc}^j(z) \cdot x_8^j(z); \\
h_8^j(z) &= P_{oc}^j(z) \cdot x_8^j(z); \\
x_9^j(z) &= h_8^j(z); & l_8^j(z) &= R_{oc}^j(z) \cdot x_9^j(z); \\
h_c^j(z) &= P_c^j(z) \cdot x_9^j(z),
\end{aligned} \tag{1}$$

де $h_{d_0}^j(z)$, $h_0^j(z)$ – товщина шару фарби на поверхні дукторного циліндра при виході зі щілини між ножем і циліндром та при підході до зони контакту з передавальним валиком; $h_{n_a}^j(z)$, $h_{n_1}^j(z)$ – товщина прямого потоку фарби на передавальному вали-

ку в моменти, коли він контактує з дукторним циліндром та першим розкочувальним валиком; $l_{n_d}^j, l_{n_1}^j$ – товщина зворотного потоку на передавальному валику в моменти його контакту з дуктором та першим розкочувальним валиком; $l_{n_0}^j$ – товщина зворотного потоку фарби, яка передається у фарбове корито; $x_n^j(z), x_{j_1}^j(z)$ – сумарна товщина фарби в зоні контакту передавального валика з дуктором та з першим валиком розкочувальної групи; p_n, r_n – час транспортування прямих і зворотних потоків фарби поверхню передавального валика у відносних одиницях; $P_{жс}(z), P_p(z)$ – оператори формування процесу передання під час спільного руху передавального валика з дукторним циліндром та першим розкочувальним валиком, які можна подати в такому вигляді; $\alpha_{n_0}, \gamma_{n_0}$ – коефіцієнт передання прямих і зворотних потоків фарби в момент контакту передавального валика з дукторним циліндром; $h_i^j(z), l_i^j(z)$ – товщини прямих і зворотних потоків фарби в окремих зонах на поверхні елементів фарбової системи, які передаються в коловому напрямку (i – послідовність валиків і циліндрів в напрямку проходження фарби); $h_i^{(j-1)j}(z), h_i^{(j+1)j}(z)$ – товщини прямих та зворотних ($l_i^{(j-1)j}(z), l_i^{(j+1)j}(z)$) потоків фарби, які передаються в осьовому напрямку; $x_i^j(z)$ – товщини шару фарби в місцях контакту елементів фарбової системи; x_{fc}, x_{oc} – товщини шару фарби в місцях контакту формного циліндра з накочувальним валиком та офсетного циліндра з формним; $h_i^j(z), h_c^j(z)$ – товщини шарів фарби, що подаються на вхід фарбової системи та передання на матеріал; $P_{fc}^j(z), R_{fc}^j(z)$ – оператори передання прямих і зворотних потоків фарби формним і офсетним ($P_{oc}^j(z), R_{oc}^j(z)$) циліндрами; $P_c^j(z)$ – оператор передання фарби на матеріал; $P_i^j(z), R_i^j(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків валиками і розтиральним циліндром $P_5^j(z), R_5^j(z)$, які за результатами роботи [9] можна подати наступним чином:

$$\begin{aligned}
P_i^j(z) &= \alpha_i z^{-P_i}; R_i^j(z) = \gamma_i z^{-r_i}; P_c = \beta; \\
P_{fc}^j(z) &= \alpha_{fc} z^{-P_{fc}}; P_{oc}^j(z) = \alpha_{oc} z^{-P_{oc}}; R_{oc}^j(z) = \gamma_{oc} z^{-r_{oc}}; \\
R_{fc} &= ((1 - \gamma_{fc}) \cdot \hat{e}_c) z^{-r_{fc}}; R_6^j(z) = (1 - \gamma_i \cdot \hat{e}_c) z^{-r_6}; \\
P_5^j(z) &= (\alpha_5 - \alpha_{oc.\bar{e}}(z) - \alpha_{oc.i}(z)) z^{-P_5}; \\
R_5^j(z) &= (\gamma_3 - \gamma_{oc.\bar{e}}(z) - \gamma_{oc.i}(z)) z^{-r_5},
\end{aligned} \tag{2}$$

де $\alpha_i, \gamma_i = 1 - \alpha_{i+1}$ – коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарб між елементами фарбової системи; \hat{e}_c – коефіцієнт заповнення форми; β – коефіцієнт передачі фарби на відбиток.

Оператори передання прямих і зворотних потоків фарби в осьовому напрямку можна записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
P_5^{(j-1)j}(z) &= \alpha_{oc.\bar{e}}(z) z^{-P_5}; P_5^{(j+1)j}(z) = \alpha_{oc.i}(z) z^{-P_5} \\
R_5^{(j-1)j}(z) &= \gamma_{i\bar{n}.\bar{e}}(z) z^{-r_5}; R_5^{(j+1)j}(z) = \gamma_{i\bar{n}.\bar{e}}(z) z^{-r_5},
\end{aligned} \tag{3}$$

де $\alpha_{i\bar{n}.\bar{e}}(z), \alpha_{i\bar{n}.i}(z)$ – z -зображення передачі прямих і зворотних ($\gamma_{i\bar{n}.\bar{e}}(z), \gamma_{i\bar{n}.i}(z)$) потоків фарби в осьовому напрямку; детально описано в публікаціях [6,10].

На підставі математичної моделі фарбової системи та її схеми, яка подана на рис.1., будуємо структурну схему симулятора динамічної моделі фарбової системи в середовищі Matlab Simulink (рис.2).

4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

При моделюванні геометричні розміри елементів фарбової системи задаємо через показники степеня $p_n, r_n, p_i, r_i, p_{fc}, r_{fc}, p_{oc}, r_{oc}$. Величину осьового ходу приймаємо рівною ширині зони подання фарби, а кількість зон подань фарби $n = 5$. Значення коефіцієнтів передання фарби в зонах контакту елементів фарбової системи задаємо рівними між собою – $\alpha_i = \gamma_i = \alpha_{fc} = \gamma_{fc} = \alpha_{oc} = \gamma_{oc} = 0,5$ і коефіцієнт передання фарби з офсетного циліндра на матеріал β приймаємо рівним 0,5.

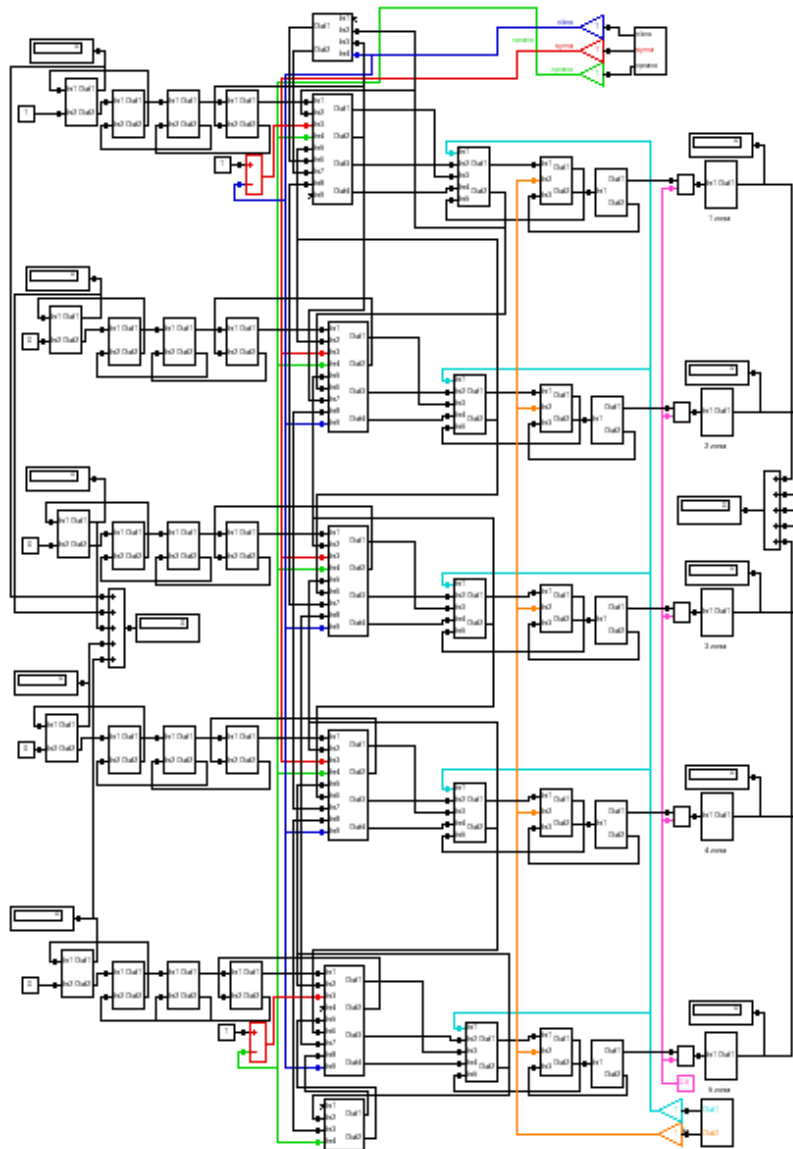


Рис. 2. Структурна схема моделі фарбової системи в середовищі Matlab Simulink

Проводимо моделювання за наступних умов. Будемо змінювати ширину смуги подання фарби передавальним валиком b_d , а відповідно і товщини шарів фарби $h_{d0}^j(z)$ у всіх п'яти зонах таким чином, щоб кількість фарби, що передається на поверхню передавального валика з дукторного циліндра, залишалася сталою, а її товщина $h_0^j(z)$ у всіх зонах, приведена до довжини форми l_f , або довжини кола формного циліндра, за умови, що довжина форми йому відповідає, дорівнювала 1 у.о.

$$h_0^j(z) = \frac{b_d \cdot h_{d0}^j(z)}{l_\phi} = 1 \text{ у.о.} \quad (4)$$

При аналізі розподілу фарби між виходом і входом фарбової системи потрібно оперувати середніми значеннями товщини відповідних шарів фарби. Знаходження середнього значення за графічним поданням рельєфів фарби у відповідних зонах на поверхні відбитка та рельєфів зворотних потоків, що повертаються у фарбове корито, вимагає значної затрати часу, крім того, при цьому існує вірогідність допущення помилки. Тому обчислення середнього значення товщини середнього значення потоку фарби, що повертається у фарбове корито в окремій зоні, пропонуємо проводити автоматично під час моделювання за наступним виразом:

$$l_{d0(cep)}^j(z) = \left(l_{d0}^j \left(z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots + z^{-(l_f-2)} + z^{-(l_f-1)} z^{-l_f} \right) \right) l_f^{-1}, \quad (5)$$

де l_f – транспортне запізнення у відносних одиницях, яке відповідає довжині кола формного циліндра, а, відповідно тривалості циклу роботи передавального валика. Аналогічним чином можна обчислити середнє значення товщини фарби в окремій зоні відбитка. Правда, слід зазначити, що при коефіцієнті заповнення форми меншому від одиниці слід привести товщину шару фарби в окремій зоні до її площі через коефіцієнт заповнення форми. Тобто, середнє значення товщини шару фарби обчислювати за наступним виразом:

$$h_{ccep}^j(z) = \left(k_\phi \cdot h_c^j \left(z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots + z^{-(l_f-2)} + z^{-(l_f-1)} z^{-l_f} \right) \right) l_f^{-1} \quad (6)$$

Отримавши середнє значення товщини шару фарби в окремих зонах можемо легко обчислити середнє значення товщини шару фарби на відбитку або суму середніх значень товщини шару фарби у всіх зонах. Блоки, які реалізують автоматичне визначення середнього значення товщини шару фарби, що передається на відбиток та поверта-

ється у фарбове корито, підключені на виході і вході кожної зони в структурній схемі моделі подано на рис.2.

Задаємо інтервал моделювання таким, за яким система виходить на усталений режим і, змінюючи коефіцієнт заповнення форми, проводимо моделювання, фрагменти результатів якого представлені в таблиці 1. Слід зазначити, що в таблиці 1 подані суми середніх значень товщин шарів фарби в п'яти зонах, що передаються на відбитки $\sum h_{сер}^j(z)$ та суми середніх значень товщин шарів фарби в п'яти зонах, що повертаються у фарбове корито $\sum l_{d0(сер)}^j(z)$.

Таблиця 1, початок

\hat{e}_3	$b_d=1$		$b_d=2$		$b_d=4$		$b_d=5$	
	$h_{сер}$	$l_{dсер}$	$h_{сер}$	$l_{dсер}$	$h_{сер}$	$l_{dсер}$	$h_{сер}$	$l_{dсер}$
1	2,3	2,7	2,1	2,9	1,8	3,2	1,7	3,3
0,75	2,27	2,73	2	3	1,7	3,3	1,6	3,4
0,5	2,2	2,8	1,9	3,1	1,5	3,5	1,4	3,6
0,25	2	3	1,6	3,4	1,2	3,8	1,1	3,9
0,125	1,7	3,3	1,2	3,8	0,8	4,2	0,7	4,3

Таблиця 1, кінець

\hat{e}_3	$b_d=8$		$b_d=10$	
	$h_{сер}$	$l_{dсер}$	$h_{сер}$	$l_{dсер}$
1	1,3	3,7	1,2	3,8
0,75	1,2	3,8	1,1	3,9
0,5	1,1	3,9	0,9	4,1
0,25	0,8	4,2	0,7	4,3
0,125	0,5	4,5	0,4	4,6

За отриманими даними будуюмо графіки, які наглядно відображають вплив зміни ширини смуги подання фарби та коефіцієнта заповнення форми на процес перерозподілу фарби між виходом і входом фарбової системи.

Як видно з графіків (рис.3), збільшення ширини смуги подачі фарби при сталій її кількості приводить до зменшення товщини фарби, що передається на матеріал, що задруковується, а, відповідно, до збільшення зворотного потоку фарби у фарбове корито. Суттєвий вплив на перерозподіл потоків фарби має зміна коефіцієнта заповнення форми, але характер їх перерозподілу при цьому зберігається.

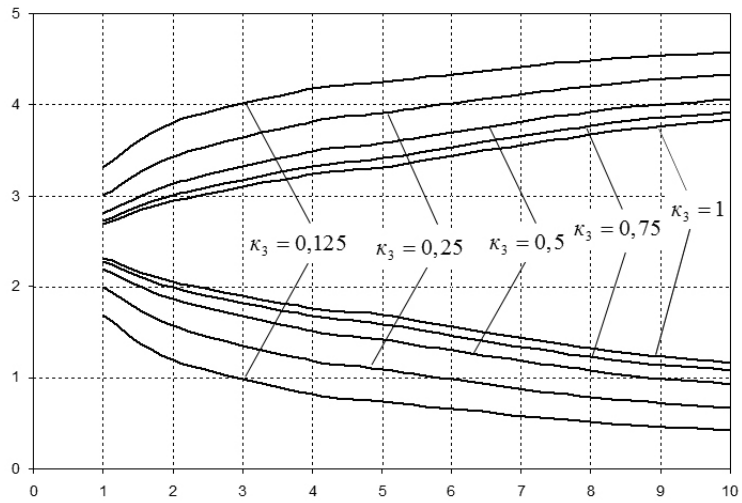


Рис. 3. Графіки розподілу фарби між виходом і входом фарбової системи при зміні ширини смуги подання фарби b_d

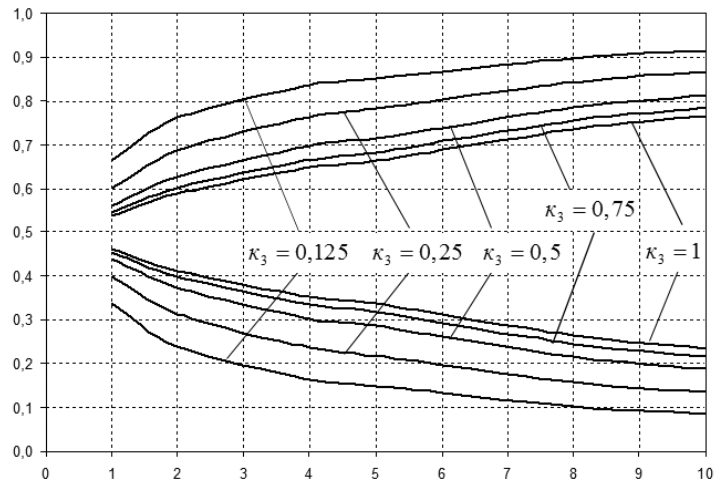


Рис. 4. Графіки розподілу фарби між виходом і входом фарбової системи при зміні ширини смуги подання фарби b_d в окрему зону

Подаємо порції фарби різної ширини, зберігаючи сталою її кількість, в різні зони фарбової системи і проводимо моделювання, змінюючи b_d таким же чином, як і в попередньому випадку. Отримані результати представлені графічно на рис.4. Числові значення товщин потоків фарби між виходом і входом фарбової системи при подачі її в різні зони співпадають, а їх характер є аналогічним до того випадку, коли подача фарби здійснювалася одночасно у всі зони (рис.3.).

Як бачимо з аналізу графіків розподілу потоків фарби, між виходом і входом фарбової системи, представлених на рис.3 і рис.4. сума потоків фарби, що передаються на задрукований матеріал та повертаються у фарбове корито у всіх випадках зміни ширини смуги подачі фарби, коефіцієнта заповнення форми відповідає кількості подачі фарби у фарбову систему, тобто зберігається баланс, що підтверджує достовірність моделі.

5. ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель фарбової системи з фарбо живильним пристроєм та розтиральним циліндром, яка описує процес циркулювання потоків фарби між виходом і входом фарбової системи при дії розтирального циліндра в динаміці.

Побудовано структурну схему моделі в середовищі Matlab Simulink, яка дає можливість визначити середнє значення товщини шарів фарби в окремих зонах, що передаються на відбиток та повертаються у фарбове корито при виході фарбової системи на усталений режим.

Обчислення середніх значень товщин шарів фарби, що передається в j -ту зону відбитка та повертається в j -ту зону фарбового корита, і їх сум дає можливість проводити аналіз розподілу фарби між виходом і входом фарбової системи.

Встановлено, що зміна ширини смуги подачі фарби суттєво впливає на перерозподіл фарби між входом і виходом фарбової системи. Зменшення коефіцієнта заповнення форми призводить до збільшення зворотного потоку фарби в дукторне корито. Виявлено, що зміна кількості подання фарби та зони її подання не впливає на характер розподілу фарби між виходом та входом фарбової системи.

Отримані результати можуть слугувати для побудови та дослідження більш складних фарбових систем.

1. Алексеев Г. А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. – М.: Книга, 1980. – 183 с. 2. Тюрин А.А. Печатные машины-автоматы. – М.: Книга, 1980. – 415 с. 3. С.М. Ярема, Б.Г. Мамут Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні та лакувальні пристрої друкарських

машин. – К.: Ун-т «Україна»: ХК «Бліц-Інформ», 2003. – 191 с. 4. Друкарське устаткування: Підручник /Я.І. Чехман, В.Т. Сенкус, В.П. Дідич, В.О. Босак. – Львів: УАД, 2005. – 468 С. 5. Верхола М.І., Луцків М.М., Зіненко Р.Г. Часовий і операторний методи описання процесу розкочування фарби в друкарських машинах. Виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – №34, 1999., – С. 53-57. 6. Верхола М.І., Гук І.Б. Моделювання осьового розкочування фарби в програмному пакеті MATLAB-Simulink //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2004. – №11. – С. 19-35. 7. Верхола М.І., Луцків М.М. Основні засади та сутність розкочування фарби у фарбових системах //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2004. – №12. – С. 14-26. 8. Верхола М.І., Гук І.Б. Аналіз осьового розкочування фарби в усталеному режимі роботи фарбової системи //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2005. – №13. – С. 14-35. 9. Верхола М.І., Гук І.Б. Моделювання та визначення розподілу фарби в динаміці у фарбових системах з розтиральними циліндрами //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2006. – №16. – С. 3-13. 10. Верхола М.І., Бабінець В.М., Гук І.Б. Моделювання та аналіз режиму подачі фарби на процес її розкочування у фарбовій системі //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2002. – №8. – С. 3-15. 11. Луцків М.М., Рибак В.М. Розрахунок і побудова номограм розходу та відбору фарби у фарбо друкарських системах послідовної структури //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2007. – №18. – С. 30-39. 12. Верхола М.І., Бабінець В.М. Визначення коефіцієнта передачі фарби передаючим валіком та аналіз розподілу фарби між входом та виходом фарбової системи з трьома накочувальними валіками //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2008. – №20. – С. 3-24. 13. Верхола М.І., Гук І.Б. Моделювання та визначення коефіцієнта передачі фарби передавальним валіком у фарбовій системі з розтиральним циліндром //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2009. – №22. – С. 43-51. 14. Верхола М.І., Гук І.Б., Споляк Р.М. Моделювання та комп'ютерне визначення зонального розподілу товщини шарів фарби на виході фарбодрукарської системи з розтиральним циліндром //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2010. – №23. – С. 22-34.