

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТОВЩИНИ ШАРІВ ФАРБИ НА ВИХОДІ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ З РОЗТИРАЛЬНИМ ЦИЛІНДРОМ

Запропоновано спосіб автоматичного визначення середніх значень товщини шару фарби у відповідних зонах відбитка, на підставі яких зручно проводити дослідження фарбових систем з розтиральними циліндрами.

Method for automatical define average value of paint thickness in respective areas of printed sheet was proposed. It is comfortable to use this method for research inking systems with grinding cylinders.

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

Фарбові системи призначені для стабільного і рівномірного нанесення шару фарби на друкувальні елементи форми протягом усього часу друкування тиражу [1, 2]. Процес проходження фарби у фарбових системах складається з кількох етапів: надходження фарби з дукторного корита, розкочування, передача на накочувальні валики і нанесення на друкарську форму. Більшість друкарських машин оснащена дукторно-ножевими фарбоживильними пристроями. Дукторний циліндр, повертаючись за цикл роботи фарбоживильного пристрою на певний кут, формує вздовж своєї твірної порцію фарби певної ширини і товщини, яка задається гвинтами зонального регулювання. Фарба з поверхні дукторного циліндра частково забирається передавальним валиком у момент його контакту з циліндром і передається на перший розкочувальний валик. Період коливання передавального валика може дорівнювати одному або двом циклам роботи друкарської машини.

Розкочування фарби супроводжується послідовним утворенням і розщепленням шару фарби в кожній зоні контакту [3].

Завдяки багаторазовому розщепленню початкової порції фарби, яка подається в розкочувальну систему, фарба надходить до накочувальних валиків у вигляді тонкого суцільного шару. Оскільки фарба з накочувальних валиків передається лише на друкувальні елементи форми, то на валиках утворюється відповідний рельєф, для згладжування

¹ Українська академія друкарства

якого у фарбову систему вводять циліндри, які мають крім колового, ще й осьовий зворотно-поступальний рух. Крім того, для вирівнювання товщини фарби вздовж твірних валиків, розтиральні циліндри розміщують ще й на вході фарбових систем.

Робота розтиральних циліндрів зменшує ефект від зонального регулювання подачі фарби, що в значній мірі ускладнює налагодження фарбової системи.

Оскільки якість друкованої продукції безпосередньо залежить від здатності фарбової системи передавати фарбу рівномірним тонким шаром на друкувальні елементи форми, то контроль за товщиною фарби на виході та дослідження факторів, які впливають на її зміну, є актуальною задачею.

2. АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ТЕМОЮ

У монографії [3] експериментально встановлено, що зміна осьового ходу розтиральних циліндрів, які контактують з накочувальними валиками, впливає на якість друку. Величина осьового ходу розтиральних циліндрів накочувальної системи залежить від зображення форми. Осьовий хід розтиральних циліндрів розкочувальної системи зв'язаний із зональною подачею фарби. Але в роботі [3] не наводиться жодних варіантів математичного опису цих взаємозв'язків.

У праці [4] стверджується, що оптимальний режим роботи розтиральних циліндрів залежить від геометричних параметрів розкочувальної групи, в'язкості фарби, швидкості і тривалості роботи машини, ступеня заповнення форми друкувальними елементами, і він підбирається в процесі друкування.

Налагодження режиму роботи розтиральних циліндрів під час друку вимагає додаткових часових затрат і збільшує відсоток некондиційної продукції.

Крім того зазначається, що осьове розкочування фарби суттєво ускладнює розрахунок попереднього налагодження фарбоживильного пристрою. Однак не подається ніяких варіантів вирішення цієї задачі.

Сучасні друкарські машини оснащуються системами автоматичного регулювання і попереднього налагодження загальної і зональної подачі фарби, в яких використовуються динамічні денситометри для визначення площі друкувальних елементів [1]. Розрахунок потрібних порцій подачі фарби здійснюється за допомогою комп'ютерної техніки.

Для цього спочатку на спеціальному столі сканувальна головка переміщується над оригіналом відбитка. Відтак підраховується, виходячи з образу відбитка, кількість фарби для кожної зони відбитка. За ре-

зультатами вимірювань обчислюються зазори між дукторним ножом і циліндром у кожній зоні регулювання.

Як бачимо, в даному випадку денситометр використовується для визначення коефіцієнтів заповнення форми у відповідних зонах. Денситометром також можна виміряти оптичну щільність відбитка, але вона не має лінійної залежності від товщини і має зону насичення [5], через що втрачається зв'язок із товщиною фарби при певному її значенні.

На даний час є ряд публікацій з моделювання фарбових систем, присвячених подачі, розкочуванню та накочуванню фарби на друкувальні елементи форми, а також передачі на матеріал [6, 7], в яких при імітаційному дослідженні фарбових систем оперують з товщиною фарби. Однак, якщо фарбову систему та відбитки на виході умовно розділити на зони, ширина яких дорівнює ширині зони регулювання подачі фарби на вході, то приймається, що товщина фарби впоперек відбитка в окремій зоні є сталою, а змінюється вона в напрямку передачі фарби з входу на вихід і в повздовжньому напрямку відбитка.

Для дослідження та аналізу фарбових систем не завжди зручно користуватись профілями товщини фарби в окремих зонах відбитка або певних зонах на поверхні інших елементів фарбової системи. Так, при аналізі зонального розподілу товщини шару на відбитках, результати якого можна використати для попереднього налагодження фарбової системи, зручніше користуватись середніми значеннями товщини фарби. Ці значення можна визначити за графіками профілів фарби, які отримують при моделюванні, але це вимагає значної затрати часу. Тому в даній роботі середнє значення товщини шару фарби, як на відбитку в цілому, так і в окремих його зонах, пропонується визначати автоматично під час моделювання.

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФАРБОВОЇ СИСТЕМИ

Фарбові системи для в'язких фарб мають різні структури і складаються з еластичних валиків і металевих циліндрів, кількість яких може становити кілька десятків. Останнім часом фірми-виробники друкарських машин дещо зменшили кількість елементів фарбової системи. Накочувальні групи фарбових систем можуть

мати до чотирьох накочувальних валиків. Фарба переміщається від входу фарбової системи, розкочується і передається на друкувальні елементи форми і далі на відбиток. Частина фарби, яка не відбирається формою, повертається назад у фарбову систему, створюючи

зворотні потоки. Отже, у фарбових системах циркулюють прямі і зворотні потоки, які зміщуються ще й осьовому напрямку.

Враховуючи складність фарбових систем, для вирішення поставленої задачі розглядатимемо спрощену систему послідовної структури, яку можна отримати, вилучивши зі схеми фарбової системи друкарської машини RomaJob 314, представлені на рис. 1 в роботі [7], два із трьох накочувальних валиків.

При створенні моделі фарбової системи робимо наступні припущення: поверхні фарбових валиків і циліндрів умовно розділяємо на зони, кількість яких дорівнює кількості зон регулювання; фарба подається рівномірними шарами в межах окремої зони на поверхню першого валика і далі переміщується в напрямку обертання валиків; діаметри валиків і циліндрів є різними; лінійні швидкості поверхонь елементів фарбової системи в коловому напрямку є однаковими; витрата фарби за одиницю часу визначається товщиною фарбового шару; за змінні приймаємо товщину шару фарби в місцях контакту валиків і циліндрів, а також товщини прямих та зворотних потоків фарби на поверхні елементів фарбової системи та матеріалі, що задруковується.

У місцях контакту елементів фарбової системи фарба розщеплюється і ділиться на два потоки: прямий і зворотний [3, 4]. Потоки фарби, які переміщуються поверхнею розтирального циліндра, зміщуються ще й в осьовому напрямку. Тому в місцях контакту розтирального циліндра з накочувальним валиком в межах окремої зони поступить частина фарби, яка перетранспортувалась циліндром в коловому напрямку в межах цієї зони, а частина потоку фарби надходитиме із сусідньої зони [8]. Ці потоки сумуються із зворотним потоком фарби, який залишається на поверхні накочувального валика після передачі частини фарби на друкувальні елементи. З форми фарба через офсетний циліндр передається на матеріал, що задруковується.

На підставі вище викладеного та спираючись на результати праць [9, 10], математична модель восьмиелементної послідовної фарбової системи для j -тої зони потоку фарби матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
x_1^j(z) &= h_0^j(z) + l_1^j(z); & h_1^j(z) &= P_1^j(z) - x_1^j(z); \\
x_2^j(z) &= h_1^j(z) + l_2^j(z); & l_1^j(z) &= R_1^j(z) \cdot x_2^j(z); \\
h_2^j(z) &= P_2^j(z) \cdot x_2^j(z); \\
x_3^j(z) &= h_2^j(z) + l_3^j(z); & l_2^j(z) &= R_2^j(z) \cdot x_3^j(z); \\
h_3^j(z) &= P_3^j(z) \cdot x_3^j(z); \\
x_4^j(z) &= h_3^j(z) + l_4^j(z); & l_3^j(z) &= R_3^j(z) \cdot x_4^j(z); \\
h_4^j(z) &= P_4^j(z) \cdot x_4^j(z); \\
x_5^j(z) &= h_4^j(z) + l_5^j(z) + l_5^{j(j-1)}(z) + l_5^{j(j+1)}(z); \\
l_4^j(z) &= R_4^j(z) \cdot x_5^j(z); & h_5^j(z) &= P_5^j(z) \cdot x_5^j(z); \\
h_5^{(j-1)j}(z) &= P_5^{(j-1)j}(z) \cdot x_5^j(z); \\
h_5^{(j+1)j}(z) &= P_5^{(j+1)j}(z) \cdot x_5^j(z); \\
x_6^j(z) &= h_5^j(z) + l_6^j(z) + h_5^{j(j-1)}(z) + h_5^{j(j+1)}(z); \\
l_5^j(z) &= R_5^j(z) \cdot x_6^j(z); & l_5^{(j-1)j}(z) &= R_5^{(j-1)j}(z) \cdot x_6^j(z); \\
l_5^{(j+1)j}(z) &= R_5^{(j+1)j}(z) \cdot x_6^j(z); \\
h_6^j(z) &= P_6^j(z) \cdot x_6^j(z); \\
x_7^j(z) &= h_6^j(z) + l_7^j(z); & l_6^j(z) &= R_6^j(z) \cdot x_7^j(z); \\
h_7^j(z) &= P_7^j(z) \cdot x_7^j(z); \\
x_8^j(z) &= h_7^j(z) + l_8^j(z); & l_7^j(z) &= R_7^j(z) \cdot x_8^j(z); \\
h_8^j(z) &= P_8^j(z) \cdot x_8^j(z); \\
x_9^j(z) &= h_8^j(z); & l_8^j(z) &= R_8^j(z) \cdot x_9^j(z); \\
h_c^j(z) &= P_c^j(z) \cdot x_9^j(z),
\end{aligned} \tag{1}$$

де $h_i^j(z), l_i^j(z)$ – 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; $h_i^j(z), h_c^j(z)$ – товщини шарів фарби, що подаються на вхід фарбової системи та передаються на матеріал; $P_7^j(z), R_7^j(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби формним і офсетним ($P_8^j(z)R_8^j(z)$) циліндрами; $P_c^j(z)$ – оператор передачі 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 [10] можна подати наступним чином:

$$\begin{aligned} P_i^j(z) &= \alpha_i z^{-P_i}; R_i^j(z) = \gamma_i z^{-r_i}; \\ P_5^j(z) &= (\alpha_5 - \alpha_{oc.\bar{e}}(z) - \alpha_{oc.i}(z)) z^{-P_5}; \\ R_5^j(z) &= (\gamma_5 - \gamma_{oc.\bar{e}}(z) - \gamma_{oc.i}(z)) z^{-r_5}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\alpha_i, \gamma_i = 1 - \alpha_{i+1}$ – коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарб між елементами фарбової системи.

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

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

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 [9, 10].

За системою рівнянь будуємо сигнальний граф фарбової системи, опускаючи z , який представлений на рис.1.

На підставі математичної моделі (1) та сигнального графа (рис.1.), використовуючи засоби програмного пакету Matlab – Simulink 6, побудовано структурну схему симулятора моделі фарбової системи (рис.2).

4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

При моделюванні геометричні розміри валиків і циліндрів, які відповідають розмірам відповідних елементів друкарської машини

Ротајог 314, задаємо через показники степеня P_i, r_i в операторах передачі фарби. Кількість зон подачі фарби приймаємо $n=5$, а величину осьового ходу – рівного ширині зони подачі фарби. Значення коефіцієнтів передачі фарби в зонах контакту елементів фарбової системи задаємо $\alpha_i = \gamma_i = 0,5$, і коефіцієнт передачі фарби з офсетного циліндра на матеріал $\beta = 0,5$.

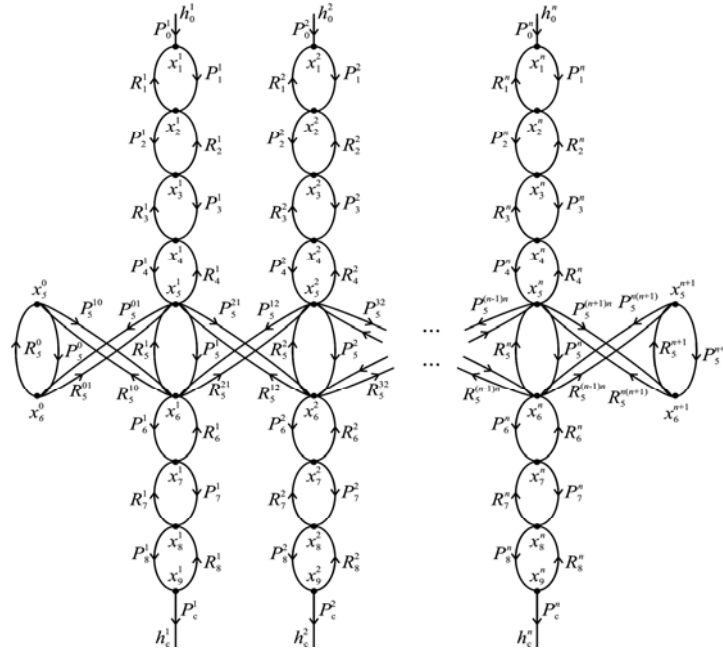


Рис. 1. Сигнальний граф фарбової системи в середовищі Matlab-Simulink

Приймаємо, що коефіцієнт заповнення форми дорівнює 0,5, а рисунок форми задамо у вигляді смуг, розміщених поперек потоку фарби. Тоді оператор передачі фарби формою в окремій зоні згідно з [6] можна представити в такому вигляді:

$$P_5^j(z) = \alpha_5 [1 - z^{-a_j} + z^{-(a_j^i + b_j^i)} - z^{-(a_j^i + b_j^i + a_2^i)} + z^{-(a_j^i + b_j^i + a_2^i + b_2^i)} + \dots + z^{-(a_j^i + b_j^i + \dots + a_{n-1}^i + b_{n-1}^i)} - z^{-(a_j^i + b_j^i + \dots + a_n^i + b_n^i)}] \cdot z^{-P_7} (1 - z^{-d_7})^{-1}, \quad (4)$$

де a_i^j, b_i^j – висота друкувальних і пробільних смуг в окремій j -тій зоні; d_7 – відносний час одного оберту формного циліндра, який відповідає довжині його кола.

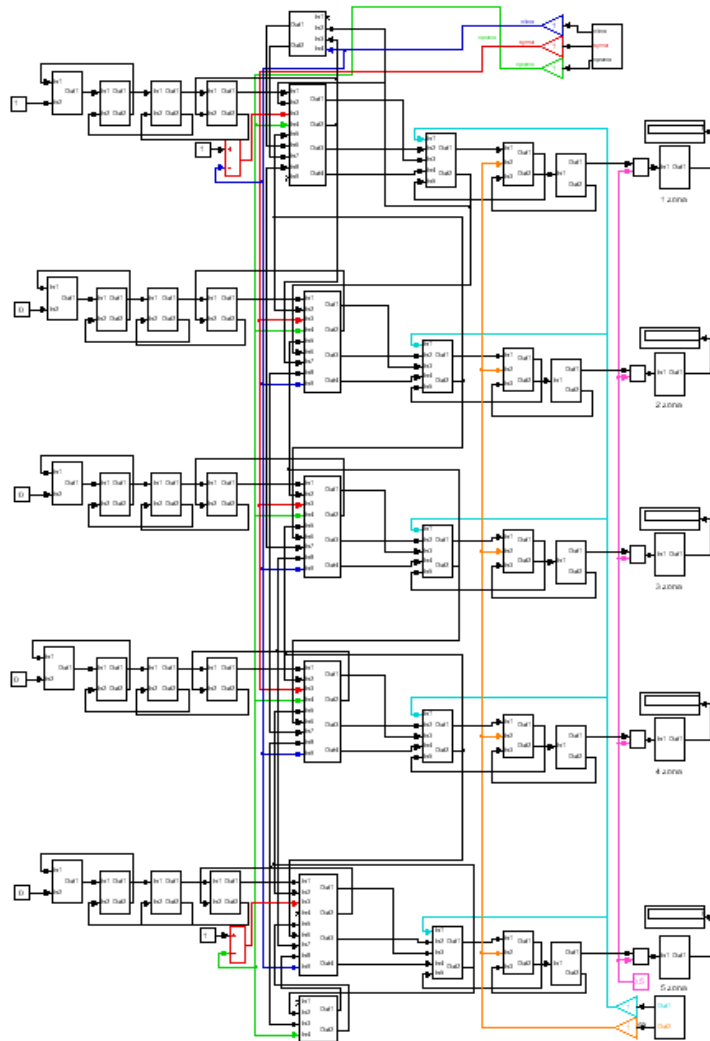


Рис. 2. Структурна схема моделі фарбової системи

Задаємо подачу фарби товщиною одна умовна одиниця лише в першу зону при умові, що $a_i^j = b_i^j$, тобто $k_3 = 0,5$. Після цього активізуємо вікно з структурною схемою моделі, задаємо інтервал моделювання, за який система виходить на усталений режим, і проводимо мо-

делювання, в результаті якого отримуємо графік профіля шару фарби на відбитках представлено на рис.3.

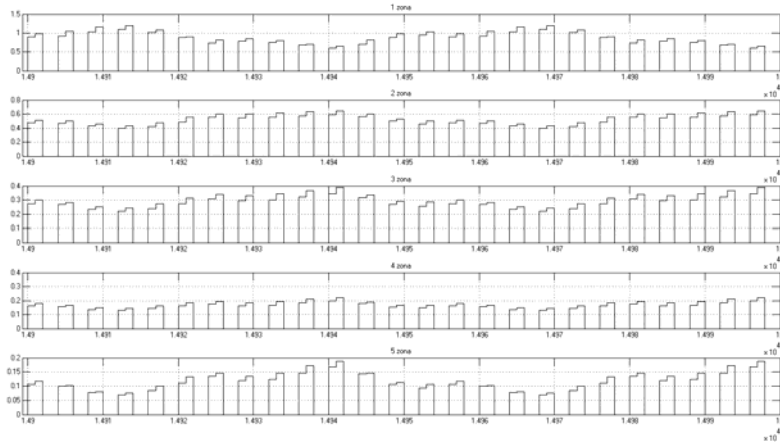


Рис. 3. Графіки профіля фарби в п'яти зонах на виході фарбодрукарської системи при $k_3 = 0,5$

При аналізі зонального розподілу кількості фарби потрібно оперувати середніми значеннями товщини шару фарби. Знаходження середнього значення товщини фарби за графічним представленням рельєфів вимагає значної затрати часу та напруження уваги, щоб не допустити помилки. Тому обчислення середнього значення товщини фарби в окремій зоні відбитка пропонуємо проводити автоматично під час модельного експерименту за наступним виразом:

$$h_{c\text{сер}}^j = \left(h_c^j \left(z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots + z^{-(l_\delta-2)} + z^{-(l_\delta-1)} + z^{-l_\delta} \right) \right) l_\delta^{-1}, \quad (5)$$

де l_δ – транспортне запізнення у відносних одиницях, яке відповідає довжині форми в напрямі передачі фарби.

Отримавши середні значення товщини шару фарби в окремих зонах можемо обчислити середні значення товщини шару фарби відбитка:

$$h_{c\text{сер}}^{\text{в\ddot{a}}} = (h_{c\text{сер}}^1 + h_{c\text{сер}}^2 + h_{c\text{сер}}^3 + h_{c\text{сер}}^4 + \dots + h_{c\text{сер}}^{n-1} + h_{c\text{сер}}^n) n^{-1}.$$

Якщо при дослідженнях не враховувати виямки формного циліндра, то можна приймати, що довжина форми l_δ дорівнює довжині кола формного циліндра d_7 .

Блоки, які реалізують вираз (5) підключені на виході кожної зони в структурній схемі симулятора моделі, представленої на рис. 2.

Подасємо шар фарби товщиною одна умовна одиниця, як і в попередньому випадку лише в першу зону і, змінюючи коефіцієнт заповнення форми, проводимо моделювання, результати якого зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

№ п/п	h_c^1	h_c^2	h_c^3	h_c^4	h_c^5
1	0,5619	0,2629	0,108	0,04432	0,02289
0,75	0,5117	0,2655	0,126	0,06047	0,0362
0,5	0,4454	0,2621	0,1476	0,08514	0,05976
0,25	0,3571	0,2464	0,1717	0,1233	0,1015
0,125	0,29	0,2289	0,1869	0,1547	0,1395

За даними таблиці 1 будуємо графіки, які наочно відображають вплив коефіцієнта заповнення форми на зональний розподіл середніх значень товщини шару фарби на виході фарбодрукарської системи.

Як бачимо з графіків (рис.4), найбільший розкид середніх значень товщин шарів фарби між зонами спостерігається при $k_c = 1$, а зі збільшенням коефіцієнта заповнення зменшуються відхилення середніх значень товщини шару між зонами відбитку, тобто спостерігається вирівнювання товщини шару впоперек відбитка.

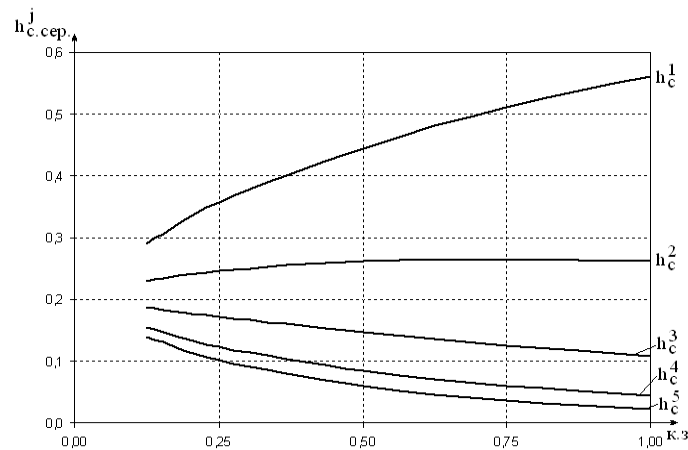


Рис. 4. Графіки зонального розподілу товщини шару фарби на відбитках при подачі фарби в першу зону

Так, якщо при $k_{\zeta} = 1$ $h_{c, \text{сеп}}^1 = 0,5619$ у.о., то при $k_{\zeta} = 0,125$ середнє значення товщини шару фарби в першій зоні становить $0,29$ у.о., тобто зменшується майже в два рази. Середнє значення товщини шару фарби в п'ятій зоні $h_{c, \text{сеп}}^5$, навпаки, збільшується з $0,02289$ у.о. при $k_{\zeta} = 1$ до $0,1395$ при $k_{\zeta} = 0,125$, тобто майже в шість разів.

подаємо подачу фарби товщиною одна умовна одиниця в третю, тобто середню зону та проводимо модельні експерименти при різних значеннях коефіцієнта заповнення форми. Отримані результати представимо в таблиці 2.

Таблиця 2

№ п/п	h_c^1	h_c^2	h_c^3	h_c^4	h_c^5
1	0,1026	0,203	0,3888	0,203	0,1026
0,75	0,1208	0,2043	0,35	0,2043	0,1208
0,5	0,1425	0,2042	0,3068	0,2042	0,1425
0,25	0,1691	0,203	0,2594	0,2023	0,1662
0,125	0,1841	0,2014	0,2322	0,2011	0,1811

За даними таблиці 2, як і в попередньому випадку, будемо графіки зонального розподілу середніх значень товщини шару на виході фарбодрукарської системи, тобто на відбитку (рис.5).

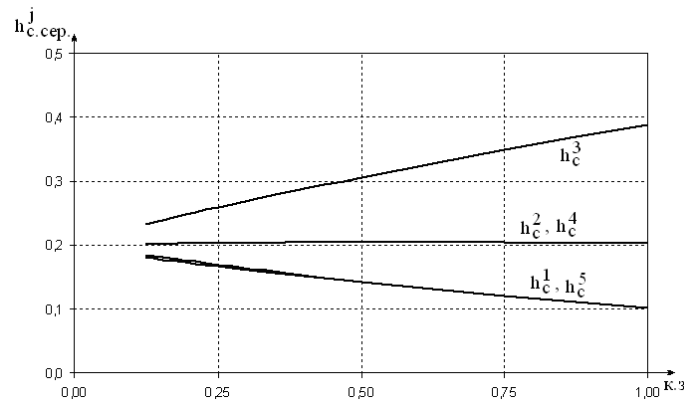


Рис. 5 Графіки зонального розподілу товщини шару фарби на відбитках при подачі фарби в третю зону

Розкид середніх значень товщин шарів фарби між зонами відбитку в даному випадку значно менший, ніж на графіках, представлених на рис.4.

Крім того спостерігається певна симетрія, тобто співпадіння середніх значень товщини фарби при зміні коефіцієнта заповнення в першій зоні з п'ятою і в другій зоні з четвертою.

Це пояснюється тим, що подача фарби здійснювалася в середню, третю зону. Але, якщо середнє значення товщини шару фарби в третій зоні відбитка зменшилося приблизно на 40% при зменшенні коефіцієнта заповнення з 1 до 0,125, то середні значення товщин шарів фарби в крайніх зонах, тобто $h_{c\text{сер}}^1$ та $h_{c\text{сер}}^5$, навпаки, збільшилися майже на 80%. В той же час середні значення товщин шарів фарби в другій і четвертій зонах, тобто $h_{c\text{сер}}^2$ та $h_{c\text{сер}}^4$, при зменшенні коефіцієнта заповнення залишилися практично незмінними.

Змінюючи величину осьового ходу та фазу початкового положення розтирального циліндра стосовно форми, можна впливати на зональний розподіл товщини шару фарби на відбитках.

5. ВИСНОВКИ

1. У статті розроблено математичну модель і сигнальний граф фарбової системи з розтиральним циліндром та формою, коефіцієнт заповнення якої можна змінювати.

2. Побудовано структурну схему моделі фарбової системи в середовищі Matlab-Simulink, яка дає можливість визначати середні значення товщин шарів фарби в окремих зонах, і на її основі проведено дослідження зонального розподілу товщини шару фарби на відбитках.

3. Запропоновано спосіб автоматичного визначення середніх значень товщини шару фарби в окремих зонах та на цілому відбитку, що суттєво скорочує затрати часу при дослідженні фарбових систем.

4. Обчислення середніх значень товщини шарів фарби в окремих зонах, приведені до довжини форми, дає можливість проводити аналіз балансу подачі і відбору потоків фарби, перевіряти достовірність розробленої моделі.

5. Запропоновані в роботі підходи дають можливість налагоджувати режими роботи розтиральних циліндрів в залежності від характеру зображення на формі та можуть бути використані для дослідження більш складних фарбових систем.

1. С. М. Ярема, Б. Г. Мамут Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні та лакувальні пристрої друкарських машин. – К.: Ун-т «Україна»: ХК «Бліц-

Информ», 2003. – 191 с. 2. Друкарське устаткування: Підручник /Я. І. Чехман, В. Т. Сенкус, В. П. Дідич, В. О. Босак. – Львів: УАД, 2005. – 468с. 3. Алексеев Г. А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. – М.: Книга, 1980. – 183 с. 4. Тюрин А. А. Печатные машины-автоматы. – М.: Книга, 1980. – 415 с. 5. Раскин А. Н. и др. Технология печатных процессов. – М., Книга. 1989. – 389 с. 6. Верхола М. І., Гук І. Б., Бабінець В. М. Моделювання та аналіз впливу розміщення друкуючих елементів на формі на процес розподілу фарби у фарбових системах //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2007. – №18. – с.5-21. 7. Верхола М. І., Бабінець В. М. Визначення коефіцієнта передачі фарби передаючим валиком та аналіз розподілу фарби між входом та виходом фарбової системи з трьома накочувальними валиками //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2008. – №20. – с.3-24. 8. Верхола М. І., Гук І. Б. Аналіз осьового розкочування фарби в усталеному режимі роботи фарбової системи //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2005. – №13. – с.14-34. 9. Верхола М. І., Гук І. Б. Моделювання та аналіз впливу траєкторії руху розтирочного циліндра на процес розкочування фарби //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2001. – №6. – с.337-352. 10. Верхола М. І., Гук І. Б. Моделювання та визначення розподілу фарби в динаміці у фарбових системах з розтиральними циліндрами //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць Української академії друкарства. – Львів, 2006. – №16. – с.3-13.