

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ В ДИНАМІЦІ

У роботі представлено результати моделювання та комп'ютерного дослідження впливу параметрів навантаження на точність фарбодрукарської системи при різних способах подачі фарби.

This work presents the results of modelling and computer simulation of the parameters influence on the inkprinting system accuracy at different ink feeding methods.

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

Офсетні друкарські машини, які експлуатуються в Україні, оснащені фарбовими системами з дукторно-ножовими фарбоживильними пристроями, які забезпечують подачу порцій фарби у вигляді смужок заданої ширини. Дукторний циліндр, повертаючись на певний кут, за цикл роботи фарбоживильного пристрою формує вздовж своєї твірної смугу фарби певної ширини, товщина якої в кожній зоні задається відповідними регулювальними органами (гвинтами або кулачками). Фарба з поверхні дукторного циліндра забирається передавальним валіком і подається на вхід фарбової системи. Слід зазначити, що не вся фарба з поверхні дукторного циліндра передається у фарбову систему, частина її залишається на поверхні циліндра, створюючи зворотні потоки фарби у відповідних зонах на вході фарбової системи. Цикл роботи фарбоживильного пристрою визначається періодом коливання передавального валіка і дорівнює одному або двом циклам роботи друкарської машини [1, 2]. Отже, передавальний валік, контактуючи по чергово з дукторним циліндром і першим розкочувальним валіком, передає фарбу, як у прямому так і в зворотному напрямках.

Удосконалення регулювальних органів для переміщення дукторного ножа та систем керування ними, як відзначено в працях [3, 4], дало можливість задавати тонший шар фарби на дукторному циліндрі, і, відповідно, більший кут повороту циліндра. Така модернізація, як стверджується в публікаціях, зменшує нерівномірність товщини шару фарби на друкарських відбитках. Однак, оскільки зміна параметрів завдання впливає на динаміку процесу розкочування і передачі фарби, то така інформація потребує перевірки. Крім того, суттєвий вплив на

¹ Українська академія друкарства

статичні і динамічні характеристики фарбової системи має характер навантаження, тобто характер розміщення друкуючих елементів на формі. Тому визначення впливу навантаження на точність фарбової системи при різних комбінаціях товщини і ширини смуг зональної подачі фарби є актуальною проблемою.

2. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ДАНОЮ ТЕМОЮ

На сьогодні опубліковано низку праць, які стосуються даної проблеми [5, 6, 7, 8]. У роботі [5] для дослідження впливу площі друкуючих елементів на процес розкочування і перерозподілу фарби розроблена математична модель фарбової системи, і на її основі складена програма та проведено комп'ютерне моделювання. Але в даній роботі варіанти з різними коефіцієнтами заповнення форми розглядаються за умови, коли друкуючі елементи рівномірно розміщені на поверхні форми.

Також в роботі [6] представлено математичний опис, який лише відображає процес формування фарби у вигляді смуг певної товщини та передачу їх до розкочувального валика, але не описує передачу фарби у зворотному напрямі. Більш детальна модель фарбової системи з фарбоживильним пристроєм представлена в роботі [7]. На її основі проведено моделювання і дослідження процесу розподілу фарби між входом та виходом фарбової системи. Однак і в даному випадку, як і в праці [5], приймається, що при різних коефіцієнтах заповнення форми друкуючі елементи розміщено рівномірно.

У публікації [8] досліджується вплив розміщення друкуючих елементів на процес осьового розподілу фарби у фарбовій системі. Останнім часом з'явилися роботи, присвячені визначенню точності простих фарбодрукарських систем на базі їх статичних моделей [9, 10]. Необхідно зазначити, що задекларованого в даних публікаціях не вирішується. Адже якщо площа друкуючих елементів змінюється в напрямку руху фарби, тобто в часі, то досліджувати точність фарбодрукарської системи на основі її статичної моделі неможливо. Якщо прийняти, що лінійна зміна коефіцієнта заповнення форми, яка симулюється при моделюванні блоком *Ramp*, відображає сімейство коефіцієнтів, при кожному з яких фарбодрукарська система кожний раз виходить на усталений режим, то тоді дивним виглядає попереднє налагодження такої системи. В роботах стверджується, що фарбова система налагоджується таким чином, що товщина шару фарби на її виході становила одну умовну одиницю, тобто відповідала завданню лише при середньому значенні коефіцієнта заповнення форми з досліджуваного діапазону зміни коефіцієнтів. Тому природньо, що із відхиленням коефіціє-

нта заповнення форми від середнього значення товщина шару фарби на виході системи буде змінюватися, адже завдання залишається незмінним.

Отже, як впливає з вище викладеного, визначення впливу характеру навантаження на точність фарбодрукарської системи залишається актуальною задачею.

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ

Враховуючи складність фізико-механічних процесів, які протікають у фарбових системах, для вирішення поставленого завдання скористаємося спрощеною фарбодрукарською системою послідовної структури, до складу якої входять офсетний і формний циліндри, накочувальний та п'ять розкочувальних валиків, передавальний валик, дукторний циліндр з дукторним коритом і регулювальними органами. Подача фарби в розкочувальну групу здійснюється передавальним валиком у вигляді смуг, товщина яких задається регулювальними двигунами або кулачками, а ширина – кутом повороту дукторного циліндра. Порції фарби, що поступають на вхід розкочувальної групи, піддаються багаторазовому сумуванню і розщепленню, перетворюючись в суцільний шар, який передається накочувальним валиком на поверхню друкуючих елементів форми. Шар фарби з форми передається офсетним циліндром на відбиток.

При побудові математичної моделі приймаємо наступні припущення: передавальний валик здійснює один робочий цикл за час одного оберту формного циліндра; лінійні швидкості поверхонь елементів фарбодрукарської системи рівні між собою; тиск у зонах контакту валиків, формного і офсетного циліндрів є сталими; довжини кіл валиків і циліндрів поділені на ціле число умовних одиниць; час проходження шляху поверхнею валика – одна умовна одиниця – відповідає одній відносній одиниці.

Спираючись на результати робіт [1, 4, 7] та з врахуванням прийнятих допущень, складемо за схемою фарбової системи (рис.1) систему рівнянь, яка описує процес розкочування і передачі фарби:

$$h_0(z) = P_{жс}(z)z^{-P_d} h_{d_0}(z); \quad x_n(z) = h_0(z) + l_{d_n}(z);$$

$$h_{n_d}(z) = (P_{жс}(z)\alpha_{n_0} x_n(z) + \overline{P_{жс}}(z)l_{d_n}(z))z^{-P_n};$$

$$l_{d_0}(z) = \gamma_{n_0} x_n(z);$$

$$h_{n_{d\Sigma}}(z) = P_{жс}(z)h_{n_d}(z) + \overline{P_p}(z)z^{-(R_z+P_n)}l_{n_{1\Sigma}}(z);$$

$$l_{n_d}(z) = P_{жс}(z)z^{-r_n} h_{n_{d\Sigma}}(z);$$

$$\begin{aligned}
l_{n_{d_\Sigma}}(z) &= l_{n_d}(z) + \overline{P_p}(z)z^{-R_z}l_{n_1}(z); \\
l_{d_n}(z) &= l_{n_{d_\Sigma}}(z); \\
h_{n_{1_\Sigma}}(z) &= \overline{P_{\text{жс}}}(z)z^{-P_z}h_{n_d}(z) + h_{n_1}(z); \\
h_{1n}(z) &= P_p(z)h_{n_{1_\Sigma}}(z); \quad x_1(z) = h_{n_1}(z) + l_2(z); \\
l_{n_1}(z) &= P_p(z)\gamma_1 z^{-r_n}x_1(z); \\
l_{n_{1_\Sigma}}(z) &= P_p(z)l_{n_1}(z) + \overline{P_{\text{жс}}}z^{-(P_z+r_n)}h_{n_{d_\Sigma}}(z); \\
h_{n_1}(z) &= P_p(z)z^{-P_n}l_{n_{1_\Sigma}}(z); \\
x_1(z) &= h_{1n}(z) + R_1(z)x_2(z); \\
x_2(z) &= (P_p(z)\alpha_1 + \overline{P_p}(z))x_1(z) + R_2(z)x_3(z); \\
x_3(z) &= P_2(z)x_2(z) + R_3(z)x_4(z); \\
x_4(z) &= P_3(z)x_3(z) + R_4(z)x_5(z); \\
x_5(z) &= P_4(z)x_4(z) + R_5(z)x_6(z); \\
x_6(z) &= P_5(z)x_5(z) + R_6(z)x_{\phi}(z); \\
x_{\phi}(z) &= P_6(z)x_6(z) + R_{\phi}(z)x_{o\phi}(z); \\
x_{o\phi}(z) &= P_{\phi}(z)x_{\phi}(z) + R_{o\phi}(z)x_c(z); \\
x_c(z) &= P_{o\phi}(z)x_{o\phi}(z); \quad h_c(z) = P_c(z)x_c(z), \quad (1)
\end{aligned}$$

де $x_i(z)$, $x_{\phi}(z)$ і $x_{o\phi}(z)$ – товщини шарів фарби в зонах контакту валиків, формного і офсетного циліндрів; $P_i(z) = \alpha_i z^{-P_i}$, $R_i(z) = (1 - \alpha_{i+1})z^{-r_i}$, $R_6(z) = (1 - \alpha_{\phi})F(z)z^{-r_6}$, $P_{\phi}(z) = \alpha_{\phi}z^{-P_{\phi}}$, $R_{\phi}(z) = (1 - \alpha_{o\phi})F(z)z^{-r_6}$, $P_{o\phi}(z) = \alpha_{o\phi}z^{-P_{o\phi}}$, $R_{o\phi}(z) = (1 - \beta)z^{-r_{o\phi}}$ – оператори передачі прямих та зворотних потоків фарби на поверхні валиків, формного і офсетного циліндрів; $F(z)$ – оператор формування навантаження; α_{n_0} , γ_{n_0} – коефіцієнт передачі прямих і зворотних потоків фарби в момент контакту передавального валика з дукторним циліндром; $h_{d_0}(z)$, $h_0(z)$ – товщина шару фарби на поверхні дукторного циліндра при виході зі щілини між ножом і циліндром та при під-

ході до зони контакту з передавальним валиком; $h_{n_d}(z)$, $h_{n_1}(z)$ – товщина прямого потоку фарби на передавальному валику в моменти, коли він контактує з дукторним циліндром та першим розкочувальним валиком; l_{n_d} , l_{n_1} – товщина зворотного потоку на передавальному валику в моменти його контакту з дуктором та першим розкочувальним валиком; l_{n_0} – товщина зворотного потоку фарби, яка передається у фарбове корито; $x_n(z)$, $x_1(z)$ – 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 поверхнею передавального валика у відносних одиницях; $P_{ж}(z)$, $P_p(z)$ – оператори формування процесу передачі під час спільного руху передавального валика з дукторним циліндром та першим розкочувальним валиком; $P_c(z)$ – оператор передачі фарби на друкувальний матеріал; $h_c(z)$ – товщина шару фарби на друкарському відбитку.

На підставі математичної моделі (1) фарбодрукарської системи будемо структурну схему моделі в середовищі Matlab-Simulink (рис.1).

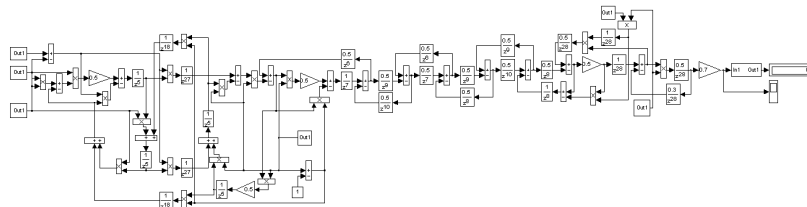


Рис. 1. Структурна схема моделі фарбодрукарської системи в середовищі Matlab-Simulink

4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Під час моделювання геометричні розміри фарбодрукарської системи задаємо через відповідні транспортні запізнення при передачі прямих і зворотних потоків фарби p_n , r_n , p_i , r_i , p_f , r_f , p_{of} , r_{of} . Задаємо значення коефіцієнтів передачі фарби в зонах контакту і елементів фарбодрукарської системи α_i , γ_i , α_f , γ_f , α_{of} , γ_{of} , кожне з

яких відповідає 0,5, а коефіцієнт передачі фарби з поверхні офсетного циліндра на друкувальний матеріал $\beta = 0,7$.

Проводимо моделювання за наступних умов. Вибираємо діапазон зміни коефіцієнта заповнення форми κ_3 в діапазоні 0,4-0,8, який задається оператором навантаження наступним чином:

$$F(z) = \frac{z^{d_f}}{z^{d_f} - 1} \left(\left(\frac{\kappa_{3\max} - \kappa_{3\min}}{l_f} \right) \frac{z}{z-1} \left(1 - z^{-l_f} \right) - \kappa_{3\max} z^{-l_f} + \kappa_{3\min} \right), \quad (2)$$

де d_f – час одного оберту формного циліндра у відносних одиницях, який відповідає довжині кола циліндра вираженого в умовних одиницях; l_f – довжина форми в умовних одиницях

Після вибору діапазону коефіцієнта заповнення налагоджуємо постійну подачу фарби таким чином, щоб при середньому κ_3 з вибраного діапазону $D\kappa_3$ товщина фарби на виході фарбодрукарської системи h_c відповідала бажаній величині $h_{c\text{баж}}$, наприклад 1 у.о., а похибка при цьому дорівнювала б нулеві. Змінюємо середнє значення κ_3 , яке є незмінним у часі, оператором навантаження, описаним виразом (2), і проводимо моделювання, результат якого представлений на рис.2.

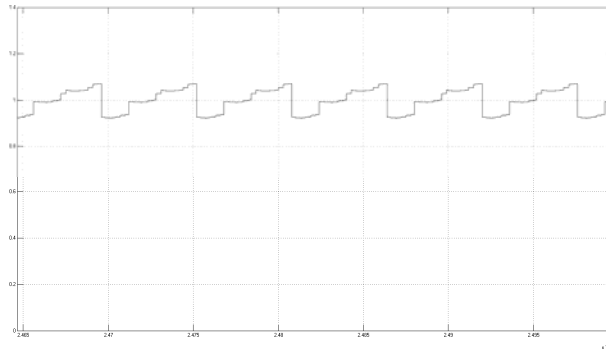
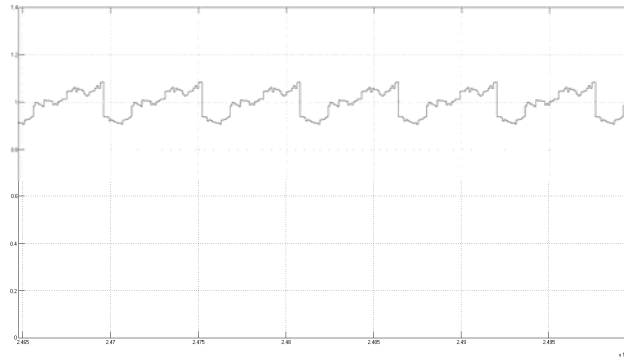


Рис. 2а. Графік зміни товщини шару фарби на відбитку при постійній подачі (діапазон коефіцієнта заповнення форми $\kappa_3=0,4-0,8$)

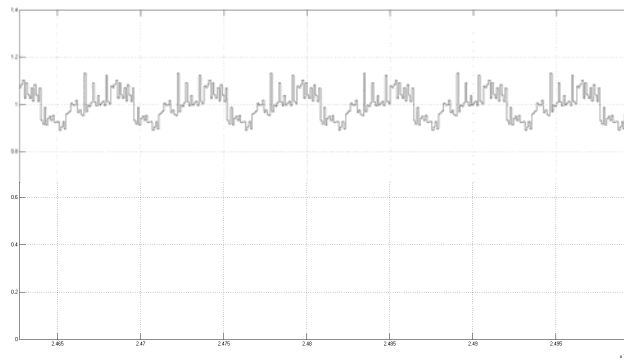
Як видно з графіка (рис.2а), на початку відбитка, де коефіцієнт заповнення $\kappa_3=0,4$, тобто менший від середнього значення 0,6, товщина шару фарби в цій ділянці відбитка є меншою від 1 у.о. на 8%, а в кінці відбитка, де κ_3 становить 0,8, товщина шару перевищує бажане значення на 7%.

На вхід досліджуваної моделі підключимо модель фарбоживильного пристрою та задаємо ширину смуги подачі фарби b_d рівною 5 у.о.,

відтак налагоджуємо подачу фарби таким чином, щоб середнє значення товщини шару фарби на відбитках при постійному коефіцієнті заповнення форми $\kappa_3=0,6$ становило, як і в попередньому випадку, 1 у.о. Середнє значення товщини шару фарби обраховується таким чином, як це описано в роботі [12]. Задавши попереднє налагодження, підключаємо оператор навантаження $F(z)$ і проводимо моделювання. В даному випадку отриманий результат (рис.2б) практично повторює попередній (рис.2а) з незначними відхиленнями: на початку відбитка товщина шару фарби на 8,3% менша від 1 у.о., а в кінці відбитка перевищує її на 8,1%. У попередньому випадку відхилення в кінці відбитка було менше лише на 1%.



б)



в)

Рис. 2. Графіки зміни товщини шару фарби на відбитку при дискретній подачі:
б) $b_d=5$ у.о.; в) $b_d=1$ у.о. (діапазон коефіцієнта заповнення форми $\kappa_3=0,4-0,8$)

Змінюємо режим подачі фарби на вхід фарбодрукарської системи, зменшивши ширину смуги подачі фарби до 1 у.о. Проводимо попереднє налагодження, як у вище наведених варіантах, тобто виводимо модель системи на квазіусталений режим, при якому, за умови, що коефіцієнт заповнення форми дорівнює 0,6, середнє значення товщини шару фарби на відбитках становитиме 1 у.о.

Після цього постійне значення κ_3 замінюємо на оператор навантаження $F(z)$, який відображає зміну коефіцієнта заповнення в часі, і проводимо модельний експеримент, результат якого представлений на рис.2в.

На початку відбитка відхилення товщини шару фарби від бажаної величини досягло -11%, зате в середині відбитка спостерігаються різні коливання товщини фарби, піки яких перевищують 1 у.о. на 13%. У кінці відбитка коливання товщини фарби зменшуються до 7%.

При відтворенні растрового зображення на відбитках діапазон κ_3 в межах 0,4-0,8 можна розглядати як діапазон відносної площі, виражений у відсотках 40%-80%, що відповідає «тіням» при тоновідтворенні. Розглянемо інший діапазон, який відповідає світлим тонам і становить відповідно 10%-20%. Налагоджуємо модель фарбодрукарської системи на постійну подачу і при цьому досягаємо товщину шару фарби на її виході в 1 у.о. за умови, що коефіцієнт заповнення форми по всій її поверхні є однаковим і становить 0,15, тобто дорівнює середньому значенню інтервалу, який ми розглядаємо. Після цього до моделі підключаємо віртуальну форму, зміну коефіцієнта заповнення якої імітує оператор навантаження $F(z)$, і проводимо моделювання. Отриманий результат (рис.3а) за характером повторює графік (рис.2а), отриманий за таких самих умов, тільки при іншому діапазоні коефіцієнта заповнення.

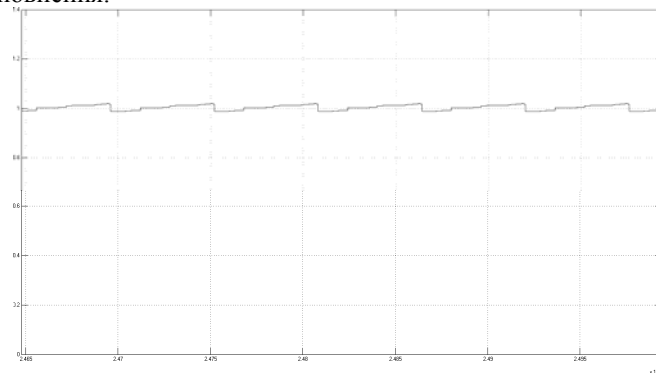
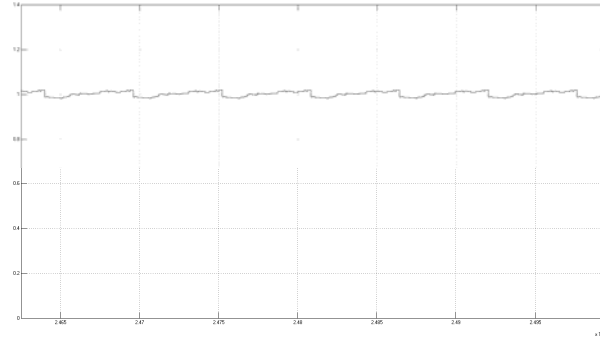


Рис. 3а. Графік зміни товщини шару фарби на відбитку при постійній подачі (діапазон коефіцієнта заповнення форми $\kappa_3=0,1-0,2$)

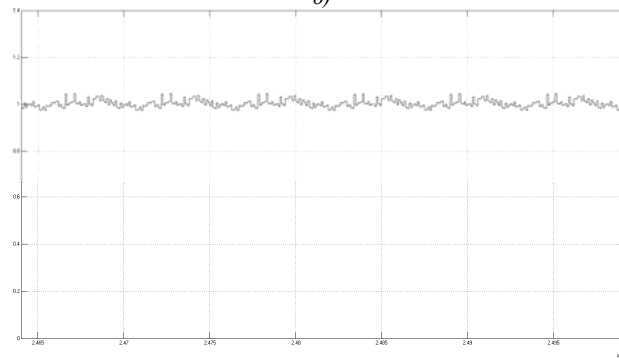
Однак у цьому випадку відхилення товщини фарби на друкарських елементах на початку відбитка від бажаної товщини становлять лише -1,2%, а в кінці відбитка +1,8%.

Дотримуючись аналогічної методики, тобто спочатку налагоджуємо подачу фарби для середнього значення коефіцієнта κ_3 , а після цього, не змінюючи завдання, підключаємо віртуальну форму, яка описується оператором $F(z)$, проводимо моделювання фарбодрукарської системи для двох варіантів дискретної подачі фарби: в першому випадку ширина смуги подачі фарби становить $b_d=5$ у.о., а в другому – $b_d=1$ у.о., результати яких відповідно представлені на рис. 3б, в.

Графік, представлений на рис.3б, повторює результат (рис.3а), отриманий при постійній подачі з несуттєвими відхиленнями: при дискретній подачі порцій фарби шириною $b_d=5$ у.о. відхилення товщини фарби на початку відбитка від бажаної товщини становить -1,7%, а в кінці +2%.



б)



в)

Рис. 3. Графіки зміни товщини шару фарби на відбитку при дискретній подачі: б) $b_d=5$ у.о.; в) $b_d=1$ у.о. (діапазон коефіцієнта заповнення форми $\kappa_3=0,1-0,2$)

При зменшенні ширини смуги подачі фарби до 1 у.о. зі збільшенням при цьому товщини, отримуємо результат (рис.3в), схожий до представлено на рис.2в, тільки коливання товщини фарби на друкарських елементах у від'ємну сторону від бажаної товщини на початку відбитка становить 2,8%, в середній ділянці відбитка відхилення збільшується до +4,4%, а в кінці зменшується до +1%.

Для наочності точність фарбодрукарської системи представимо у вигляді графіків (рис.4), які можна отримати за допомогою такого виразу:

$$\Delta h_C(z)\% = [(h_C(z) - h_{Сбаж}(z)) \cdot h_{Сбаж}^{-1}(z)] \cdot 100\% . \quad (3)$$

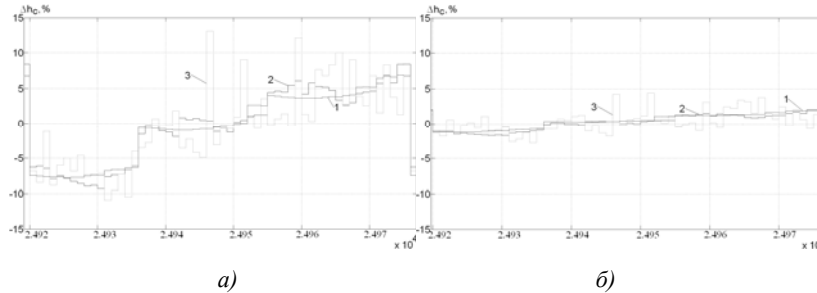


Рис. 4. Графіки похибок фарбодрукарської системи при різних способах подачі: (1 – постійна подача; 2 – дискретна подача $b_d=5$ у.о.; 3 – дискретна подача $b_d=1$ у.о.) для двох діапазонів $D\kappa_3$: а) $D\kappa_3=0,4-0,8$; б) $D\kappa_3=0,1-0,2$.

Отримані результати моделювання не підтверджують тих результатів, які подані в роботах, де точність фарбодрукарської системи визначається за їх статичними характеристиками.

5. ВИСНОВКИ

1. Розроблена математична модель фарбодрукарської системи та побудована її структурна схема в середовищі Matlab-Simulink.

2. Встановлено, що при зміні щільності заповнення форми в напрямку колового руху фарби фарбодрукарська система може вийти тільки на квазіусталений режим, тому описувати її статичними характеристиками не коректно.

3. Відхилення товщини фарби на відбитку від бажаної величини, а відповідно і точність фарбодрукарської системи, залежить від діапазону зміни коефіцієнта заповнення форми та ширини смуги (порції) подачі фарби.

4. Виявлено, що точність фарбодрукарської системи залежить не тільки від діапазону κ_3 але і від того, в якій ділянці відтворення тону зобра-

ження цей діапазон розглядається. Так, відхилення товщини фарби від бажаної величини в тінях є більшим, ніж на інтервалі світлих тонів.

5. Встановлено, що товщина фарби на ділянках відбитка, яка відповідає зоні форми з коефіцієнтом заповнення k_z , меншим середнього значення, є меншою від 1 у.о., тобто бажаного заданого значення, а в кінці відбитка, що відповідає формі з k_z , більшим від середнього значення, відхилення товщини фарби є додатнім.

Цей, на перший погляд, нелогічний результат пояснюється тим, що із зменшенням коефіцієнта заповнення збільшуються зворотні потоки форми та зростає час перехідного процесу, тому фарба не встигає за цикл роботи фарбодрукарської системи накопичуватися до такої величини, щоб у світлих тонах її товщина була більшою від заданої величини.

1. Алексеев Г.В. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. –М., Книга. 1980. –184 с. 2. Раскин А.Н. и др. Технология печатных процессов. –М., Книга. 1989. – 389 с. 3. Зирзак Л.Ф. и др. Листовые офсетные печатные машины. –М.: Издательство МГУП. 1998. – 136с. 4. Ярема С.М., Мамут Б.Г. Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні та лакувальні пристрої друкарських машин. – К.: Ун-т «Україна»: ХК «Бліц-Інформ», 2003. – 191с. 5. Верхола М.І., Бабінець В.М., Гук І.Б. Моделювання та аналіз впливу коефіцієнта заповнення форми на процес передачі фарби на відбиток при осьовому розкочуванні // Наукові записки: Науково-технічний збірник. – Львів: УАД. – 2003. – №6. – С.96-104. 6. 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: Збірник наукових праць. – 2002. – №8. – С.3-15. 7. Верхола М.І., Бабінець В.М. Визначення коефіцієнта передачі фарби передаючим валіком та аналіз розподілу фарби між входом та виходом фарбової системи з трьома накопичувальними валіками // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – 2008. – №20. – С.3-24. 8. 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. – 2007. – №18. – С.5-21. 9. Луцків М.М., Рибак В.М. Визначення точності фарбо-друкарської системи послідовної структури для заданих інтервалів тоновідтворення зображення // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – 2008. – №20. – С.25-33. 10. Лозовий П.І. Визначення точності коротких фарбодрукарських систем при відтворенні зображень // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – 2010. – №23. – С.35-44. 11. 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. – 2006. – №16. – С.3-13. 12. Верхола М.І., Споляк Р.М. Автоматичне визначення вхідного завдання послідовної фарбодрукарської системи для різних навантажень // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – 2011. – №25. – С.20-30.