

УДК 004.942:681.625.23

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ
МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ РЕЖИМУ РОБОТИ
ФАРБОЖИВИЛЬНОГО ПРИСТРОЮ
НА РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ФАРБИ У ФАРБОДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ**

М. І. Верхола, В. М. Бабінець, І. Б. Гук

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

Робота пов'язана з визначенням впливу варіантів подання моделі (ступеня деталізації математичного опису) фарбоживильного пристрою на коловий і осьовий розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі. Дане завдання розглядається на прикладі фарбодрукарської системи послідовної структури з розтиральним циліндром. Для вирішення поставленого завдання розроблено математичну модель та сигнальний граф фарбодрукарської системи на основі яких побудовано в середовищі Matlab-Simulink два варіанти симуляторів з різними моделями фарбоживильних пристроїв. Ці симулятори дають можливість відтворювати процеси колового і осьового розподілу та передачі фарби у фарбодрукарській системі з врахуванням режимів роботи фарбоживильного пристрою та розтирального циліндра. В результаті моделювання досліджено вплив різних варіантів подання моделі фарбоживильного пристрою на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі. Встановлено, за умови відсутності осьового переміщення розтирального циліндра, ідентичність характеру колового розподілення потоків фарби у фарбодрукарській системі при різних варіантах моделі фарбоживильного пристрою. Виявлено, що параметри зонального входного завдання для різних варіантів математичного опису фарбоживильного пристрою суттєво відрізняються. Проведено моделювання та дослідження впливу фарбоживильного пристрою на коловий і осьовий розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі з врахуванням режиму роботи розтирального циліндра. Встановлено, що із збільшенням величини осьового ходу циліндра сумарна товщина фарби всіх зон відбитка зменшується, а в тих зонах, де коефіцієнт заповнення форми великий, або рівний $k_3^j = 1,0$, товщина фарби зростає. Перерозподіл потоків фарби у зони з більшим коефіцієнтом заповнення друкувальними елементами відбувається за рахунок зменшення товщин фарби у зонах з малим коефіцієнтом заповнення і ця тенденція зберігається при різних варіантах розміщення k_3^j на формі. Виявлено, що при дії розтирального циліндра характер розподілу товщин потоків фарби j -тих зонах елементів фарбодрукарської системи, для різних варіантів моделі фарбоживильного пристрою, не однаковий. Встановлено, що модель фарбоживильного пристрою, яка враховує коливальний рух передавального валика більш точно відтворює процеси розподілу і передачі фарби фарбодрукарськими системами друкарських офсетних машин,

тому саме її можна використовувати для визначення параметрів попереднього налагодження фарбодрукарських систем.

Ключові слова: математична модель, фарбоживильний пристрій, сигнальний граф, передавальний валик, розтиральний циліндр, процеси розподілу і передачі фарби, коефіцієнт заповнення, друкарська форма.

Постановка проблеми. В друкарських машинах, які реалізують офсетний спосіб друку, якість відтворення зображення залежить від технологічно необхідної товщини фарби та її рівномірності нанесення на відбитки. Отже, якість друкованої продукції безпосередньо пов'язана з точністю попереднього налагодження фарбодрукарських систем [1]. З багаторічних досліджень встановлено, що кількість фарби, яку необхідно подати на вхід фарбодрукарської системи залежить від багатьох факторів, таких як: ступінь і характер заповнення форми друкувальними елементами, коефіцієнти поділу фарби між елементами фарбодрукарської системи, структура системи та інших. У фарбодрукарських системах офсетних машин використовуються дукторно-ножові фарбоживильні пристрої. Для налагодження таких пристроїв застосовуються відповідні регулювальні органи. Загальне регулювання дискретної подачі фарби здійснюється зміною: кута повороту або швидкості обертання дуктора, часу вистою передавального валика біля дукторного циліндра та числа коливань за цикл роботи фарбодрукарської системи. Зональне регулювання подачі фарби реалізується за рахунок зміни розміру щілини між циліндром та дукторним ножом. Сучасні офсетні машини оснащені високотехнологічними технічними системами, які здатні регулювати подачу фарби з точністю 0,5 мкм і вище. Проблема полягає в отриманні такої ж точної та достовірної інформації для попереднього налагодження фарбодрукарських систем на заданий наклад.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автор роботи [2] пропонує визначати вхідне завдання на основі експериментальних кривих подачі фарби, які встановлюють для кожної фарбодрукарської системи офсетної машини залежність товщини потоку фарби на вході від коефіцієнта зонального заповнення. Такий метод є надзвичайно складним і не гарантує отримання достовірної інформації через вплив багатьох факторів, які негативно впливають на результат експериментальних досліджень.

У праці [3] для визначення розміру щілини між дукторним ножом та дуктором пропонується визначити середню товщину потоку фарби, який потрібно передати на відповідну ділянку форми на основі відомої залежності між оптичною щільністю зображення та товщиною фарби на відбитку чи формі. Проте автор не розкриває способу розрахунку параметрів для попереднього налагодження. В публікації [4] для визначення параметрів попереднього налагодження розроблена модель фарбодрукарської системи, яка враховує коефіцієнти передачі фарби, загальний коефіцієнт підсилення системи і залежність оптичної щільності від товщини фарби. Запропоновано рівняння

для визначення товщини фарби вхідного завдання. Модель, яку запропонував автор описує лише усталений режим роботи і не враховує вплив характеру навантаження фарбодрукарської системи. Також не враховується властивість матеріалу, що задруковується, а дія розтиральних циліндрів представлена інвертованою матрицею, елементи якої не розкрито. В статтях [5, 6] запропонована математична модель і на її основі проведено комп'ютерне моделювання для фарбодрукарських систем з постійною та дискретною подачею фарби. Проведено аналіз та виявлено взаємовплив між динамічними властивостями фарбодрукарської системи та площею покриття форми друкувальними елементами, осьовим рухом розтирального циліндра і підсистемою подачі фарби. Проте в даній роботі не запропоновано методику визначення параметрів вхідного завдання.

Мета статті – моделювання та дослідження впливу ступеня деталізації математичного опису роботи фарбоживильного пристрою та дії розтирального циліндра на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо поставлене завдання на прикладі фарбодрукарської системи послідовної структури з розтиральним циліндром, який контактує з накочувальним валиком. Вважаємо, що фарбодрукарська система оснащена фарбоживильним пристроєм дукторно-ножового типу і відтворює офсетний спосіб друкування. Товщина зональної подачі фарби задається відповідними регулювальними органами. З поверхні дукторного циліндра фарба передавальним валиком подається на вхід першого елемента розкочувальної підсистеми. Передавальний валик здійснюючи коливний рух транспортує фарбу в прямому і зворотному напрямі. Під час обертання валиків і циліндрів фарба транспортується до розтирального циліндра, який має складний рух. Даний циліндр одночасно з обертовим рухом здійснює ще й осьове зворотно-поступальне переміщення вирівнюючи при цьому рельєфи фарби на поверхні накочувального валика, які генерується друкарською формою закріпленою на формному циліндрі. Фарба з поверхні друкувальних елементів форми через офсетний циліндр передається на матеріал, що задруковується. Процес розподілу і передачі фарби у фарбодрукарській системі на підставі роботи [7, 8] подано у вигляді сигнального графа, схема якого представлена на рис. 1.

Вхідним ділянкам графа відповідають товщини смуг фарби $h_{d^j}^j$, що поступають з фарбової скриньки на дукторний циліндр у відповідній j -ій зоні; головним вузлам відповідають товщини фарби $x_{d^j}^j, x_{n^j}^j, \dots, x_{\gamma}^j$ в точках контактів елементів фарбодрукарської системи, які беруть участь в процесі розкочування і передачі фарби від джерела живлення до паперового аркуша; вихідні ділянки графа відображають товщини фарби у відповідній зоні $h_{e^j}^j$, яка наноситься на матеріал, що задруковується; відрізки графа, що з'єднують між собою головні вузли, відповідають операторам передачі фарби в коловому напрямі; відрізки, що з'єднують між собою вузли сусідніх зон, відповідають операторам передачі фарби в осьовому напрямі.

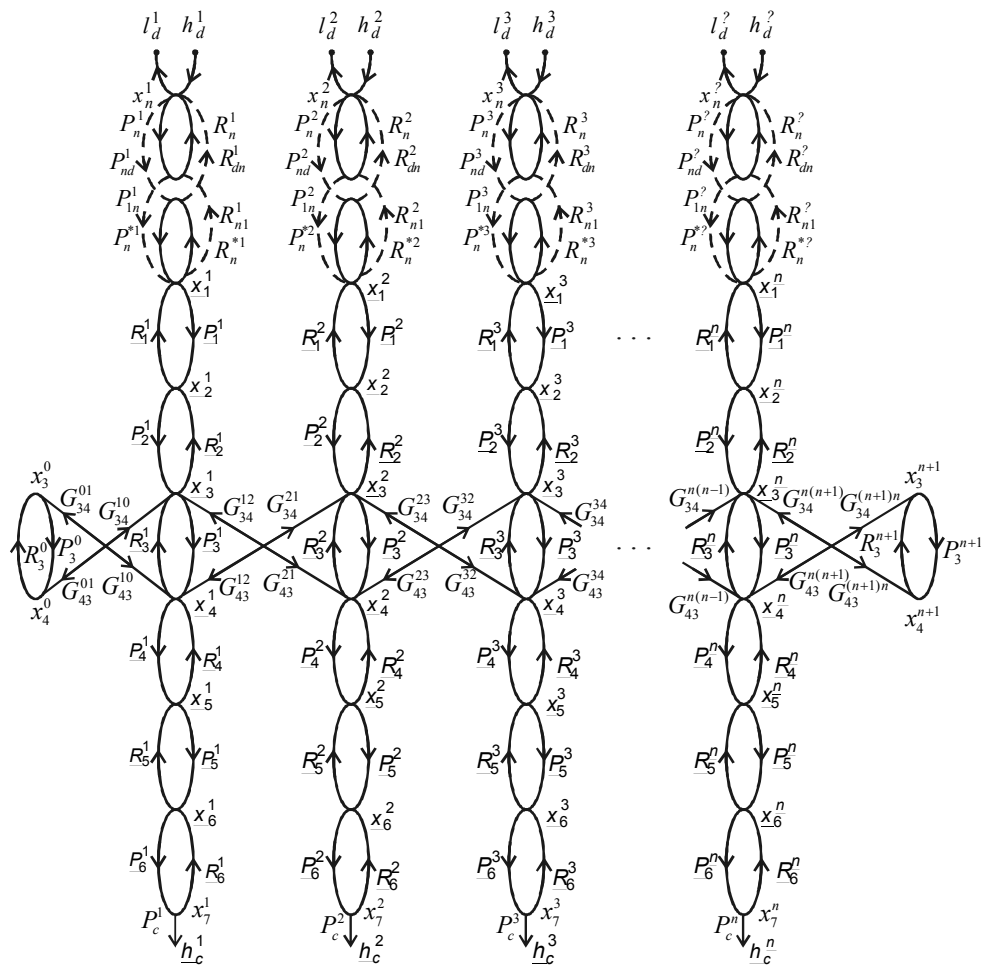


Рис. 1. Сигнальний граф багатозонної фарбодрукарської системи послідовної структури

При побудові математичної моделі приймаємо наступні припущення: діаметри елементів фарбодрукарської системи є різними; довжини відрізків кіл валиків і циліндрів розділені на ціле число умовних одиниць; лінійні швидкості поверхонь елементів фарбодрукарської системи рівні між собою; проковзуванням валиків і циліндрів нехтуємо; поверхні елементів фарбодрукарської системи умовно розділені на зони, кількість яких дорівнює кількості органів зонального регулювання подачі фарби; за змінні приймаємо товщини потоків фарби в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи та товщини прямих і зворотних потоків фарби.

На підставі прийнятих допущень та праць [9, 10] складаємо за схемою сигнального графа математичну модель фарбодрукарської системи, фрагмент якої для j -ої зони має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
x_n^j(z) &= P_d^j(z)h_d^j(z) + R_n^j(z)x_{nd}^j(z) + R^{*j}_n(z)R^j_{dn}(z)x_1^j(z); \\
l_d^j(z) &= R_d^j(z)x_n^j(z) \\
x_{nd}^j(z) &= P_n^j(z)P_g^j(z)x_n^j(z) + R_{n1}^j(z)x_{n1}^j(z); \\
x_{n1}^j(z) &= P_{nd}^j(z)x_{nd}^j(z) + R^{*j}_n(z)P_p^j(z)x_1^j(z); \\
x_1^j(z) &= P_n^j(z)P_{1n}^j(z)x_n^j(z) + P^{*j}_n(z)x_{n1}^j(z) + R_1^j(z)x_2^j(z); \\
x_2^j(z) &= P_1^j(z)x_1^j(z) + R_2^j(z)x_3^j(z); \\
x_3^j(z) &= P_2^j(z)x_2^j(z) + R_3^j(z)x_4^j(z) + G_{34}^{j(j-1)}(z)x_4^{j-1}(z) + G_{34}^{j(j+1)}(z)x_4^{j+1}(z); \\
x_4^j(z) &= P_3^j(z)x_3^j(z) + R_4^j(z)x_5^j(z) + G_{43}^{j(j-1)}(z)x_3^{j-1}(z) + G_{43}^{j(j+1)}(z)x_3^{j+1}(z); \\
x_5^j(z) &= P_4^j(z)x_4^j(z) + R_5^j(z)x_6^j(z); \\
x_6^j(z) &= P_5^j(z)x_5^j(z) + R_6^j(z)x_7^j(z); \\
x_7^j(z) &= P_6^j(z)x_6^j(z); \\
h_n^j(z) &= P_n^j(z)x_7^j(z),
\end{aligned} \tag{1}$$

де $x_n^j(z)$, $x_i^j(z)$, $x_l^j(z)$ – z -зображення товщин потоків фарби в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи (j – кількість зон подачі фарби); $P_i^j(z)$, $R_i^j(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби на поверхні елементів фарбодрукарської системи; h_d – товщина потоку фарби на поверхні дукторного циліндра при виході зі щілини між ножем і дуктором; $P_c^j(z)$ – оператор передачі фарби на папір; $h_c^j(z)$ – z -зображення товщини фарби в j -ій зоні друкарського відбитка; $G_{43}^{j(j-1)}(z)$, $G_{34}^{j(j-1)}(z)$ – оператори передачі фарби розтиральним циліндром 3 при русі його вправо та вліво – $G_{43}^{j(j+1)}(z)$, $G_{34}^{j(j+1)}(z)$.

За результатами робіт [11, 12, 13] оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби можна записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
P_i^j(z) &= \frac{h_{i(i+1)}^j(z)}{x_i^j(z)} = \alpha_i z^{-p_i}; \quad R_i^j(z) = \frac{l_i^j(z)}{x_i^j(z)} = \gamma_i z^{-r_i}; \\
P_3^j(z) &= (\alpha_3 - \alpha_{i\bar{n}.e.}(z) - \alpha_{i\bar{n}.r.}(z))z^{-p_3}; \\
R_3^j(z) &= (\gamma_3 - \gamma_{i\bar{n}.e.}(z) - \gamma_{i\bar{n}.r.}(z))z^{-r_3},
\end{aligned} \tag{2}$$

де $P_i^j(z)$, $R_i^j(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби елементами фарбодрукарської системи, які не мають осьового переміщення; $P_3^j(z)$, $R_3^j(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби в коловому напрямі на поверхні розтирального циліндра.

Оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби в осьовому напрямі можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned} G_{43}^{j(j+1)}(z) &= \alpha_{i\bar{n}.e.}(z)z^{-p_3}; & G_{43}^{j(j-1)}(z) &= \alpha_{i\bar{n}.i.}(z)z^{-p_3}; \\ G_{34}^{j(j+1)}(z) &= \gamma_{i\bar{n}.e.}(z)z^{-r_3}; & G_{34}^{j(j-1)}(z) &= \gamma_{i\bar{n}.i.}(z)z^{-r_3}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\alpha_{i\bar{n}.e.}(z)$, $\alpha_{i\bar{n}.i.}(z)$, $\gamma_{i\bar{n}.e.}(z)$, $\gamma_{i\bar{n}.i.}(z)$ – змінні коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби в осьовому напрямі.

На підставі праць [12, 13] коефіцієнти передачі прямих потоків фарби в осьовому напрямі в z -зображеннях матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned} \alpha_{oc.i}(z) &= \alpha_3 \frac{\hat{e}}{a} \left[p_3 - \frac{2z}{z-1} (z^{-(c1-p3)} - z^{-(c1-p3.1)} - z^{-(c3-p3.1)} - z^{-c3}) - p_3 z^{-c} \right]; \\ \alpha_{oc.e}(z) &= \alpha_3 \frac{\hat{e}}{a} \left[\frac{2z}{z-1} (-z^{-(c1-p3.1)} + z^{-c1} + z^{-(c3-p3)} - z^{-(c3-p3.1)}) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

де κ – коефіцієнт передачі потоку фарби в осьовому напрямі за один період дискретності T_0 ; v – ширина зони подачі фарби; l_f – довжина кола формного циліндра; $c = T_\sigma / T_0$ – відносний час циклу роботи розтирального циліндра у в.о., який відповідає періоду одного оберту формного циліндра; c_i – відносний час складових циклу роботи розтирального циліндра у в.о.

Аналогічним чином можна отримати z -зображення передачі зворотних потоків фарби в осьовому напрямі.

Оператори передачі фарби фарбоживильним пристроєм системи на підставі роботи [14] можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned} P_d(z) &= P(z)z^{-p_d}; & P_e(z) &= (P(z)\alpha + \bar{P}_e(z))z^{-p_n}; & R_e(z) &= P(z)z^{-r_n}; \\ P_n^*(z) &= P_p(z)z^{-p_n}; & R_n^*(z) &= \gamma_n P_p(z)z^{-r_n}; \\ P_{nd}(z) &= z^{-r_n} \bar{P}_e(z)z^{-p_z}; & P_{n1}(z) &= \bar{P}_e(z)z^{-p_z}; \\ R_{n1}(z) &= z^{-p_n} \bar{P}_p(z)z^{-r_z}; & R_{dn}(z) &= \bar{P}_p(z)z^{-r_z}, \end{aligned} \quad (5)$$

де α_n , γ_n – коефіцієнти передавання прямих і зворотних потоків фарби в момент контакту передавального валика з дукторним циліндром; $\bar{P}_{oc}(z)$, $\bar{P}_p(z)$ – інверсні значення операторів формування передавання фарби $\bar{P}_{oc}(z)$ та $\bar{P}_p(z)$; z^{-p_d} , z^{-p_n} , z^{-r_n} , z^{-p_z} , z^{-r_z} – циркулювання потоків фарби у фарбоживильному пристрої.

За схемою сигнального графа (рис. 1) та математичним описом процесу розподілу і передачі фарби (1-4) побудовано симулятор фарбодрукарської системи (рис. 2).

При побудові симулятора фарбоживильного пристрою приймаємо, що кількість зон подачі фарби $j=7$. Геометричні розміри валиків і циліндрів задаємо через транспортні запізнення, які входять до складу відповідних операторів передачі прямих і зворотних потоків фарби. Задаємо значення коефіцієнтів

ділення в зонах контактів елементів фарбодрукарської системи $\alpha_i = \gamma_i = 0,5$ і коефіцієнта передачі фарби з офсетного циліндра на папір $\beta = 0,5$.

Для дослідження впливу фарбоживильного пристрою на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі розглядаємо два варіанти його математичного опису. У першому варіанті дискретну подачу фарби, яка реалізується фарбоживильним пристроєм описуємо, в спрощеному вигляді, наступним рівнянням:

$$h_n^j(z) = (1 - z^{-b}) \frac{z^d}{z^d - 1} h_d^j(z), \quad (6)$$

де b – ширина імпульсу дискретної подачі фарби у в.о.; d – тривалість одного оберту формного циліндра, що відповідає циклу роботи фарбодрукарської системи у в.о.; $h_n^j(z)$ – z -зображення товщини дискретної подачі фарби на перший валик розкочувальної підсистеми.

Приймаємо, що ширина імпульсу дискретної подачі фарби $b=28$ в.о. З рівняння (4) наведеного у публікації [15] визначаємо товщину подачі фарби за умови, що при відсутності осьового ходу розтирального циліндра товщина фарби на виході фарбодрукарської системи становитиме в 1 у.о. Аналогічним чином визначаємо параметри вхідного завдання для різних коефіцієнтів заповнення форми.

Налаштовуємо симулятор роботи розтирального циліндра виходячи з умови, що максимальна величина його осьового ходу рівна ширині зони подачі фарби. Змінюючи одночасно коефіцієнти зонального заповнення форми подаємо відповідне вхідне завдання лише в середню зону системи. Проводимо симулювання роботи фарбодрукарської системи до виходу її на квазіусталений режим. Отримані результати симулювання представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Товщини фарби в j -тих зонах відбитків для різних κ_3 отримані за умови спрощеної моделі фарбоживильного пристрою

κ_3	Товщини фарби в зонах $h_{c\text{ сеп}}^j$						
	$h_{c\text{ сеп}}^1$	$h_{c\text{ сеп}}^2$	$h_{c\text{ сеп}}^3$	$h_{c\text{ сеп}}^4$	$h_{c\text{ сеп}}^5$	$h_{c\text{ сеп}}^6$	$h_{c\text{ сеп}}^7$
0,1	0,11840	0,13710	0,15300	0,16950	0,15800	0,14120	0,12200
0,2	0,10590	0,12910	0,15840	0,19080	0,16760	0,13610	0,11180
0,3	0,09476	0,12170	0,16320	0,21100	0,17620	0,13060	0,10200
0,4	0,08475	0,11480	0,16748	0,23038	0,18410	0,12519	0,09276
0,5	0,07555	0,10810	0,17110	0,24890	0,19110	0,11960	0,08398
0,6	0,06749	0,10207	0,17466	0,26708	0,19784	0,11433	0,07608
0,7	0,06004	0,09613	0,17756	0,28453	0,20386	0,10897	0,06861
0,8	0,05325	0,09042	0,18004	0,30146	0,20939	0,10368	0,06167
0,9	0,04703	0,08486	0,18206	0,31789	0,21440	0,09840	0,05521
1,0	0,04134	0,07946	0,18370	0,33390	0,21900	0,09316	0,04921

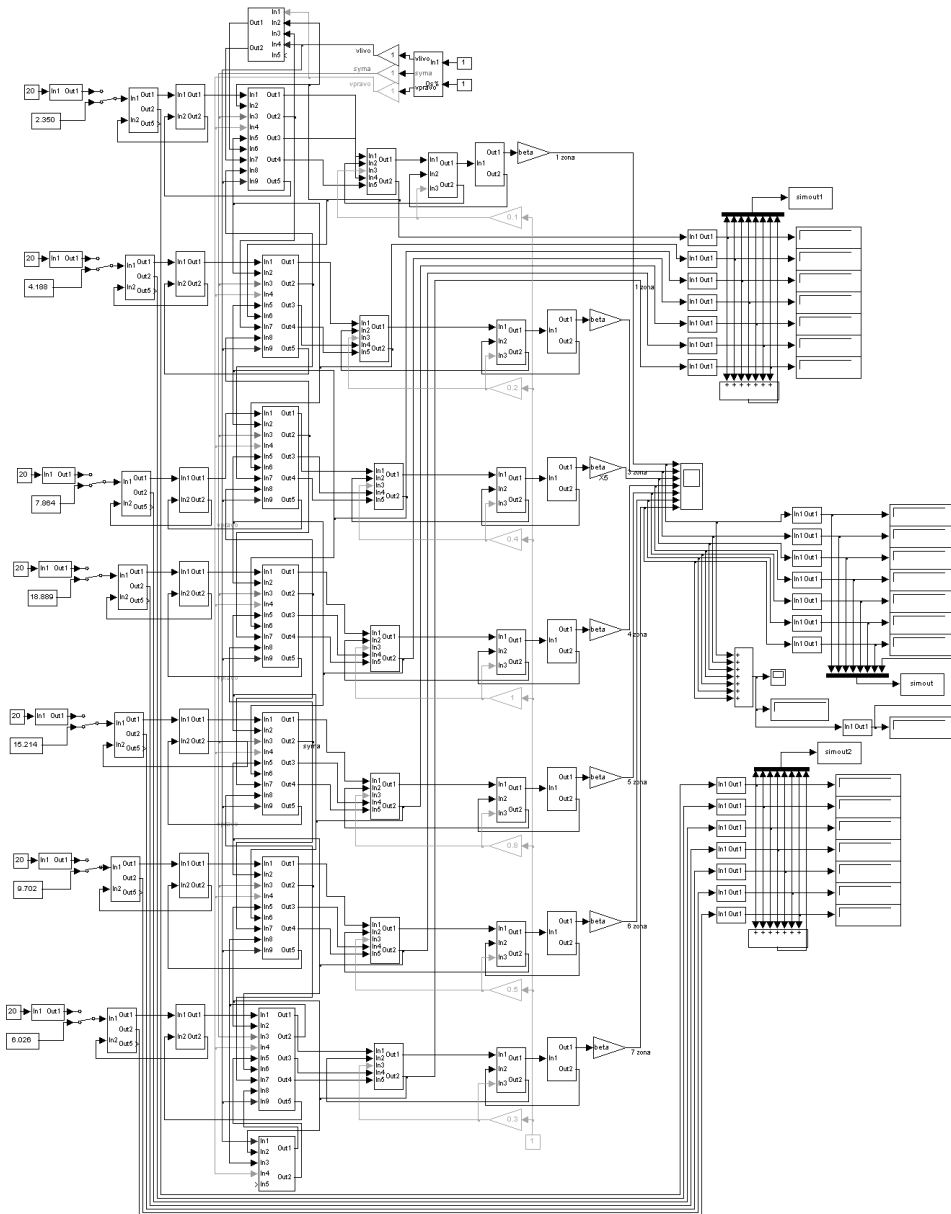


Рис. 2. Симулятор фарбодрукарської системи

В другому варіанті симулятор фарбоживильного пристрою побудовано на підставі системи рівнянь, що входять в математичну модель (1) та оператори передачі фарби (5), які відображають циркулювання прямих і зворотних потоків між дукторним циліндром та першим валиком розкочувальної підсистеми. За методикою наведеною вище визначаємо попередню величину вхідного завдання, що подається в середню зону фарбодрукарської системи та уточнює-

мо вхідне завдання в процесі моделювання за умови відсутності осьового ходу розтирального циліндра. Проводимо симулювання роботи фарбодрукарської системи до виходу системи при різних значеннях κ_3 на квазіусталений режим роботи, результати яких представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Товщини фарби в j -тих зонах відбитків отримані для різних κ_3 з врахуванням зворотного відбору фарби передавальним валиком

κ_3	Товщини фарби в зонах $h^j_{c\text{ сеп}}$						
	$h^1_{c\text{ сеп}}$	$h^2_{c\text{ сеп}}$	$h^3_{c\text{ сеп}}$	$h^4_{c\text{ сеп}}$	$h^5_{c\text{ сеп}}$	$h^6_{c\text{ сеп}}$	$h^7_{c\text{ сеп}}$
0,1	0,09527	0,12570	0,17610	0,21230	0,16610	0,12510	0,09873
0,2	0,08787	0,12140	0,18350	0,22910	0,16990	0,11870	0,08936
0,3	0,08071	0,11691	0,19024	0,24508	0,17308	0,11265	0,08074
0,4	0,07398	0,11246	0,19663	0,26077	0,17608	0,10694	0,07292
0,5	0,06760	0,10800	0,20260	0,27600	0,17870	0,10140	0,06572
0,6	0,06155	0,10342	0,20798	0,29069	0,18094	0,09611	0,05908
0,7	0,05589	0,09892	0,21314	0,30516	0,18293	0,09099	0,05300
0,8	0,05055	0,09438	0,21786	0,31918	0,18451	0,08599	0,04737
0,9	0,04554	0,08985	0,22226	0,33291	0,18579	0,08113	0,04220
1,0	0,04087	0,08535	0,22640	0,34650	0,18680	0,07641	0,03744

На підставі даних представлених в табл. 2 можна зробити висновок, що сума товщин фарби у всіх зонах відбитка, для різних коефіцієнтів заповнення форми за умови $\kappa^j_3 = \kappa_3$ дорівнює 1 у.о. Аналогічний баланс можна отримати за даними табл. 1. Різниця полягає лише в зональному розподілі товщин фарби отриманих на виході фарбодрукарської системи при різних варіантах математичного опису фарбоживильного пристрою. Так, при спрощеній моделі фарбоживильного пристрою товщина фарби в середній зоні відбитка, в яку здійснюється дискретна подача фарби вході системи, зі збільшенням κ_3 від 0,1 до 1,0 зростає в 1,97 раз (табл. 1). При цьому товщина фарби в крайній лівій зоні $h^1_{c\text{ сеп}}$ зменшується в 2,86 раз, а в правій – $h^7_{c\text{ сеп}}$ зменшується в 2,48 раз. За умови використання моделі фарбоживильного пристрою, що враховує зворотний відбір фарби розподіл товщин фарби на виході фарбодрукарської системи має дещо інший характер (табл. 2). Так, при $\kappa_3=0,1$ товщина фарби в середній зоні відбитка більша на 25% ніж в попередньому випадку. Зі збільшенням κ_3 до 1,0 товщина фарби в середній зоні відбитка зростає в 1,63 раз, а в крайніх зонах зменшується відповідно: в першій – у 2,33 раз, а у сьомій – в 2,64 раз. Отже, зі збільшенням κ_3 спостерігається тенденція до перерозподілу фарби з крайніх зон до середньої.

Оскільки друкована продукція може бути різносюжетною, то відповідні друкарські форми матимуть різну інтенсивність та характер розміщення на них друкувальних елементів. Тому при дослідженні впливу фарбоживильного пристрою на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі, доцільно враховувати зональне заповнення форми друкувальними елементами. Задаємо різні

κ_3^j і визначаємо зональні вхідні завдання при $b=28$ в.о. для фарбодрукарської системи зі спрощеною моделлю фарбоживильного пристрою за умови відсутності осьового ходу розтирального циліндра, виходячи з умови, що товщина фарби у всіх зонах відбитка повинна бути рівною 1 у.о. При подачі на вхід симулятора відповідних величин зонального завдання проводимо симулювання до виходу фарбодрукарської системи на квазіусталений режим. Отримані значення товщин потоків фарби у відповідних зонах поверхонь першого валика, накочувального валика та відбитках, представлено в табл. 3.

Таблиця 3

**Товщини потоків фарби на поверхнях елементів
фарбодрукарської системи та відбитках отримані
за умови спрощеної моделі фарбоживильного пристрою**

h_i^j \ κ_3^j	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8	0,5	0,3
	h^1	h^2	h^3	h^4	h^5	h^6	h^7
$h_{1\text{ сеп}}^j$	6,0955	6,2000	6,4000	7,0000	6,8000	6,5000	6,3000
$h_{4\text{ сеп}}^j$	5,7956	5,6000	5,2000	4,0000	4,4000	5,0000	5,4000
$h_{\text{с сеп}}^j$	0,9992	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Задаємо величину осьового ходу розтирального циліндра рівну ширині зони подачі фарби та проводимо симулювання процесу роботи фарбодрукарської системи при попередньо визначених параметрах вхідного зонального завдання. Отримані результати зведено в табл. 4.

Таблиця 4

**Товщини потоків фарби в j -тих зонах поверхні елементів
фарбодрукарської системи та відбитках отримані
при максимальному осьовому переміщенні розтирального циліндра
за умови спрощеної моделі фарбоживильного пристрою**

h_i^j \ κ_3^j	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8	0,5	0,3
	h^1	h^2	h^3	h^4	h^5	h^6	h^7
$h_{1\text{ сеп}}^j$	4,7305	5,4324	5,8703	7,4114	7,0532	6,5395	5,7036
$h_{4\text{ сеп}}^j$	4,4553	4,8314	4,7282	4,2666	4,6487	5,0505	4,8602
$h_{\text{с сеп}}^j$	0,7682	0,8627	0,9093	1,0667	1,0565	1,0101	0,9000

В другому варіанті симулятор фарбоживильного пристрою побудовано на підставі системи рівнянь, що входять в математичну модель (1) та оператори передачі фарби (5), які відображають циркулювання прямих і зворотних потоків між дукторним циліндром та першим валиком розкочувальної підсистеми. За методикою наведеною вище визначаємо попередню величину вхідного завдання, що подається в середню зону фарбодрукарської системи та уточнюємо вхідне завдання в процесі моделювання за умови відсутності осьового ходу розтирального циліндра. Проводимо симулювання роботи фарбодрукарської системи до виходу системи при різних значеннях κ_3 на квазіусталений режим роботи, результати яких представлено в табл. 2.

Проводимо аналогічні дослідження за умови, що режим роботи фарбоживильного пристрою описано більш детально, тобто математичною моделлю, яка входить до системи рівнянь (1). Задаємо такі ж κ^j_3 як і в попередньому варіанті та визначаємо вхідне зональне завдання, яке уточнюємо в результаті моделювання виходячи з умови, щоб при виході фарбодрукарської системи за відсутності осьового ходу розтирального циліндра, товщина фарби у всіх зонах відбитка була рівною 1 у.о. Параметри зонального завдання вводимо в симулятор з відповідною моделлю фарбоживильного пристрою і проводимо симулювання до виходу фарбодрукарської системи на квазіусталений режим. Значення товщин фарби в j -тих зонах поверхонь першого розкочувального валика, накочувального валика та відбитків, які отримані в результаті моделювання за відсутності осьового переміщення розтирального циліндра, представлені в табл. 5, а з врахуванням дії розтирального циліндра в табл. 6.

Таблиця 5

**Товщини потоків фарби на поверхнях елементів
фарбодрукарської системи та відбитках отримані
з врахуванням зворотного відбору фарби передавальним валиком**

κ^j_3 \ h^j_i	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8	0,5	0,3
	h^1	h^2	h^3	h^4	h^5	h^6	h^7
$h^j_{1\text{ сеп}}$	6,1019	6,1989	6,3987	6,9993	6,7989	6,5004	6,3002
$h^j_{4\text{ сеп}}$	5,8018	5,5990	5,1989	3,9996	4,3993	5,0003	5,4009
$h^j_{\text{с сеп}}$	0,9993	0,9998	0,9998	0,9999	0,9998	0,9999	0,9994

Таблиця 6

**Товщини потоків фарби на поверхнях елементів
фарбодрукарської системи та відбитках отримані
для першого варіанту κ^j_3 з врахуванням зворотного відбору фарби
передавальним валиком при максимальному осьовому переміщенні
розтирального циліндра**

κ^j_3 \ h^j_i	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8	0,5	0,3
	h^1	h^2	h^3	h^4	h^5	h^6	h^7
$h^j_{1\text{ сеп}}$	5,3792	6,0486	6,3127	7,5003	6,9515	6,3578	5,6257
$h^j_{4\text{ сеп}}$	5,0909	5,4269	5,1879	4,4081	4,5448	4,8430	4,6236
$h^j_{\text{с сеп}}$	0,8777	0,9691	0,9977	1,1020	1,0329	0,9686	0,8562

Порівнюючи дані представлені в табл. 3 та 5 можна стверджувати, що за відсутності дії розтирального циліндра розподіли потоків фарби для двох варіантів моделі фарбоживильного пристрою є практично ідентичними. Але значення товщин зональної подачі фарби при цьому суттєво відрізняються (рис. 3).

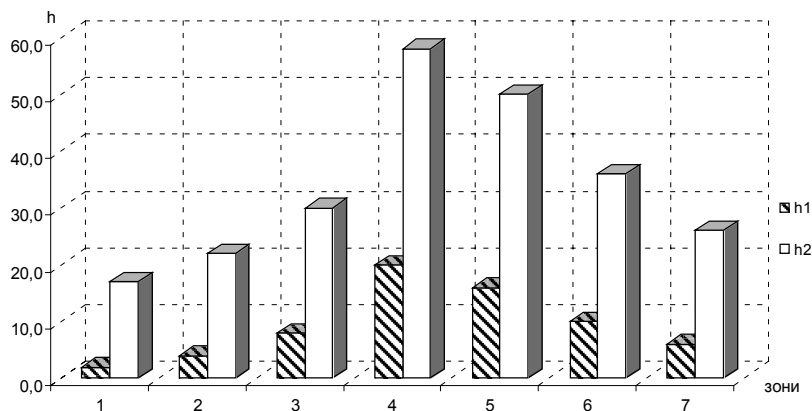


Рис. 3. Номограми товщини зональної подачі фарби

Заштриховані стовпці відповідають товщинам фарби зонального вхідного завдання для фарбодрукарської системи зі спрощеною моделлю фарбоживильного пристрою, а світлі – параметрам вхідного зонального завдання для моделі фарбоживильного пристрою, яка враховує коливальний рух передавального валика. Слід зазначити, що при дії розтирального циліндра характер розподілу потоків фарби у фарбодрукарській системі уже в значній мірі залежить від математичної моделі роботи фарбоживильного пристрою. Так, якщо для першого варіанту, тобто при спрощеній моделі фарбоживильного пристрою дія розтирального циліндра призводить до збільшення товщини фарби в середній зоні відбитка на 6,7%, то в крайній лівій зоні (h^1_c) товщина фарби зменшується на 23,2%, а в крайній правій (h^7_c) – зменшується на 10% (табл. 3 та табл. 4). При використанні другого варіанту моделі фарбоживильного пристрою, в результаті осьового ходу розтирального циліндра, товщина фарби в середній зоні відбитка зростає на 10%, в крайній лівій (h^1_c) товщина фарби зменшується на 12,2%, тоді як h^7_c – зменшується на 14,4% (табл. 5 та табл. 6). Подібний характер розподілу потоків фарби в осьовому напрямі спостерігається і на поверхнях інших елементів фарбодрукарської системи.

В наукових працях присвячених дослідженню фарбодрукарських систем стверджується, що із зростанням величини осьового ходу товщина фарби на поверхні відбитків зменшується, особливо це відчутно в тих місцях відбитка де розміщена плашка. В результат проведених досліджень можна стверджувати, що перше припущення справджується, тобто сума товщин фарби усіх зон відбитка при дії розтирального циліндра зменшується. Проте при цьому товщина фарби в тій зоні відбитка де $\kappa^j_3=1$ зростає на 6,7% при першому спрощеному варіанті моделі і збільшується на 10% при другому варіанті моделі фарбоживильного пристрою. Можливо такий результат пов'язаний з розміщенням тієї ділянки форми де κ^j_3 в середній зоні відбитка, тому змінюємо розподіл зональних коефіцієнтів заповнення форми і проводимо симулювання. Отримані параметри зонального

розподілу потоків фарби на поверхнях елементів фарбодрукарської системи і відбитків зведено в табл. 7.

Таблиця 7

**Товщини потоків фарби на поверхнях елементів
фарбодрукарської системи та відбитках отримані
для другого варіанту κ_3^j з врахуванням зворотного відбору
фарби передавальним валиком
при максимальному осьовому переміщенні розтирального циліндра**

$h_i^j \backslash \kappa_3^j$	1,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,3	0,8
	h^1	h^2	h^3	h^4	h^5	h^6	h^7
$h_{1\text{ сеп}}^j$	7,1898	5,5769	5,9769	6,4327	6,6539	6,0930	6,8640
$h_{4\text{ сеп}}^j$	4,1745	5,3195	5,3669	5,2363	5,1137	5,2769	4,3329
$h_{\text{с сеп}}^j$	1,0436	0,9172	0,9584	1,0070	1,0227	0,9772	0,9848

Дані представлені в табл. 7 підтверджують той факт, що на розподіл потоків фарби впливатиме не тільки характер розміщення друкувальних елементів на формі, але й їх інтенсивність. Так незважаючи на те, що найбільший коефіцієнт заповнення форми є у крайній лівій зоні $\kappa_3^j=1$ товщина фарби у цій зоні відбитка хоч і дещо менша ніж у випадку коли плашка друкувалася в середній зоні, але все ж таки більша на 4,4% від заданої. Результати моделювання підтверджують той факт, що на точність дослідження розподілу і передачі потоків фарби у фарбодрукарських системах в значній мірі впливає адекватність моделі реальному фарбоживильному пристрою.

Висновки. Побудовано математичну модель та сигнальний граф, що враховують роботу фарбоживильного пристрою і розтирального циліндра та побудовано на їх основі два варіанти симуляторів з різними моделями процесу подачі фарби. Проведено моделювання та дослідження впливу різних варіантів математичного опису функціонування фарбоживильного пристрою на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі. Визначено товщини потоків фарби в j -тих зонах поверхонь елементів фарбодрукарських систем на відбитках. Встановлено, що обидва варіанти подання моделі фарбоживильного пристрою, за відсутності осьового ходу розтирального циліндра, мають практично однаковий вплив на коловий розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі. Проте не ідентично впливають на параметри вхідного зонального завдання, оскільки вони суттєво відрізняються. При дії розтирального циліндра розподіл потоків фарби залежить від варіанту моделі фарбоживильного пристрою. Виявлено, що із збільшенням величини осьового ходу товщина фарби в j -тих зонах відбитків, де зональні коефіцієнти заповнення форми знаходяться в межах 0,1-0,3 зменшується, а при великих (0,9-1,0) зростає. Встановлено, що модель фарбоживильного пристрою, яка враховує коливальний рух передавального валика більш точно відтворює процеси розподілу і передачі фарби фарбодрукарськими системами друкарських офсетних машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штоляков В. И. Печатное оборудование: учебник / В. И. Штоляков, В. Н. Румянцев; Моск. гос. ун-т печати. – М.: МГУП, 2011. – 519 с.
2. Lehnberg L. Ink key presetting in offset printing presses using digital images of plates / Linus Lehnberg // Linköping University, Department of Science and Technology. – 2002. – 63 p.
3. Митрофанов В. П. Печатное оборудование: учеб. для студентов / В.П.Митрофанов, А.А.Тюрин, Е.Г.Бирбраер, В.И.Штоляков. – М. : Изд-во МГУП, 1999. – 442 с.
4. Chu Chai-Lin. Model-based ink key presetting for offset presses / Chai-Lin Chu, John C. Seymour // TAGA proceeding. – 1997. – 14 p.
5. Ming Lei Zhao. The Dynamic Property Analysis of Ink System in Offset Press [Electronic resource] // Advanced Materials Research, Vols. 199-200, pp. 132-136, Feb. 2011. – Electronic data. – Mode of access: <http://www.scientific.net> (viewed on 16.03.2014). – Title from the screen.
6. ZHAO Ming-lei, CHENG Gang-hu, LOU Wei-qing. Study on the Performance of the Ink Feeding System of Offset Press [Electronic resource] // China: Light Industry Machinery 2008-04. – Electronic data. – Mode of access: <http://en.cnki.com.cn> (viewed on 16.03.2014). – Title from the screen.
7. Верхола М. І. Розширений сигнальний граф розгалужених фарбових груп / М. І. Верхола, М. М. Луцків // Поліграфія і видавнича справа. – 1999. – №35. – С.196–200.
8. Створення цифрових моделей і програмних засобів для інформаційних технологій систем автоматичного управління виробничими поліграфічними потоками: звіт про НДР (заключн.) / Українська академія друкарства (УАД); кер.: Б. В. Дурняк; викон.: М. І. Верхола [та ін.]. – Львів, 2016. – 311 с. – (№ ДР 0115U002243. – Інв. Б №401-2015.
9. Верхола М. І. Аналіз осьового розкочування фарби в усталеному режимі роботи фарбової системи / М. І. Верхола, І. Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – Львів : УАД. – 2005. – №13. – С.14–34.
10. Верхола М. І. Аналіз розподілу фарби у послідовних фарбових системах з розтиральним циліндром за їх статичними моделями / М. І. Верхола, І. Б. Гук, У. П. Пановик // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – Львів : УАД. – 2013. – №29. – С.27–42.
11. Верхола М. І. Моделювання та аналіз впливу розміщення друкуючих елементів на формі на процес розподілу фарби у фарбових системах / М. І. Верхола, І. Б. Гук, В. М. Бабинець // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – Львів : УАД. – 2007. – №18. – С.5–21.
12. Верхола М. І. Моделювання та аналіз впливу траєкторії руху розтирального циліндра на процес розкочування фарби / М. І. Верхола, І. Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – Львів : УАД. – 2001. – №6. – С.337–353.
13. Верхола М. І. Моделювання та визначення розподілу фарби в динаміці у фарбових системах з розтиральними циліндрами / М. І. Верхола, І. Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – Львів : УАД. – 2006. – № 16. – С.3 13.
14. Верхола М. І. Моделювання та визначення коефіцієнта передачі фарби передавальним валиком у фарбовій системі з розтиральним циліндром / М. І. Верхола,

- I. Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства: збірник наукових праць / УАД. – 2009. – № 22. – С.39-52.
15. Верхола М. І. Моделювання та комп'ютерне визначення розподілу фарби між входом та виходом фарбової системи в динаміці / М. І. Верхола, І. Б. Гук, Р. М. Споляк // Комп'ютерні технології друкарства: збірник наукових праць / УАД. – 2010. – № 24. – С. 27-39.

REFERENCES

1. Shtoljakov V. I. (2011). Pечатное оборудование: учебник / V. I. Shtoljakov, V. N. Rumjancev; Mosk. gos. un-t pečati. – M.: MGU– 519 s. (in Russian)
2. Lehnberg L. (2002). Ink key presetting in offset printing presses using digital images of plates / Linus Lehnberg // Linköping University, Department of Science and Technology. — 63 p. (in English)
3. Mitrofanov V. P. (1999). Pечатное оборудование: ucheb.dlja studentov / V.P. Mitrofanov, A.A.Tjurin, E.G.Birbraer, V.I.Shtoljakov. – M. : Izd-vo MGUP. – 442 s. (in Russian)
4. Chu Chai-Lin. (1997). Model-based ink key presetting for offset presses / Chai-Lin Chu, John C. Seymour // TAGA proceeding. – 14 p. (in English)
5. Ming Lei Zhao. (2011). The Dynamic Property Analysis of Ink System in Offset Press [Electronic resource] // Advanced Materials Research, Vols. 199-200, pp. 132-136, Feb.– Electronic data. – Mode of access: <http://www.scientific.net> (viewed on 16.03.2014). (in English)
6. ZHAO Ming-lei, CHENG Gang-hu, LOU Wei-qing. (2008). Study on the Performance of the Ink Feeding System of Offset Press [Electronic resource] // China: Light Industry Machinery 2008-04. – Electronic data. – Mode of access: <http://en.cnki.com.cn> (viewed on 16.03.2014). (in English)
7. Verkhola M. I. (1999). Rozshyrenyi syhnalnyi hraf rozghaluzhenykh farbovykh hrup / M. I. Verkhola, M. M. Lutsiv // Polihrafiia i vydavnycha sprava. — №35. – S.196–200. (in Ukrainian)
8. Stvorenna tsyfrovyykh modelei i prohramnykh zasobiv dlia informatsiynykh tekhnolohii system avtomatychnoho upravlinnia vyrobnychymy polihrafichnymy potokamy: zvit pro NDR (zakliuchn.) (2016). / Ukrainska akademiia drukarstva (UAD); ker.: B. V. Durniak; vykon.: M. I. Verkhola [ta in.]. – Lviv,– 311 s. – (№ DR 0115U002243. – Inv. B №401-2015. (in Ukrainian)
9. Verkhola M. I. (2005). Analiz osovoho rozkochuvannia farby v ustalennomu rezhymi roboty farbovoi systemy / M. I. Verkhola, I. B. Huk // Kompiuterni tekhnolohii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats. – Lviv: UAD. — №13. – S.14–34. (in Ukrainian)
10. Verkhola M. I. (2013). Analiz rozpodilu farby u poslidovnykh farbovykh systemakh z roztyrallym tsylindrom za yikh statychnymy modeliamy / M. I. Verkhola, I. B. Huk, U. P. Panovyk // Kompiuterni tekhnolohii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats. – Lviv : UAD. — №29. – S.27–42. (in Ukrainian)
11. Verkhola M. I. (2007). Modeliuvannia ta analiz vplyvu rozmishchennia drukuiuchykh elementiv na formi na protses rozpodilu farby u farbovykh systemakh / M. I. Verkhola, I. B. Huk, V. M. Babynets // Kompiuterni tekhnolohii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats. – Lviv : UAD. — №18. – S.5–21. (in Ukrainian)
12. Verkhola M. I. (2001). Modeliuvannia ta analiz vplyvu traektorii rukhu roztyrochnoho tsylindra na protses rozkochuvannia farby / M. I. Verkhola, I. B. Huk // Kompiuterni

- tekhnologii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats. – Lviv : UAD. — №6. – S.337–353. (in Ukrainian)
13. Verkhola M. I. (2006). Modeliuvannia ta vyznachennia rozpodilu farby v dynamitsi u farbovykh systemakh z roztyrallynymy tsylindramy / M. I. Verkhola, I. B. Huk // Kompiuterni tekhnologii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats. – Lviv : UAD. — № 16. – S.3-13. (in Ukrainian)
 14. Verkhola M. I. (2009). Modeliuvannia ta vyznachennia koefitsiienta peredachi farby peredavalnym valykom u farbovii systemi z roztyrallynym tsylindrom / M. I. Verkhola, I. B. Huk // Kompiuterni tekhnologii drukarstva: zbirnyk naukovykh prats / UAD. — № 22. – S.39-52. (in Ukrainian)
 15. Verkhola M. I. (2010). Modeliuvannia ta kompiuterne vyznachennia rozpodilu farby mizh vkhodom ta vykhodom farbovoi systemy v dynamitsi / M. I. Verkhola, I. B. Huk, R. M. Spoliak // Kompiuterni tekhnologii drukarstva: zbirnyk naukovykh prats / UAD. — № 24. – S. 27-39. (in Ukrainian)

MODELLING AND ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL DESCRIPTION EFFECT OF THE INK SUPPLY UNIT MODE ON THE INK FLOW DISTRIBUTION IN THE INK-PRINTING SYSTEM

M. I. Verkhola, V. M. Babinets, I. B. Huk

Ukrainian Academy of Printing

19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine

m.i.werh@gmail.com

The work is related to the definition of the influence of the variants of the model representation (the degree of the mathematical description detailing) of the ink supply unit on the circular and the axial ink flow distribution in the ink-printing system. This problem is considered on the example of an ink-printing system of a sequential structure with a grinding cylinder. To solve the problem, a mathematical model and a signal graph of the ink-printing system have been developed, based on which two variants of simulators with different models of ink supply units have been constructed in the Matlab-Simulink environment. These simulators provide the opportunity to reproduce the processes of the circular and axial ink distribution and transfer in the ink-printing system, taking into account the operating modes of the ink supply unit and the grinding cylinder. As a result of the simulation, the influence of various variants of the model representation of the ink supply unit on the ink flow distribution in the ink-printing system has been studied. In the absence of an axial movement of the grinding cylinder, the identical character of the circular distribution of the ink flow in the ink-printing system under various variants of the ink supply unit model has been established. It has been found that the parameters of the zonal input task for different variants of the mathematical description of the ink supply unit are significantly different. The modelling and research of the influence of the ink supply unit on the circular and the axial ink flow distribution in the ink-printing system with the consideration of the operating mode of the grinding cylinder has been carried out. It has been established that with the increase of the axial movement of the cylinder, the

total ink thickness of all printing zones decreases, and in those zones where the filling factor of the plate is large, or equal to $\kappa_3^j = 1,0$, the ink thickness increases. The redistribution of ink flows in zones with a higher filling factor with printing elements is due to the reduction of the ink thickness in zones with a low filling factor and this tendency is maintained under different variants of κ_3^j placement in the plate. It has been found that under the action of a grinding cylinder, the character of the ink flow thickness distribution in j -zones of the ink-printing system elements for the various variants of the ink supply unit model, is not the same. It has been established that the ink supply unit model, which takes into account the vibrational movement of the transfer roller, reproduces the processes of the ink distribution and transfer more accurately by the ink-printing systems of offset printing presses, so it can be used to determine the parameters of the previous adjustment of color printing systems.

Keywords: *mathematical model, ink supply unit, signal graph, transfer roller, grinding cylinder, processes of ink distribution and transfer, filling factor, printing plate.*

Стаття надійшла до редакції 5.06.2018

Received 5.06.2018