



УДК 004.942:681.625

DOI: 10.20535/2077-7264.1(83).2024.300575

© М. І. Верхола, д-р техн. наук, проф., О. Є. Бабич, асп.,  
Р. Р. Качур, асп., М. І. Давидкін, асп., Українська академія  
друкарства, м. Львів, Україна

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ ФАРБИ І ЗВОЛОЖУВАЛЬНОГО РОЗЧИНУ У ФАРБОДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ ОФСЕТНОГО ТИПУ

Стаття присвячена розробленню математичної моделі, яка описує процес передачі та руху фарби від фарбоживильного пристрою до накочувальних валиків, передачу розчину від зволожувального апарата до форми, взаємодію фарби і розчину в зонах контакту валиків з друкарською формою, накочування фарби на друкувальні елементи та розчину на пробільні, та їх передачу поверхнею офсетного циліндра до відбитків та у зворотному напрямі.

**Ключові слова:** офсетний друк; математична модель; симулятор; фарбодрукарська система; зволожувальний розчин; фарбова емульсія; друкарські відбитки.

#### Постановка проблеми

Офсетний друк є найбільш поширеним методом виготовлення друкованої продукції, він широко використовується в рекламній сфері для виготовлення іміджевої або сувенірної продукції, а також для друкування книг, брошур, етикеток тощо. Цей спосіб друку має низку переваг, серед яких, широкий колірний діапазон, можливість використовувати фарби Pantone, металізовані та інші спеціальні фарби, висока робоча швидкість, можливість наносити зображення на різні матеріали. Але тенденція, що спостерігається на ринку поліграфічних послуг, щодо зменшення накладів, зростання попиту на багатофарбову продукцію та скорочення часу

її виготовлення, сприяє розвитку і поширенню цифрового друку. Для підвищення ефективності офсетного друку використовують метод виготовлення збірних накладів, коли в межах одного спуску, тобто друкарського відбитку, розміщують декілька різних замовлень з однаковими обсягами, що зменшує собівартість поліграфічної продукції. Значна кількість офсетних машин, які експлуатуються на вітчизняних поліграфічних підприємствах, налагоджуються друкарями вручну на основі їх досвіду та кваліфікації. Високотехнологічні багатофарбові друкарські машини оснащені низкою систем автоматичного керування, проте для підвищення ефективності застосування цих систем



керування, а відповідно конкурентоздатності офсетного друку, необхідна достовірна інформація, що стосується параметрів вхідного завдання. Наявність таких даних дасть можливість зменшити часові і матеріальні затрати на підготовку машин до друку, що особливо вагомо для машин з ручним налаштуванням.

Практично усі офсетні машини оснащені зволожувальними апаратами різної конструкції та принципу роботи. У процесі друку відбувається емульгування фарби, тому дослідження взаємодії фарби і зволожувального розчину у фарбодрукарських системах (ФДС) офсетного типу є актуальним завданням.

#### **Аналіз попередніх досліджень**

На підставі аналізу наукових праць, пов'язаних із дослідженням ФДС, можна зробити висновок, що процес передачі фарби ґрунтовно математично описаний. Так у статті [1] побудовано математичну модель ФДС послідовної структури та розроблено методу розрахунку розподілу шарів фарби для усталеного режиму роботи системи. Більш досконалу математичну модель ФДС запропоновано в науковій праці [2], де процес розподілу і передачі фарби описано за допомогою системи різницевих рівнянь. На основі методу Гауса для чисельного розв'язання системи алгебраїчних рівнянь в середовищі Visual Basic розроблено програму, яка дозволяє здійснювати моделювання роботи системи та визначати товщини шарів фарби на поверхнях валиків і циліндрів.

Вагомий вклад в розвиток комп'ютерного моделювання ФДС зроблено кафедрою АКТ Української академії друкарства. Опубліковано понад сотню праць, серед яких [3–5], де розроблено теоретико-методологічні основи для опису процесів розподілу і передачі фарби у ФДС різної структури. Побудовано моделі, які враховують режими роботи фарбоживильного пристрою, розтиральних циліндрів та досліджено їх вплив на процес фарбопередачі. Розроблено інформаційні технології попереднього налагодження ФДС. Проте в цих працях не враховано впливу зволоження на розподіл і передачу фарби.

Процес відтворення зображення на відбитках полягає у нанесенні зволожувального розчину на пробільні (гідрофільні) елементи і формування шару фарби на друкувальних (олеофільних) елементах форми та передачі утвореної водно-фарбової емульсії через офсетне гумовотканинне полотно на задруковуваний матеріал. Ступінь емульгування залежно від складу фарби може змінюватися в широких межах у діапазоні 16–67 % [6].

Якість друкованої продукції залежить не тільки від правильного балансу «фарба—зволожувальний розчин», але й хімічного складу розчину. Основними параметрами, які характеризують розчин, є поверхневий натяг, кислотність (рН), жорсткість (dН), електропровідність, температура. Оптимальне зволоження, а відповідно якісний офсетний друк можна, отримати із використанням розчину у діапазоні величини рН 4,8–5,5 [6]. У випадку якщо рН < 4,8, розмір растрових крапок зменшується



ся, кислота реагує з матеріалом форми, офсетного полотна і паперу. Якщо зволожувальний розчин має  $\text{pH} > 5,5$ , граничний поверхневий натяг між фарбою і розчином зменшується, і вони частково змішуються, внаслідок чого інтенсивність кольору на зображенні знижується і фарба передається на пробільні елементи форми.

Вплив електропровідності розчину на якість відбитків, отриманих на крейдованому і некрейдованому папері, проаналізовано у статті [7]. Провідність води прямо пропорційно залежить від кількості іонів калію або натрію. Найкращу якість відбитків на крейдованому папері отримали, коли електропровідність  $G$  становила  $11,72 \text{ мСм/см}$ , а на некрейдованому  $G = 1,64 \text{ мСм/см}$ .

У роботі [8] досліджується вплив зволожувальних систем та властивостей паперу на якість і точність відтворення кольорових зображень. У результаті проведених експериментів виявлено, що у півтонах найбільш нестабільна передача градацій спостерігається для фарб Cyan і Black за використання апарата Komras III. Стабільну передачу фарби в темних ділянках відбитків зафіксовано, коли друкарська машина оснащена зволожувальним апаратом Alcolor. Цей апарат також забезпечив репродукційно-графічні показники відбитків на матовому і глянцевому папері, які мінімально відрізняються від оригінал-макета.

У публікації [9], де досліджується вплив системи зволоження на якість друкованих відбитків, зазначено, що товщина розчину на поверхні форми повинна

становити  $0,3\text{--}0,4 \text{ мкм}$ . Друкуються відбитки на офсетній машині з дискретною подачею зволожувального розчину та на машині, оснащеної зволожувальною системою Heidelberg PH-74 Alcolor. На підставі проведених досліджень встановлено, що система зволоження, на відміну від типу паперу, немає істотного впливу на колірну гаму. Проте під час використання зволоження Alcolor недостатній вміст спирту призводить до емульгування фарби у розчині. У випадку використання традиційної зволожувальної системи з дискретною подачею розчин та фарба контактують лише на формі, і це призводить до затримки досягнення балансу «фарба—вода». Оскільки спирт в традиційних системах зволоження не використовується, то оптичний приріст растрових крапок збільшується, але зі зростанням накладів погіршується реологія фарби.

У статті [10] розроблена методика контролю балансу «фарба—вода», яка базується на реєстрації параметрів друкарської машини та температури і вологості, що впливають на цей баланс. Отриманий масив даних з відповідних датчиків використано для машинного навчання. Стверджується, що навчена нейронна мережа здатна відносно точно здійснювати налаштування задавача подачі зволожувального розчину. Інформація про архітектуру мережі в поданому матеріалі відсутня, тому незрозуміло, які параметри друкарської машини враховувалися.

У науковій праці [11] запропоновано математичну модель переміщення зволожувального розчину між двома валиками, який



описується рівнянням Нав'є-Стокса для в'язких рідин. Проте ця модель не враховує процесу руху зволожувального розчину поверхнями валиків між зонами їх контакту.

З аналізу інформаційних джерел можна зробити висновок, що недостатньо уваги приділяється розробленню математичних моделей процесу розподілу і передачі зволожувального розчину та його взаємодії з фарбою, які є потужним інструментом у дослідженні ФДС.

### Мета роботи

Розроблення математичної та імітаційної моделей фарбодрукарської системи офсетного типу для дослідження взаємодії фарби і зволожувального розчи-

ну в процесі їх передачі від джерела живлення до відбитків.

### Результати проведених досліджень

Об'єктом дослідження обрано ФДС офсетного типу (рис. 1), до складу якої входять фарбова, друкарська та зволожувальна підсистеми. Подача фарби здійснюється дукторно-ножовим фарбоживильним пристроєм. Товщина шару фарби, що виводиться із скриньки завантаженою фарбою ФС, задається регулювальними органами РО, які змінюють розмір щілини між дуктором Д та дукторним ножом ДН. Частина фарби з дуктора відбирається валиком ПВ, який здійснює коливальний рух і подається до першого циліндра розкочувальної групи. Далі

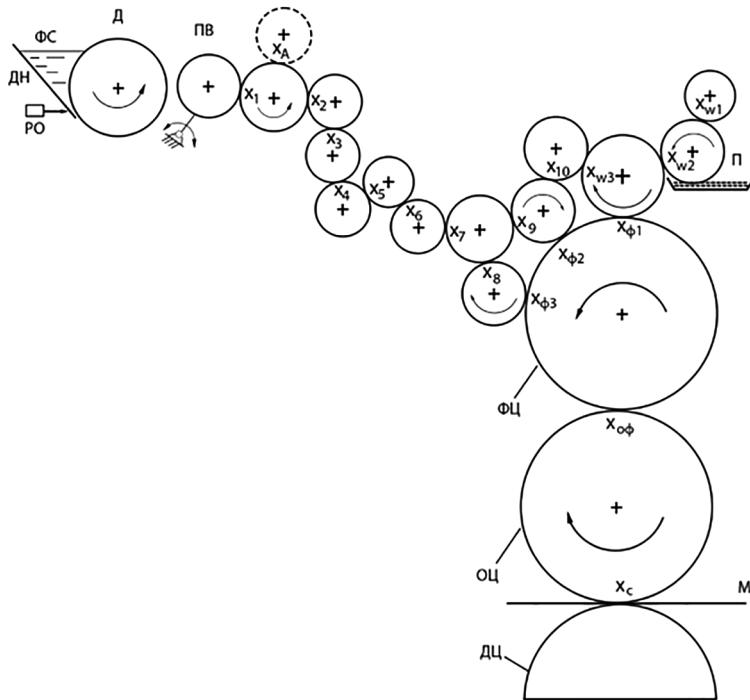


Рис. 1. Функціональна схема фарбодрукарської системи офсетного типу



фарба системою валиків і циліндрів (1–7) транспортується до накочувальних валиків 8, 9. У процесі передачі потоки фарби сумуються при входженні в зону контакту елементів ФДС і розщеплюються під час виходу з них.

Зволожуваний розчин з піддона П виводиться гумовим валиком W2 і через зону контакту подається до металевого, покритого хромом валиком W3. Товщина шару зволожувального розчину регулюється зміною величини щілини між валиками W2 і W1. Під час роботи ФДС формний циліндр обертається, і друкарська форма спочатку контактує зі зволожувальним валиком W3, а після цього з фарбовими накочувальними валиками 9 і 8. Частина зволожувального розчину передається у фарбову підсистему у зонах контакту з формою, а інша надходить через розкочувальний валик 10. Фарба з поверхні друкувальних елементів і розчин з поверхні пробільних передаються офсетним циліндром ОЦ на папір у зоні контакту з друкарським циліндром ДЦ.

Під час побудови математичної моделі допускаємо, що лінійні швидкості елементів ФДС однакові; часом проходження фарби і зволожувального розчину через відповідні зони контакту нехтуємо; приймаємо, що довжини кіл поверхонь фарбової та зволожувальної систем поділені на ціле число умовних одиниць кратне одному міліметру; час, за який фарба і зволожувальний розчин у ФДС переміщується на віддаль в 1 мм, становить одну відносну одиницю; період подачі фарби кратний циклу обертання формного циліндра; змінними вважає-

мо: товщини шарів подачі друкарської фарби і розчину, товщини фарбової емульсії в місцях контакту та на поверхні елементів фарбової, зволожувальної і друкарської підсистем.

Спираючись на результати наукових досліджень [3–5] та прийняті припущення, створюємо математичну модель процесу отримання друкованих відбитків у ФДС, топологія якої представлена на рис. 1.

$$\begin{aligned} ex_n(z) &= P_d(z)h_d(z) + \\ &+ R_n(z)P_6(z)P_n(z)ex_n(z) + \\ &+ [R_n(z)R_{n1}(z) + R_{dn}(z)R_n^*(z)]ex_1(z); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ex_1(z) &= [P_{1n}(z)P_n(z) + \\ &+ P_n^*(z)P_{nd}(z)]ex_n(z) + \\ &+ P_n^*(z)P_p(z)R_n^*(z)ex_1(z) + \\ &+ R_{1,2}(z)ex_A(z); \end{aligned}$$

$$ex_2(z) = P_1(z)ex_1(z) + R_2(z)ex_3(z);$$

$$\begin{aligned} ex_A(z) &= R_{1,1}(z)ex_2(z) + \\ &+ P_A(z)ex_A(z); \end{aligned}$$

$$ex_3(z) = R_2(z)ex_2(z) + R_3(z)ex_4(z);$$

$$ex_4(z) = P_3(z)ex_3(z) + R_4(z)ex_5(z);$$

$$ex_5(z) = P_4(z)ex_4(z) + R_5(z)ex_6(z);$$

$$ex_6(z) = P_5(z)ex_5(z) + R_6(z)ex_7(z);$$

$$\begin{aligned} ex_7(z) &= P_6(z)ex_6(z) + \\ &+ R_{7,2}(z)ex_9(z); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ex_8(z) &= P_7(z)ex_7(z) + \\ &+ R_8(z)ex_{\phi 3}(z); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ex_9(z) &= R_{7,1}(z)ex_8(z) + \\ &+ R_9(z)ex_{\phi 2}(z); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ex_{10}(z) &= P_{9,1}(z)ex_9(z) + \\ &+ R_{10,2}(z)ex_{w3}(z); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ex_{w3}(z) &= R_{10,1}(z)ex_{10}(z) + \\ &+ R_{w3}(z)ex_{\phi 1}(z); \end{aligned}$$



$$ex_{w2}(z) = P_{w3.1}(z)ex_{w3}(z) + P_{w2}(z)ex_{w1}(z);$$

$$ex_{w1}(z) = R_{w2}(z)ex_{w2}(z) + R_{w1}(z)ex_{w1}(z) + rh_d(z);$$

$$rx_{\phi1}(z) = P_{w3.2}(z)(ex_{w2}(z) - k_e x_{w2}(z)) + R_{\phi}(z)rx_{o\phi}(z);$$

$$ex_{\phi1}(z) = P_{w3.2}(z)k_e x_{w2}(z) + R_{\phi}(z)ex_{o\phi}(z);$$

$$rx_{\phi2}(z) = P_{9.2}(z)(ex_{10}(z) - k_e x_{10}(z)) + F_{\Pi1}P_{\phi1}(z)rx_{\phi1}(z);$$

$$ex_{\phi2}(z) = P_{9.2}(z)k_e x_{10}(z) + F_{D1}P_{\phi1}(z)ex_{\phi1}(z);$$

$$rx_{\phi3}(z) = P_8(z)(ex_8(z) - k_e x_8(z)) + F_{\Pi2}P_{\phi2}(z)rx_{\phi2}(z);$$

$$ex_{\phi3}(z) = P_8(z)k_e x_8(z) + F_{D2}P_{\phi2}(z)ex_{\phi2}(z);$$

$$rx_{o\phi}(z) = F_{\Pi3}P_{\phi3}(z)rx_{\phi3}(z) + R_{o\phi}(z)rx_c(z);$$

$$ex_{o\phi}(z) = F_{D3}P_{\phi3}(z)ex_{\phi3}(z) + R_{o\phi}(z)ex_c(z);$$

$$rh_c(z) = P_c(z)rx_c(z);$$

$$ex_c(z) = P_c(z)ex_c(z); \quad (1)$$

де  $ex_n(z)$ ,  $ex_1(z)$ ,  $ex_2(z)$ , ...,  $ex_{10}(z)$  –  $z$  — зображення товщин фарбової емульсії в зонах контакту валиків (циліндрів) фарбової, розкочувально-накочувальної групи;  $ex_{w1}(z)$ ,  $ex_{w2}(z)$ ,  $ex_{w3}(z)$  –  $z$  — зображення товщин потоків фарбової емульсії в зонах контакту елементів зволожувальної підсистеми;  $ex_{\phi1}(z)$ ,  $ex_{\phi2}(z)$ ,  $ex_{\phi3}(z)$ ,  $ex_{o\phi}(z)$ ,  $ex_{\phi c}(z)$  –  $z$  — зображення товщин емульгової фарби та зволожувального розчину ( $rx_{\phi1}(z)$ ,  $rx_{\phi2}(z)$ ,  $rx_{\phi3}(z)$ ,  $rx_{o\phi}(z)$ ,  $rx_{\phi c}(z)$ ) в зонах контакту друкарської форми з накочувальними ва-

ликами і офсетним циліндром та останнього із задруковуваним матеріалом;  $P_d(z)$ ,  $R_d(z)$  — оператори передачі фарби поверхню дукторного циліндра;  $P_n(z)$ ,  $R_n(z)$ ,  $P_n^*(z)$ ,  $R_n^*(z)$  — оператори передачі фарби в зонах контакту передавального валика з дуктором та першим валиком розкочувальної групи;  $P_{nd}(z)$ ,  $P_{1n}(z)$  та  $R_{dn}(z)$ ,  $R_{n1}(z)$  — оператори передачі фарби від дуктора у розкочувальну групу і в зворотному напрямі;  $P_i(z)$ ,  $R_i(z)$ ,  $P_{w1}(z)$ ,  $R_{wi}(z)$  — оператори передачі фарбової емульсії валиками і циліндрами фарбової та зволожувальної підсистеми;  $P_{\phi1}(z)$ ,  $P_{\phi2}(z)$ ,  $P_{\phi3}(z)$ ,  $R_{\phi}(z)$  — оператори передачі емульгової фарби та розчину поверхню форми між накочувальними валиками і офсетним циліндром;  $P_{o\phi}(z)$ ,  $R_{o\phi}(z)$  — оператори передачі емульгової фарби офсетним циліндром між зонами його контакту з формою та задруковуваним матеріалом;  $P_c(z)$  — оператор передачі фарбової емульсії на матеріал;  $h_d(z)$ ,  $eh_c(z)$  –  $z$  — зображення товщин фарби, що подається у ФДС і після взаємодії з розчином передається на відбитки;  $k_e(z)$  — коефіцієнт зростання об'єму фарби внаслідок емульгування в ній зволожувального розчину.

Оператори передачі фарби мають такий вид:

$$P_n(z) = a_i z^{-p_i}; \quad R_i(z) = \gamma_{i+1} z^{-r_i};$$

$$P_{\phi1}(z) = \alpha_{\phi1}(z) z^{-p_{\phi1}};$$

$$P_{\phi2}(z) = \alpha_{\phi2}(z) z^{-p_{\phi2}};$$

$$P_{\phi3}(z) = \alpha_{\phi3}(z) z^{-p_{\phi3}};$$

$$R_{\phi}(z) = \gamma_{o\phi} z^{-r_{\phi}};$$

$$F_{D1}(z) = F_D(z) z^{-p_{\phi1}};$$

$$F_{D2}(z) = F_D(z) z^{-(p_{\phi1} + p_{\phi2})};$$





$$F_{д3}(z) = F_{д}(z)z^{-(\rho_{\phi1} + \rho_{\phi2} + \rho_{\phi3})};$$

$$F_{\Pi1}(z) = F_{\Pi}(z)z^{-\rho_{\phi1}};$$

$$F_{\Pi2}(z) = F_{\Pi}(z)z^{-(\rho_{\phi1} + \rho_{\phi2})};$$

$$F_{\Pi3}(z) = F_{\Pi}(z)z^{-(\rho_{\phi1} + \rho_{\phi2} + \rho_{\phi3})};$$

$$P_{оф}(z) = \alpha_{оф}z^{-\rho_{оф}};$$

$$R_{оф}(z) = \gamma_{оф}z^{-r_{оф}}; P_c(z) = \beta; \quad (2)$$

де  $\alpha_i, \alpha_{\phi i}, \alpha_{оф}$  — коефіцієнти розподілу фарбової емульсії на прямі та зворотні ( $\gamma_i, \gamma_{\phi i}, \gamma_{оф}$ ) потоки, що виходять із зон контакту елементів ФДС;  $i$  — позиція валиків і циліндрів на схемі моделі;  $F_{д}, F_{\Pi}$  — оператори передачі емульгованої фарби та розчину друкарською формою;  $\beta$  — коефіцієнт передачі фарбової емульсії та розчину з поверхні офсетного полотна на відбитки;  $z^{-\rho_i}, z^{-r_i}, z^{-\rho_{\phi i}}, z^{-r_{\phi i}}, z^{-\rho_{оф}}, z^{-r_{оф}}$  — транспортні запізнення, що враховують час переміщення фарби між зонами контакту елементів ФДС.

Товщини прямих і зворотних мікропотоків фарбової емульсії, що циркулюють у ФДС під час її роботи, описуються такою системою рівнянь:

$$h_n(z) = [P_{1n}(z)P_n(z) + P_n^*(z)P_{nd}(z)]x_n(z) + P_n^*(z)P_p(z)R_n^*(z)x_1(z);$$

$$l_n(z) = R_n(z)P_6(z)P_n(z)x_n(z) + [R_n(z)R_{n1}(z) + R_{dn}(z)R_n^*(z)]x_1(z);$$

$$h_2(z) = P_2(z)x_2(z); l_{1.1}(z) = R_{1.1}(z)x_2(z);$$

$$h_A(z) = P_A(z)x_A(z); l_{1.2}(z) = R_{1.2}(z)x_A(z);$$

$$h_3(z) = P_3(z)x_3(z); l_2(z) = R_2(z)x_3(z);$$

$$h_4(z) = P_4(z)x_4(z); l_3(z) = R_3(z)x_4(z);$$

$$h_5(z) = P_5(z)x_5(z); l_4(z) = R_4(z)x_5(z);$$

$$h_6(z) = P_6(z)x_6(z); l_5(z) = R_5(z)x_6(z);$$

$$h_7(z) = P_7(z)x_7(z); l_6(z) = R_6(z)x_7(z);$$

$$h_8(z) = P_8(z)x_8(z); l_{7.1}(z) = R_{7.1}(z)x_8(z);$$

$$h_9(z) = P_9(z)x_9(z); l_{7.2}(z) = R_{7.2}(z)x_9(z);$$

$$h_{10}(z) = P_{10}(z)x_{10}(z); l_{9.1}(z) = R_{9.1}(z)x_{10}(z);$$

$$h_{w3.1}(z) = P_{w3.1}(z)x_{w3}(z);$$

$$l_{10}(z) = R_{10}(z)x_{w3}(z);$$

$$h_{w3.2}(z) = P_{w3.2}(z)x_{w2}(z);$$

$$l_{w2}(z) = R_{w2}(z)x_{w2}(z);$$

$$h_{w1}(z) = P_{w1}(z)x_{w1}(z);$$

$$rh_{\phi1}(z) = F_{n1}P_{\phi1}(z)rx_{\phi1}(z);$$

$$rl_{w2}(z) = R_{w2}(z)rx_{\phi1}(z);$$

$$eh_{\phi1}(z) = F_{d1}P_{\phi1}(z)ex_{\phi1}(z);$$

$$el_{w2}(z) = R_{w2}(z)ex_{\phi1}(z);$$

$$rh_{\phi2}(z) = F_{n2}P_{\phi2}(z)rx_{\phi2}(z);$$

$$rl_{9.2}(z) = R_{9.2}(z)rx_{\phi2}(z);$$

$$eh_{\phi2}(z) = F_{d2}P_{\phi2}(z)ex_{\phi2}(z);$$

$$el_{9.2}(z) = R_{9.2}(z)ex_{\phi2}(z);$$

$$rh_{\phi3}(z) = F_{n3}P_{\phi3}(z)rx_{\phi3}(z);$$

$$rl_8(z) = R_8(z)rx_{\phi3}(z);$$

$$eh_{\phi3}(z) = F_{d3}P_{\phi3}(z)ex_{\phi3}(z);$$

$$el_8(z) = R_8(z)ex_{\phi3}(z);$$

$$rh_{оф}(z) = P_{оф}(z)rx_{оф}(z);$$

$$rl_{\phi}(z) = R_{\phi}(z)rx_{оф}(z);$$

$$eh_{оф}(z) = P_{оф}(z)ex_{оф}(z);$$

$$el_{\phi}(z) = R_{\phi}(z)ex_{оф}(z); \quad (3)$$

де  $eh_n(z), el_n(z), eh_i(z), el_i(z), eh_{wi}(z), el_i(z)$  — зображення товщини прямих і зворотних мікропотоків фарбової емульсії на поверхнях валиків і циліндрів фарбової та зволожувальної підсистем;  $eh_{\phi1}(z), eh_{\phi2}(z), eh_{\phi3}(z), el_{\phi}(z), eh_{оф}(z), el_{оф}(z)$  — товщини мікропотоків фарбової емульсії та зволожувального



розчину ( $(rh_{\phi 1}(z), rh_{\phi 2}(z), rh_{\phi 3}(z), rl_{\phi}(z), rh_{o\phi}(z))$ ) на поверхнях формного та офсетного циліндрів.

На основі систем рівнянь (1) і (3) та функціональної схеми, зображеної на рис. 1, в середовищі Matlab Simulink побудовано симулятор фарбодрукарської системи (рис. 2).

Під час розроблення симулятора враховується топологія ФДС. Геометричні розміри валиків і циліндрів фарбової, зволожувальної та друкарської підсистем задаються через показники ступеня транспортних запізнень, які є складовими операторів передачі фарбової емульсії. Період дискретної подачі фарби передавальним валиком приймаєм рівним двом циклам роботи ФДС. Кут повороту дукторного циліндра задаємо такий, щоб під час його спільного руху з передавальним

валиком поверхня дуктора в коллому напрямі перемістилась на 30 мм.

Розміщення друкувальних (плашка) і пробільних елементів на поверхні форми задаємо через відповідні оператори  $F_D(z)$  та  $F_{\Gamma}(z)$ :

$$F_D(z) = z^{-\alpha}(1 - z^{-l_D})(1 - z^{-d_{\phi}})^{-1};$$

$$F_{\Gamma}(z) = z^{-(\alpha+l_{\Gamma})}(1 - z^{-l_{\Gamma}})(1 - z^{-d_{\phi}})^{-1}, \quad (4)$$

де  $\alpha$  — зміщення плашки відносно краю формної пластини;  $l_D, l_{\Gamma}$  — довжина плашки та пробільної частини форми;  $d_{\phi}$  — довжина кола поверхні формного циліндра.

Приймаємо, що коефіцієнти розщеплення фарби у зонах контакту валиків і циліндрів становлять  $\alpha_i = 0,5$ , а коефіцієнт передачі з офсетного циліндра на відбитки  $\beta_i = 0,7$ , та імпортуємо ці дані в симулятор. Шляхом імітаційного моделювання визначаємо

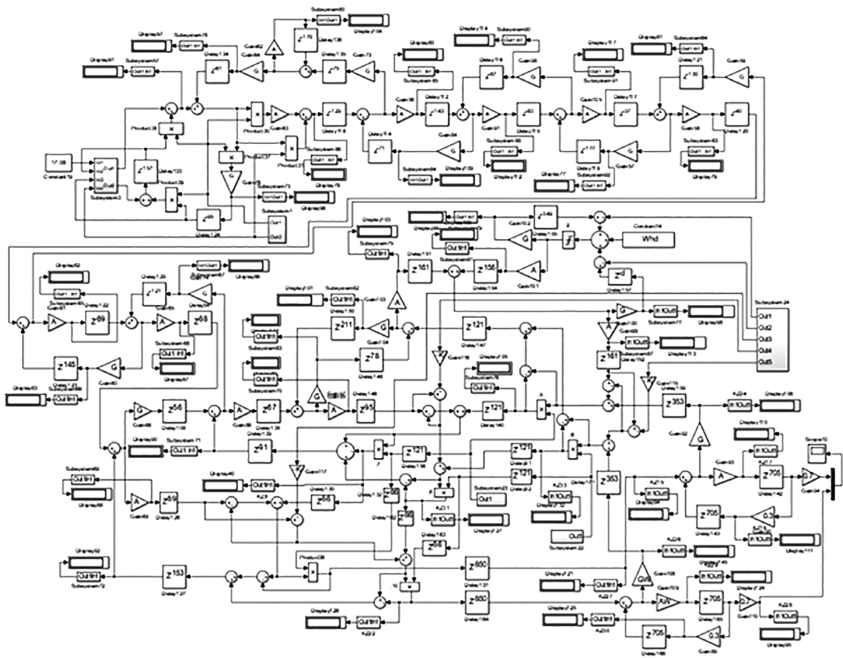


Рис. 2. Симулятор фарбодрукарської системи





параметри вхідного завдання для отримання відбитків із площею заповнення їх елементами зображення 10 %, виходячи з умови, що товщина фарби на їх поверхні повинна становити 1 мкм. Аналогічно отримуємо параметри вхідного завдання для відбитків з площею зображення 50 % та

90 %. Почергово вводячи параметри вхідного завдання в симулятор, імітуємо процес отримання відбитків з друкарських форм з різними  $k_3$  без подачі зволожувального розчину та визначаємо товщини потоків фарби на поверхні елементів ФДС. Отримані дані подано в таблиці (стовпці 3–5).

Товщини мікропотоків фарби і зволожувального розчину

Позиції елементів ФДС	$h_i, l_i$ (мкм)	Товщини потоків фарби у ФДС			Товщини потоків фарби у ФДС із зволоженням			Товщини потоків розчину у ФДС		
		Коефіцієнти заповнення форми друкувальними елементами								
		0,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,9
		Вхідне завдання $h_d$ (мкм)			Вхідне завдання $h_d$ (мкм)			Вхідне завдання $Wh_d$ (мкм)		
		17,08	73,81	130,64	17,08	73,81	130,64	6,97	6,57	6,60
ПВ	$h_n$	3,864	9,496	15,158	4,558	10,175	15,837	0,283	0,410	0,656
	$l_n$	3,319	6,766	10,242	4,050	7,482	10,958	0,298	0,432	0,674
1	$h_1$	3,043	5,038	7,066	3,820	5,804	7,834	0,320	0,459	0,740
	$l_1$	2,97	4,673	6,407	3,752	5,443	7,180	0,322	0,462	0,745
A	$h_A$	2,97	4,673	6,407	3,752	5,443	7,180	0,322	0,462	0,745
2	$h_2$	2,97	4,763	6,407	3,752	5,443	7,180	0,322	0,462	0,745
	$l_2$	2,897	4,307	5,749	3,684	5,082	6,526	0,324	0,465	0,749
3	$h_3$	2,897	4,307	5,749	3,684	5,082	6,526	0,324	0,465	0,749
	$l_3$	2,823	3,941	5,09	3,615	4,721	5,872	0,326	0,467	0,753
4	$h_4$	2,823	3,941	5,09	3,615	4,721	5,872	0,326	0,467	0,753
	$l_4$	2,75	3,576	4,432	3,547	4,360	5,218	0,328	0,470	0,757
5	$h_5$	2,75	3,576	4,432	3,547	4,360	5,218	0,328	0,470	0,757
	$l_5$	2,677	3,21	3,774	3,479	3,999	4,564	0,330	0,473	0,762
6	$h_6$	2,677	3,21	4,774	3,479	3,999	4,564	0,330	0,473	0,762
	$l_6$	2,604	2,845	3,115	3,410	3,638	3,910	0,332	0,476	0,766
7	$h_7$	2,604	2,845	3,115	3,410	3,638	3,910	0,332	0,474	0,766
	$l_7$	2,59	2,726	2,838	3,342	3,287	3,256	0,334	0,478	0,770
8	$h_8$	2,59	2,726	2,838	3,401	3,517	3,587	0,332	0,474	0,764
	$l_8$	2,576	2,607	2,561	3,392	3,396	3,265	0,333	0,473	0,762
9	$h_9$	2,493	2,334	2,225	3,311	3,159	3,133	0,343	0,495	0,782
	$l_9$	2,472	2,232	2,076	2,689	3,037	2,924	0,336	0,483	0,776
10	$h_{10}$	2,493	2,334	2,25	3,311	3,159	3,133	0,343	0,495	0,782
	$l_{10}$	2,455	2,189	2,043	3,281	3,041	3,010	0,352	0,511	0,794
W1	$l_{WA}$	2,454	2,189	2,043	3,481	3,288	3,300	0,537	0,659	0,847



Закінчення табл.

Позиції елементів ФДС	$h_i, l_i$ (мкм)	Товщини потоків фарби у ФДС			Товщини потоків фарби у ФДС із зволоженням			Товщини потоків розчину у ФДС		
		Коефіцієнти заповнення форми друкувальними елементами								
		0,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,9
		Вхідне завдання $h_d$ (мкм)			Вхідне завдання $h_d$ (мкм)			Вхідне завдання $Wh_d$ (мкм)		
		17,08	73,81	130,64	17,08	73,81	130,64	6,97	6,57	6,60
W2	$h_{1W}$	2,454	2,189	2,043	3,484	3,288	3,300	0,537	0,585	0,847
	$l_{1W}$	2,455	2,189	2,043	3,382	3,164	3,155	0,445	0,659	0,821
W3	$h_{2W}$	2,455	2,189	2,043	3,382	3,164	3,155	0,445	0,585	0,821
	$l_{2W}$	2,455	2,189	2,043	3,281	3,041	3,010	0,352	0,511	0,794
Ф	$h_{\phi 1}$ $wh_{\phi 1}$	1,952	1,826	1,744	2,344 0,310	2,193 0,362	2,094 0,445	0,324	0,436	0,631
	$h_{\phi 2}$ $wh_{\phi 2}$	2,239	2,104	2,009	2,689 0,316	2,536 0,362	2,413 0,442	0,336	0,470	0,712
	$h_{\phi 3}$ $wh_{\phi 3}$	2,429	2,429	2,431	2,916 0,304	2,917 0,303	2,918 0,303	0,334	0,474	0,741
	$l_{\phi}$ $wl_{\phi}$	1,429	1,429	1,43	1,715 0,179	1,716 0,178	1,717 0,178	0,197	0,279	0,43
ОФ	$h_{оф}$ $wh_{оф}$	1,429	1,429	1,43	1,715 0,179	1,716 0,178	1,717 0,178	0,197	0,279	0,436
	$l_{оф}$ $wl_{оф}$	0,429	0,429	0,429	0,515 0,054	0,515 0,053	0,515 0,054	0,059	0,084	0,131
M	$h_c$ $wh_c$	1	1	1,001	1,201 0,125	1,201 0,125	1,202 0,125	0,138	0,195	0,305

Для дослідження впливу зволоження на процес фарбопередачі під час моделювання регулюємо величину подачі розчину таким чином, щоб на поверхні пробільної ділянки форми товщина розчину становила 0,3 мкм, виходячи з умови, що фарба поглинає 20 % розчину.

Задаємо параметри вхідного завдання фарби, зволожувального розчину і параметри форми та здійснюємо імітаційне моделювання процесу тиражування відбитків з різними  $k_3$  до виходу ФДС на усталений режим. Отримані товщини шарів емульгованої фарби на поверхні елементів розкочувально-накочувальної

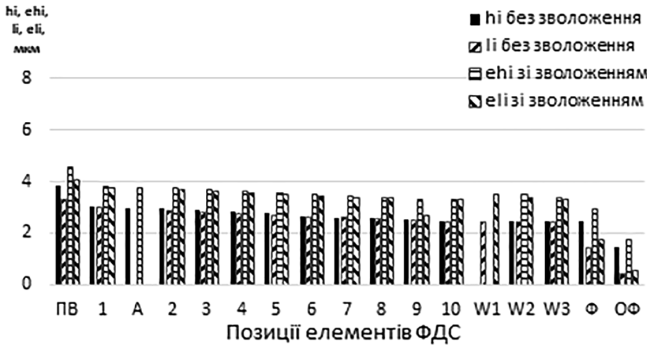
групи та фарби і розчину на поверхні формного, офсетного циліндрів та відбитків заносимо в таблицю (стовпці 6–8). Після цього віртуально припиняємо подачу фарби і проводимо симулювання роботи ФДС, задаючи попередньо визначені параметри подачі розчину для різних варіантів заповнення форми друкувальними елементами. Отримані значення товщин зволожувального розчину на поверхнях валиків і циліндрів теж заносимо в табл. (стовпці 9–11).

Для зручності аналізу за даними табл. (стовпці 3–5) побудовано діаграми розподілу потоків друкарської фарби у ФДС (рис. 3).

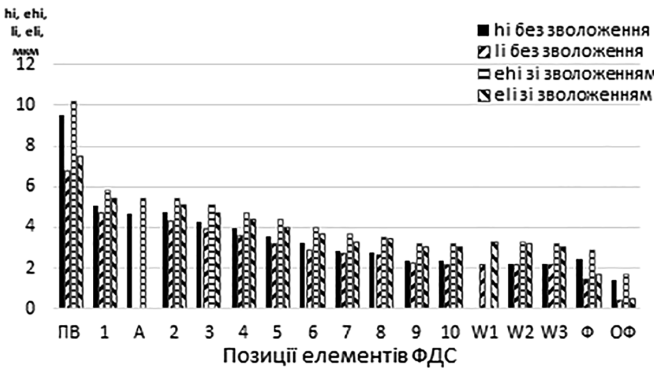


Як видно з діаграм, більша кількість фарби акумулюється на валіках, наближених до входу системи, і ця тенденція зростає зі

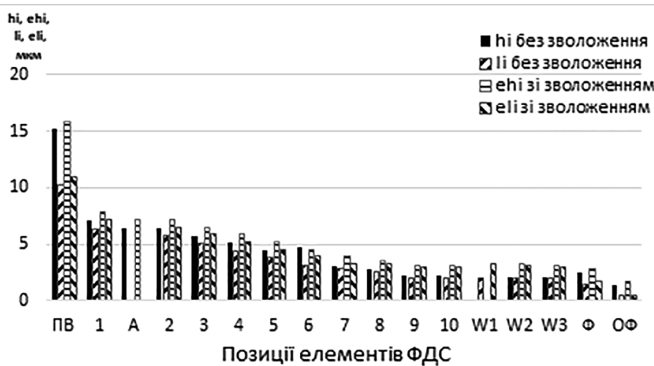
збільшенням площі заповнення друкувальними елементами. Під час отримання відбитків, коли форма мала  $k_3 = 0,1$ , товщина фарби



а



б



в

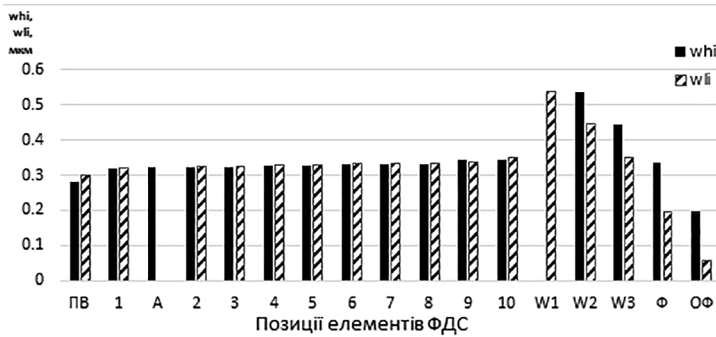
Рис. 3. Діаграми розподілу товщин прямих ( $h_i, e_{hi}$ ) і зворотних ( $l_i, e_{li}$ ) мікропотоків фарби у ФДС: а —  $k_3 = 0,1$ ; б —  $k_3 = 0,5$ ; в —  $k_3 = 0,9$



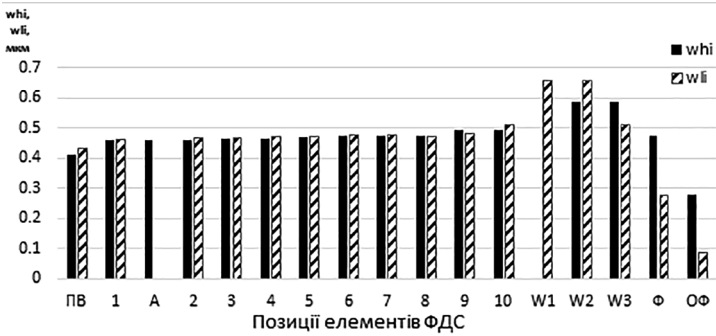
на розкочувальному циліндрі 1 становить 3,043 мкм, а на накочувальному валику 8, що останній контактує з формою, товщина фарби є меншою лише на 15%. Під час тиражування відбитків з

$k_3 = 0,9$  товщина фарби на циліндрі 1 зростає до 7,066 мкм, а на валику 8 становить 3,401 мкм, тобто у 2,1 рази є меншою.

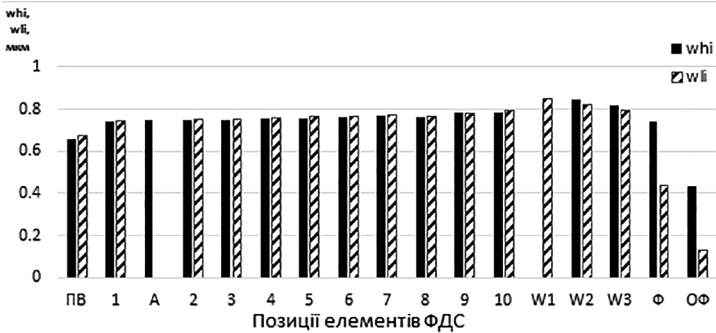
Після виходу ФДС на робочий режим за одночасної подачі



а

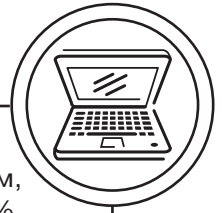


б



в

Рис. 4. Діаграми розподілу товщин мікропотоків розчину у ФДС: а —  $k_3 = 0,1$ ; б —  $k_3 = 0,5$ ; в —  $k_3 = 0,9$



фарби і зволожувального розчину товщина шару емульгованої фарби на поверхні циліндра 1 під час друкування відбитків з  $k_3 = 0,1$  зростає на 28 %, а під час отримання відбитків з  $k_3 = 0,9$  — лише на 11 %. Товщина потоку фарби на поверхні накочувального валика 8 порівняно з варіантом без подачі розчину під час отримання відбитків з  $k_3 = 0,1$  та  $k_3 = 0,9$  збільшується, відповідно, на 30,8 та 27 %. Отже, як бачимо, площа заповнення форми впливає на характер емульгування розчину у фарбі та її розподіл. Водночас товщина емульгованої фарби на відбитках в обох варіантах зростає на 20 %. Розподіл товщин зволожувального розчину на поверхні валиків і циліндрів, отриманий внаслідок симулювання роботи ФДС без подачі фарби, представлено на рис. 4.

Аналізуючи діаграми (рис. 4), можна зробити висновок, що зі збільшенням площі плашки, а відповідно, зменшення пробільної частини форми, товщина зволожувального розчину на поверхні валиків і циліндрів зростає. Так, під час отримання відбитків з форми з  $k_3 = 0,5$  товщина розчину на поверхні циліндра 1 та накочувального валика 8 порівняно з варіантом, коли друкувалися відбитки з  $k_3 = 0,1$ , збільшилася на 43 %. І практично таке ж зростання товщини зволожувального розчину спостерігається на поверхнях всіх елементів ФДС та відбитках. Якщо порівняти розподіл товщин розчину, представлений на діаграмах рис. 4, б та рис. 4, в, то бачимо, що під час отримання відбитків з  $k_3 = 0,9$  товщини розчину на поверхні валиків і циліндрів фарбової та зволожувальної під-

систем порівняно з випадком, коли  $k_3 = 0,5$ , зростають на 61 %, а на формі, офсетному циліндрі та відбитках — на 56 %. Проте, коли симулювався процес друкування відбитків з різними  $k_3$  із одночасною подачею фарби і зволожувального розчину, ми отримали однакові товщини розчину на поверхні пробільної частини форми офсетного циліндра та відбитках. Така різниця пояснюється тим, що зі збільшенням площі плашки зростає кількість фарби, що циркулює у ФДС, а тому більше розчину емульгує у фарбу.

Виходом ФДС на робочий режим зміна товщин емульгованої фарби і розчину, що передаються на поверхню відбитків, мають різний характер (рис. 5).

Товщина фарби на поверхні відбитків зростає, а зволожувального розчину — зменшується. Це пояснюється тим, що під час перехідного процесу розчин емульгує у фарбі протягом 115 циклів ( $N_{ц}$ ) роботи ФДС, і після його завершення встановлюється певний баланс «фарба–розчин». Такий самий характер зміни товщин фарби і розчину отримуємо на поверхні відбитків з  $k_3 = 0,5$  та  $k_3 = 0,1$ , тільки тривалість виходу на робочий режим із зменшення  $k_3$  форми зростає так, що при  $k_3 = 0,1$  тривалість перехідного процесу становить 658 обертів формно-го циліндра.

### Висновки

Внаслідок проведеного аналізу наукових праць, пов'язаних з дослідженням фарбодрукарських систем офсетних машин, виявлено, що недостатньо уваги приділяється розробленню сучасних

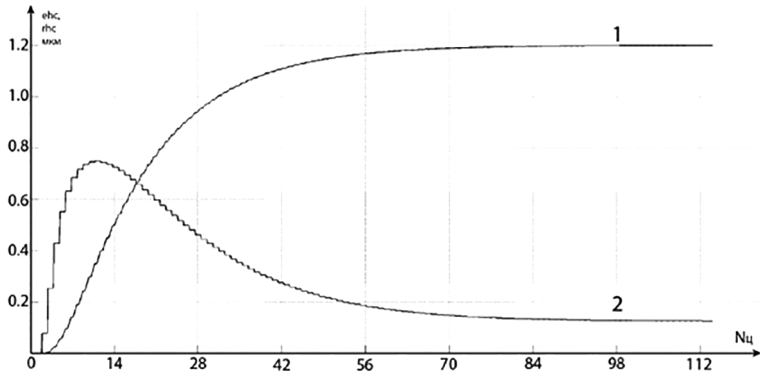


Рис. 5. Графіки товщин фарби та розчину та поверхні відбитків із  $k_3 = 0,9$ :  
1 — товщина емульгованої фарби ( $e_{h_3}$ ); 2 — товщина розчину ( $rh_3$ )

інформаційних технологій дослідження впливу зволожувального розчину на процес фарбопередачі.

В роботі запропоновано математичний опис руху фарби і розчину від джерел їх живлення до відбитків з врахуванням взаємодії цих двох рідин в зонах контакту з формою. Математична модель враховує режими роботи всіх компонентів ФДС та ступінь емульгування розчину у фарбі.

На основі математичної моделі в програмному пакеті Matlab Simulink побудовано симулятор, який дає можливість імітувати процес офсетного друку.

Встановлено, що із збільшенням площі заповнення форми друкувальними елементами спостерігається зростання товщини фарби, яка накопичується на поверхні валиків, наближених до входу фарбової підсистеми.

Виявлено, що в процесі друкування відбитків фарба передається у зволожувальну підсистему, і товщини фарби на поверхні її валиків зростають, із зменшенням площі зображення на формі.

Під час виходу ФДС на робочий режим товщина фарби на поверхні відбитків зростає, а зволожувального розчину зменшується до заданих технологічно необхідних величин. Це пояснюється тим, що у процесі встановлення балансу «фарба–розчин» зростає кількість розчину, який емульгує у фарбу, що необхідно враховувати при налагодженні зволожувальної підсистеми.

Запропонований в роботі підхід можна застосувати для побудови відповідних математичних моделей та дослідження фарбодрукарських систем більш складних структур.

#### Список використаної літератури

1. Aliyev E. A. Modeling of the inking apparatus of the sheet printing machine / E. A. Aliyev // Journal Européen des Systèmes Automatisés. 2019. № 52. С. 551–557.
2. Aliyev E. A. Discrete model of the inking apparatus of offset printing machine / E. A. Aliyev, M. H. Khanbabaeva // Print Media Technol. 2023. № 12. С. 167–175.





3. Верхола М. І. Теоретико-методологічні основи розроблення інформаційних технологій для аналізу і налагодження фарбодрукарських систем / М. І. Верхола. Львів: Українська академія друкарства, 2017. 54 с.
4. Verkhola M. I. Modeling and Analysis of Ink Distribution in the Ink Printing System of the Sequential-Parallel Structure / M. I. Verkhola, U. P. Panovuk, I. B. Huk // *econtechmod. An international quarterly journal*. 2019. № 8. С. 45–50.
5. M. Verkhola. Modeling and analysis of the ink splitting factors influence on ink filling in offset printing / M. Verkhola, U. Panovyk, M. Kalytka, M. Babych // *Journal of Print and Media Technology Research*. 2021. № 10. С. 215–229.
6. Зволоження в офсетному друці / Т. Розум, О. Зоренко, О. Мельников, О. Величко: Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2016. 173 с.
7. Influence of fountain solution conductivity on print quality in offset printing / S. Kumar, V. Jangra, R. Kumar, N. Singh // *International Journal of Mechanical Engineering*. 2020. № 7.
8. Гавенко С. Ф. Дослідження впливу типу зволожувальних систем в офсетному друці на якість відбитків / С. Ф. Гавенко, В. В. Бернацек, М. Т. Лабецька // *Технологія і техніка друкарства*. 2021. № 2(72). С. 20–28. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(72\).2021.241544](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(72).2021.241544).
9. Mrs. M. Colour gamut comparison of dampening systems: conventional vs alcolor / M. Mrs., D. S. // *Journal of Engineering Research and Studies*. JERS. 2011. № 2. С. 78–80.
10. Holle E. Control of ink-water balance in offset lithography by machine learning / E. Holle, F. Knödl, M. Mayer // *Advances in Printing and Media Technology*. 2023. № 49. С. 8–16.
11. Regularities of ink-water balance stability in offset printing / O. Blagodir, K. Zolotukhina, O. Velychko, B. Kushlyk // *Computer Sciences and Mathematics*. 2016. № 3. С. 31–37.

### References

1. Aliyev, E. A. (2019). Modeling of the inking apparatus of the sheet printing machine. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 52, 551–557 [in English].
2. Aliyev, E. A., & Khanbabaeva, M. H. (2023). Discrete model of the inking apparatus of offset printing machine. *Print Media Technol.*, 12, 167–175 [in English].
3. Verkhola, M. I. (2017). *Teoretyko-metodolohichni osnovy rozroblennia informatsiinykh tekhnolohii dlia analizu i nalahodzhennia farbodrukarskykh system [Theoretical and methodological foundations of information technology development for the analysis and adjustment of inkjet printing systems]*. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 54 p. [in Ukrainian].
4. Verkhola, M. I., Panovuk, U. P., & Huk, I. B. (2019). Modeling and Analysis of Ink Distribution in the Ink Printing System of the Sequential-Parallel Structure. *econtechmod. An international quarterly journal*, 8, С. 45–50 [in English].
5. Verkhola, M., Panovyk, U., Kalytka, M., & Babych, M. (2021). Modeling and analysis of the ink splitting factors influence on ink filling in offset printing. *Journal of Print and Media Technology Research*, 10, 215–229 [in English].
6. Rozum, T., Zorenko, O., Melnykov, O., & Velychko, O. (2016). *Zvolozhennia v ofsetnomu druksi [Humidification in offset printing]*. Kyiv: NTUU 'KPI', 173 p. [in Ukrainian].



7. Kumar, S.V., Jangra, R., & Kumar, N. (2020). Singh Influence of fountain solution conductivity on print quality in offset printing. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7 [in English].

8. Havenko, S. F., Bernatsek, V. V., & Labetska, M. T. (2021). Doslidzhennia vplyvu typu zvolozhuvalnykh system v ofsetnomu drutsi na yakist vidbytkiv [Study of the influence of the type of humidification systems in offset printing on the quality of prints]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, (2(72), 20–28. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(72\).2021.241544](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(72).2021.241544) [in Ukrainian].

9. Mrs., M., & D. S. (2011). Colour gamut comparison of dampening systems: conventional vs alcolor. *Journal of Engineering Research and Studies. JERS*, 2, 78–80 [in English].

10. Holle, E., Knödl, F. & Mayer, M. (2023). Control of ink-water balance in offset lithography by machine learning. *Advances in Printing and Media Technology*, 49, 8–16 [in English].

11. Blagodir, O., Zolotukhina, K., Velychko, O., & Kushlyk, B. (2016). Regularities of ink-water balance stability in offset printing. *Computer Sciences and Mathematics*, 3, 31–37 [in English].

**The study of the process of interaction between ink and wetting solution in the inkjet printing system was carried out using computer technology. To implement this technology, a mathematical model was developed, that describes the process of ink transfer and movement from the ink feeder to the rollers, the transfer of the solution from the humidifier to the plate, the interaction of ink and solution in the areas of contact between the rollers and the printing plate, the rolling of ink onto the printing elements and the solution onto the white space and their transfer by the surface of the offset cylinder to the prints and vice versa.**

**Keywords: offset printing; mathematical model; simulator; inkjet printing system; wetting solution; ink emulsion; printing imprints.**

Надійшла до редакції 25.02.24