

УДК 655.027

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ДЕСЯТИПОЛЬНОЇ ШКАЛИ ФАРБОЮ У ФЛЕКСОГРАФІЧНІЙ ДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЧЕТВЕРТОЇ РОЗМІРНОСТІ

М. М. Луцків, О. С. Сідікі

*Українська академія друкарства,
вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна*

Розроблено математичну модель покриття растрової десятипольної шкали фарбою у флексографічній друкарській системі паралельної структури, подані результати імітаційного моделювання.

Ключові слова: *флексографія, тонопередача, растрові поля, товщина фарби, моделювання, граф, система, смість анілокса.*

Вступ. Флексографія-найбільш динамічний спосіб друку який широко розповсюджений, в першу чергу в пакувальному виробництві. За останні 15 років фотополіморні форми, анілоксові вали, якісні фарби, забезпечили значний розвиток флексографічного друку. Застосування флексографії для друкування журналів показало їх конкурентоздатність з рулонним і аркушевим способом друку[5,6,7]. Однак, її використання для друкування якісної книжкової і журнальної продукції можливе тільки за умови підвищення рівномірності покриття растрового зображення на усій поверхні відбитка. Оскільки фарбоживильні пристрої флексографічних машин не мають механізмів налагодження подачі фарби на заданий наклад, тому вони не повною мірою забезпечують сталу товщину фарби на поверхні растрового відбитка, що обмежує їх застосування[5,6,7,8]. Розв'язання даної проблеми можна здійснити двома основними методами: експериментальним і теоретичним. Експериментальний шлях виготовлення різноманітних фарбодрукарських апаратів різної конструкції і дослідження якості відбитків є складним і дорогим. Окрім цього необхідні апаратні засоби для вимірювання товщини шару фарби на растровому відбитку і на фарбових валиках, які обертаються. Тому для вирішення поставленої задачі застосували метод математичного моделювання й комп'ютерного симулювання, які є значно дешевшими ніж еспериментальні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. За структурою і конструкцією флексографічні друкарські системи значною мірою відрізняються від традиційних офсетних машин із фарбоживильним пристроєм редукторного типу, що обумовлює їх статичні і динамічні властивості та передачу фарбового зображення з форми на задруковуваний матеріал. Зокрема флексографічні друкарські системи є значно простіші за офсетні, а фарбоживильний пристрій побудований на основі растрового циліндра. При передачі фарбового зображення з друкарської форми на задруковуваний матеріал відбуваються складні процеси, обумовлені циркулююцією прямих і зворотніх потоків фарби від фарбоживильного пристрою до задрукованого матеріалу і в зворотньому напрямку. Значний вплив на рівномірність покриття растрового від-

битка має інтервал тонопередачі. Отож, основним впливом у фарбодрукарській системі є друкарська форма, а саме її сюжет який залежить від накладу[5,6].

Математичні моделі офсетних фарбодрукарських систем є відомі і описують передачу промодульованих растровою друкарською формою фарбових зображень з форми на проміжний офсетний циліндр, а з нього на задруковуваний матеріал [1,2]. Однак флексографічні друкарські системи не мають офсетного циліндра, а тому відбувається безпосередня передача фарбового зображення із еластичної друкарської форми на задруковуваний матеріал. Тому існуючі моделі офсетних фарбодрукарських систем безпосередньо неможливо застосувати для флексографічних друкарських систем.

У статтях [3,4] опрацьовано математичну модель флексографічної друкарської системи з паралельною подачею фарби і на її основі побудовано характеристики покриття растрового зображень фарбою на відбитку. На основі результатів моделювання встановлено, що статична точність системи за товщиною фарби залежить від інтервалу тонопередачі і може знаходитись у межах $\pm 15\%$ і не повною мірою задовольняє технічні вимоги до якісного флексографічного друку. Звідси випливає мета задачі дослідження–розроблення математичної моделі покриття десятипольної шкали для флексографічної друкарської системи паралельної структури для заданих інтервалів тонопередачі, яка розв'язується шляхом комп'ютерного симулювання.

Побудова математичної моделі. У сучасних флексографічних друкарських системах використовуються еластичні та тверді фотополімерні друкарські форми. Залежно від типу друкарської форми конструкція і розміщення фарбових валиків і циліндрів відбувається за принципом твердий-м'який-твердий та твердий-м'який-твердий-м'який. В останній час появилися фарбові апарати побудовані за принципом твердий-м'який. У цьому випадку фарба подається на еластичну друкарську форму безпосередньо із анілоксового валика[5,6]. Для зручності проведення дослідження не акцентувалось уваги на твердості чи еластичності друкарської форми і вважаємо, що флексографічна друкарська система складається із фарбоживильного пристрою із анілоксовим валиком, декількох фарбових валиків, формного і друкарського циліндрів. Тому для дослідження за основу візьмемо флексографічну друкарську систему паралельної структури четвертої розмірності, яка має три фарбові валики що забезпечують більш рівномірну товщину потоку фарби на формі (рис.1).

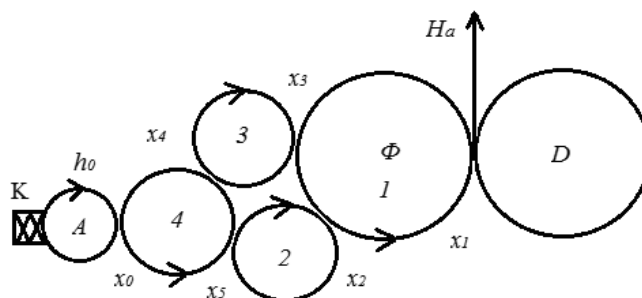


Рис. 1. Схема флексографічної друкарської системи

Анілоксовий валик А обертається у замкнутій фарбовій камері К під тиском покривається шаром фарби. Надмір фарби згортається ракелем, а рівномірний дозований потік фарби подається на четвертий валик і послідовно розкочується і другим та третім накочувальними валиками накочується на растрову друкарську форму Ф, яка здійснює модуляцію фарбового потоку. Створене на формі растрове фарбове зображення передається на задруковуваний матеріал. Частина фарби, яка не сприйнялась прогалинними елементами форми залишається на поверхні накочувальних валиків, створює зворотній потік фарби. Тому у флексографічній друкарській системі паралельної структури є більш інтенсивна циркуляція фарби ніж у послідовній, що забезпечує більш рівномірне покриття растрових відбитків фарбою.

Зазвичай для розробки математичної моделі фарбодрукарських систем застосовують систему рівнянь балансу неперервних та модульованих фарбових потоків. Для спрощення розв'язку поставленої задачі від моделі балансу потоків до моделі товщини потоків виразивши модульовані потоки через товщини фарб. Отож приймаємо, що після модуляції растровою друкарською формою потоки виражені їх середнім значення, тоді фарбові потоки на растрових елементах відбитку повинні виражатися в амплітудних значеннях товщини, а усереднення промодульованих потоків відбувається у зворотніх потоках фарби [1,2].

Для опрацювання статичної моделі флексографічної фарбодрукарської системи необхідної для побудови характеристики покриття десятипольної шкали фарбою приймаємо наступні припущення: на поверхні анілоксового валика створюється рівномірний дозований потік фарби, який описується середнім значення товщини, фарбодрукарська система є фільтром низьких частот, фарбові зображення є десятипольною растровою шкалою з однорідним і послідовно розміщеним на поверхні форми, існують стабільні умови друкарського процесу, відсутнє розтискування растрових точок.

На основі викладеного з врахуванням прийнятих припущень відповідно до схеми рис.1 складено систему рівнянь балансу середніх значень товщин фарби для усіх точок контакту фарбових валиків і друкарської форми

$$\begin{aligned}
 x_0 &= h_0 + \alpha_4 + x_4 \\
 l_0 &= \gamma_0 x_0 \\
 x_5 &= \alpha_5 x_0 + \gamma_2(s) x_2 \\
 x_4 &= \alpha_5 x_5 + \gamma_3(s) x_3 \\
 x_3 &= \alpha_3 x_4 + \gamma_1 x_1 \\
 x_2 &= \alpha_2 x_5 + \alpha_6(s) x_3 \\
 x_1 &= \alpha_1(s) x_2 \\
 H_a &= \beta(s) x_1,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де x_i – середні значення товщин потоків фарби у точках контакту фарбових валиків і форми, h_0, l_0 – товщина потоку фарби яка подається на вхід систе-

ми і повертається назад у фарбову камеру на амплітудне значення товщини фарби на расторовому відбитку, a_i, γ_i – коефіцієнти передачі прямих і зворотніх потоків фарби при виході із точок контакту валиків і форми, $a_i(s), \gamma_i(s), \beta_i(s)$ – коефіцієнти передачі прямих і зворотніх потоків фарби після їх модуляції растровою друкарською формою, s – ступінь покриття форми растровими друкувальними елементами.

Розв'язок системи рівнянь традиційним методом складання алгоритму і програми є трудомістким. Тому для спрощення задачі застосовуємо методи комп'ютерного моделювання. Для цього спочатку здійснено опис фарбодрукарської системи за допомогою графа[2]. За схемою рис.1 і системою рівнянь побудовано граф фарбодрукарської системи поданий на рис.2

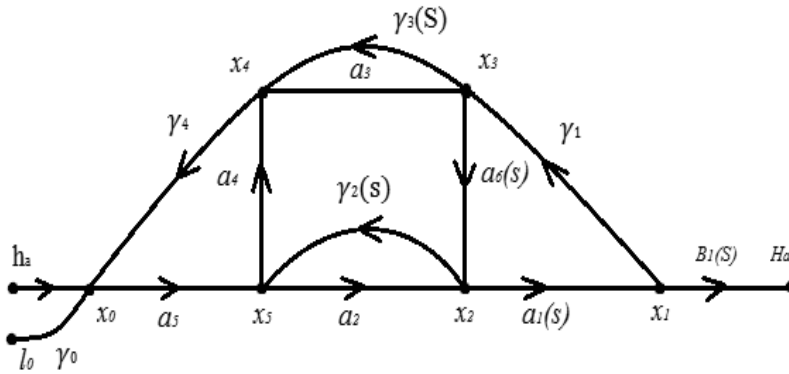


Рис.2. Граф фарбодрукарської системи

Вершини графа відповідають товщинам потоків фарби у зонах контакту валиків і формного циліндра, дуги–коефіцієнтам передачі. Стрілки показують напрям прямих і зворотніх потоків у системі. За графом на основі формули Мезона визначимо залежність товщини фарби на задрукованому матеріалі від товщини потоку поданого на вхід системи.

$$H_a = \frac{\alpha_5 \alpha_2 \alpha_1(s) \beta(s) [1 - \alpha_3 \gamma_3(s)] + \alpha_5 \alpha_4 \alpha_3 \alpha_6(s) \alpha_1(s) \beta(s)}{\Delta} h_0. \tag{2}$$

Визначник Δ характеризує контурну частину графа і визначається безпосередньо із графа.

$$\Delta = 1 - \alpha_4 \gamma_4 \alpha_5 - \alpha_2 \gamma_2(s) - \alpha_3 \gamma_3(s) - \alpha_1(s) \gamma_1 \alpha_6(s) - \alpha_3 \alpha_4 \alpha_6(s) \gamma_2(s) - \alpha_5 \alpha_2 \alpha_1 \gamma_1 \gamma_3(s) \gamma_4 + \alpha_4 \gamma_4 \alpha_5 \alpha_1(s) \gamma_1(s) \alpha_6(s) + \alpha_2 \gamma_2(s) \alpha_3 \gamma_3(s). \tag{3}$$

Для побудови характеристики покриття фарбодрукарської системи припускаємо, що друкарська форма є неперервною лінійною растровою шкалою, а ступінь її покриття змінюється в межах $[0 \leq s \leq 1]$. Тоді коефіцієнти передачі прямих і зворотніх потоків після модуляції растровою друкарською формою визначається виразом

$$\begin{aligned} \alpha_i(s) &= \alpha_i M s \\ \gamma_i(s) &= 1 - \gamma_i M s \\ \beta(s) &= \beta / s, \end{aligned} \tag{4}$$

де M –коефіцієнт масштабу в якому будується характеристика.

Для визначення і побудови десятипольної растрової шкали застосуємо дискретні(решітчасті) функції, які одержуємо із виразу(2)

$$H_n = H_{a_i}, i = 0, 10, 20, \dots, 100\% . \quad (5)$$

Розрахунок і побудова покриття десятипольної шкали фарбою застосуємо об'єктно-орієнтоване програмування у програмному пакеті Matlab Simulink. Відповідно до парадигми моделювання безпосередньо за графом за допомогою графічного редактора розроблена структурна схема імітаційної моделі фарбодрукарської системи, яка складена із операційних блоків бібліотеки Simulink, яка подана на рис.3

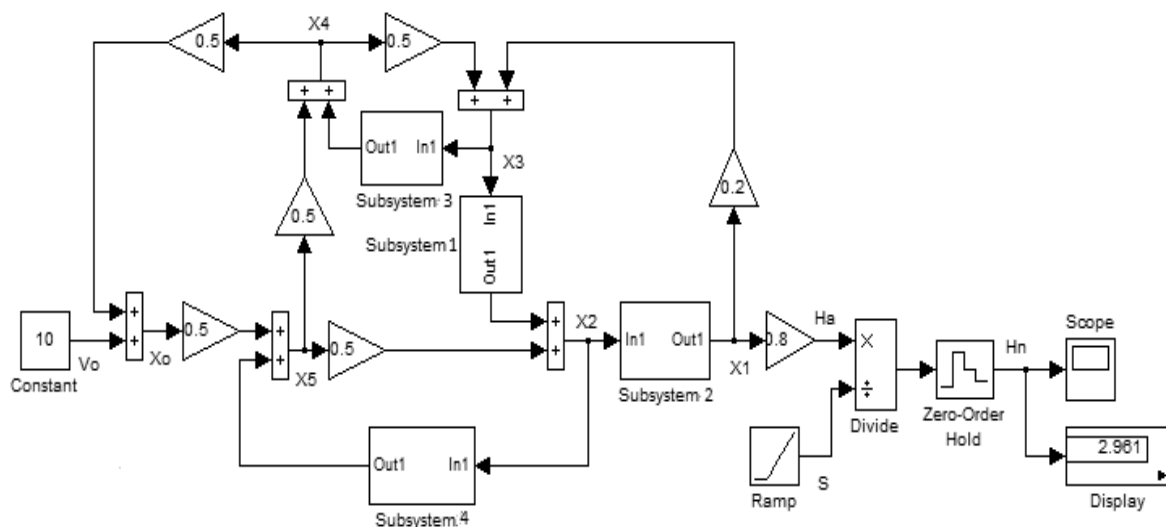


Рис.3 Структурна схема моделі флексографічної друкарської системи у *Simulink*

Вершинам графа відповідають блоки сумування Sum. На їх виходах додаються(накладаються) прямі і зворотні фарбові потоки, а на виход розчеплюються. Дугам графа відповідають блоки підсилення Gain у яких задано коефіцієнти передачі прямих і зворотніх потоків фарби. За допомогою блока Constant задають товщину фарбового потоку, який подається на вхід моделі. Визначення амплітудного значення товщини фарби на растровому відбитку здійснюється блоком ділення Divide. Для виокремлення і побудови десятипольних шкал застосовано блок Zero-Order Hold. Візуалізацію результатів моделювання здійснюють блоком Scope і Display на якому висвічуються числові дані розрахунків.

Результати імітаційного моделювання. Метою імітаційного моделювання було визначення, побудова і аналіз товщин покриття десятипольної шкали фарбою для різної ємності анілоксового валика.

При моделюванні задавали номінальні параметри моделі; коефіцієнти передачі фарби $a_i = \gamma_i = 0,5$; коефіцієнт передачі фарби із формного циліндра на задруковуваний матеріал $\beta=0,8$. На вхід моделі фарбодрукарської системи подавали товщину фарби 10мкм. Налаштовували блок Zero-Order Hold на період 10, що відповідає десятипольній растровій шкалі.

Результати імітаційного моделювання у вигляді графіків товщин покриття десятипольної шкали фарбою подані на рис 4.

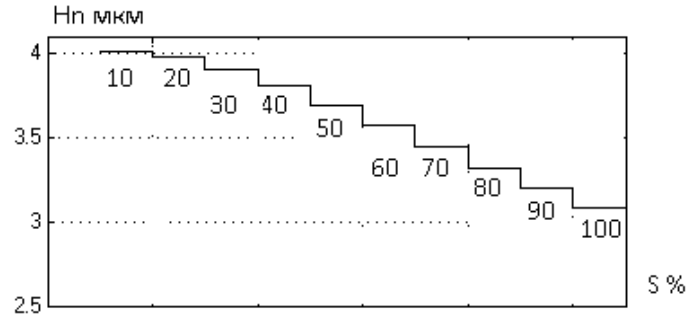


Рис.4. Графік покриття десятипольної шкали фарбою для номінальних параметрів моделі

Як це видно із рисунка на шкалі із десятипроцентним покриттям товщина фарби становить 4,0 мкм, на 20% полі – 3,974 мкм поступово ступенево спадає і на полі із 100% покриттям становить 3,077 мкм. На світлих полях шкали товщина фарби значно більша ніж на темних. Тому світлі поля будуть притемнені. Натомість темні поля будуть більш світлими. Отже, флексографічна фарбодрукарська система паралельної структури четвертої розмірності не забезпечує необхідної рівномірності покриття растрового зображення на усьому інтервалі тонопередачі для якісної продукції.

Флексографія застосовується для друкування на різних матеріалах папір, пергамент, плівки і т.ін. та різними фарбами. Щоб забезпечити потрібну товщину фарби на відбитках фірми випускають анілоксові вали різної ємності. Наприклад, для друкування штрихів і плашок застосовують анілоксові растрові валики ємністю 12÷14 куб. см./ кв.м. для друкування тексту 6÷9 куб. см./ кв.м., а для друкування растрових зображень ємністю від 3÷5 куб. см./ кв.м. Якщо ємність анілоксового валика подана в куб. см./ кв.м. площі, то вважають що на 1 куб. см./ кв.м. дає шар фарби примірно 1 мкм [7,8].

Результати наступної серії комп'ютерного моделювання у вигляді сімейства графіків товщини покриття десятипольної шкали фарбою для ємності анілоксового валика 15,12,10,8 куб. см./ кв.м. подані на рис. 5

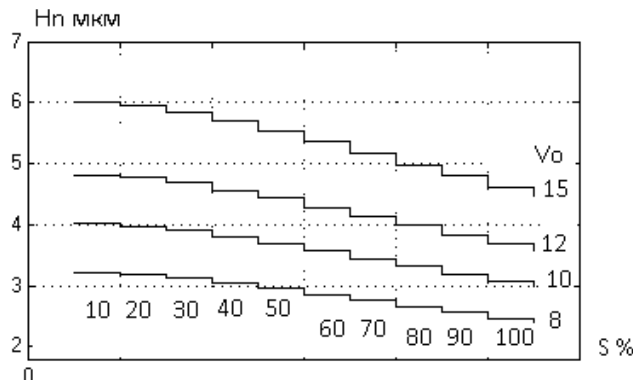


Рис. 5 Сімейство графіків покриття десятипольної шкали фарбою для різної ємності анілоксового валика

Графіки покриття шкал фарбою є спадаючими, ступеневими. Верхній графік відповідає ємності $V_0 = 15$ куб./кв.м.. Із зменшенням ємності графіки зміщуються вниз. При цьому величина ступеню поступово зменшується. Більш повні результати дослідження подані у таблиці.

Таблиця 1

Товщина і похибка покриття растрових полів фарбою для різної ємності анілоксового вала

Ємність куб. см./ кв.м.	Товщина мкм. Похибка %	Відносна площа поля растрової шкали, S %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
15	Н	6,01	5,96	5,8	5,70	5,5	5,36	5,17	4,982	4,79	4,615
	δ %	8,63	7,62	5,6	3,04	0,0	-3,2	-6,6	-10,05	-13,4	-16,62
12	Н	4,81	4,76	4,6	4,56	4,4	4,28	4,13	3,985	3,83	3,692
	δ %	8,62	7,61	5,6	3,02	0,0	-3,2	-6,6	-10,06	-13,4	-16,67
10	Н	4,01	3,97	3,9	3,80	3,6	3,57	3,44	4,321	3,19	3,077
	δ %	8,63	7,62	5,6	3,04	0,0	-3,2	-6,6	-10,05	-13,4	-16,6
8	Н	3,20	3,17	3,2	3,04	2,9	2,85	2,57	2,657	2,55	2,462
	δ %	8,62	7,61	5,6	3,02	0,0	-3,2	-6,6	-10,06	-13,4	-16,67

Найбільше значення товщини фарби є на першому полі шкали ($S=10\%$) і складає 6,016 мкм. На наступних полях товщина фарби поступово зменшується і на останньому полі ($S=100\%$) становить 4,615. При зменшенні ємності анілоксового валика товщина фарби на полях шкали зменшується і при ємності 8 куб. см./ кв.м. знаходиться в межах 3,209-2,462 мкм. Отже, двократно зменшення ємності анілоксового валика приводить до зменшення товщини фарби на полях удвічі.

Похибка покриття полів шкали приведена до величини товщини фарби на полі із 50% покриттям. Відносна похибка не залежить від ємності анілоксового вала. Найбільша похибка є на десятипроцентному полі і становить +8,639 %, поступово зменшується і на полі із п'ятдесяти процентним покриття дорівнює нулеві. Змінює знак поступово зменшується і прямує до -16,62%. Отже флексографічна друкарська система паралельної структури четвертої розмірності не в повній мірі забезпечує технічні вимоги до точності покриття растрових відбитків фарбою на світлих і темних інтервалах тонопередачі для якісної продукції.

Висновки. Розроблено математичну модель покриття десятипольної шкали фарбою у флексографічній друкарській системі паралельної структури четвертої розмірності яка описує залежність товщини фарби на десятипольній растровій шкалі від ємності анілоксового валика.

Опрацьовано імітаційну модель фарбодрукарської системи у Simulink за якою можна обчислювати і будувати графіки покриття десятипольної шкали фарбою для різної ємності анілоксового валика і визначати точність покриття.

На основі результатів комп'ютерного моделювання встановлено що похибка покриття полів шкали фарбою не залежить від ємності анілоксового валика і знаходиться в межах від +16,639% на світлих полях і до -16,62% у тінях і не

в повній мірі забезпечує технічні вимоги до точності покриття растрових полів на світлих ділянках і у тінях для якісної продукції.

Список використаних джерел

1. Верхола М.І. Основні засади та сутність розкочування фарби у фарбових системах / Верхола М.І., Луцків М.М. // Комп'ютерні технології друкарства – Львів, 2004. №12. – С.14-25.
2. Верхола М.І. Сигнальний граф процесу розкочування фарби / Верхола М.І., Луцків М.М. // Вісник ДУ “Львівська політехніка”. Львів 1988. Том2. – С. 348-353.
3. Луцків М. Побудова характеристик покриття растрових зображень фарбою у флексографічних друкарських системах з паралельною подачею / М. Луцків, С. Сичак // Комп'ютерні технології друкарства. - 2013. - №29. - С. 43-53.
4. Сичак С.В. Точносні характеристики флексографічних фарбо друкарських систем з паралельною структурою/Сичак С.В.//Комп'ютерні технології друкарства. // Зб. наук. праць-Львів.2013 №30 С.58-66.
5. Ярема С.М.Флексографія / Ярема С.М. – К.: Лебідь. 1998. – 310с.
6. Ярема С.М. Фарбові та зволожувальні апарати, ракелі та ланувальні пристрої друкарських машин. / Ярема С.М., Мамут Б.Г. // - К.: Ун-т “Україна”: ХК “Бліц-Інформ. 2003. - 191с.
7. Crichon H. Formy fleksodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa. OW Politechniki Warszawskiej. 2006. p.188.
- 8.W.Barabasz. Wahirastrawy: Podstawowe parametry wyboru/Barabasz W.Wydawca: Zrzeszenie Polskich Fleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p. 15.

References

1. Verkhola M.I. (2004). Osnovni zasady ta sutnist rozkochuvannia farby u farbovykh systemakh / Verkhola M.I., Lutskev M.M. // Kompiuterni tekhnolohii drukarstva – Lviv, №12. – p.14-25. (in Ukrainian)
2. Verkhola M.I. (1988). Syhnalnyi hraf protsesu rozkochuvannia farby / Verkhola M.I., Lutskev M.M. / Visnyk DU “Lvivska politekhnika”. Lviv Tom2. – p.348-353. (in Ukrainian)
3. Lutskev M. (2013). Pobudova kharakterystyk pokryttia rastrovyykh zobrazhen farboiu u fleksografichnykh drukarskykh systemakh z paralelnoiu podacheiu / M. Lutskev, S. Sychak // Komp'uterni tekhnolohii drukarstva. -- №29. - p. 43-53. (in Ukrainian)
4. Sychak S.V. (2013). Tochnosni kharakterystyky fleksografichnykh farbo drukarskykh system z paralelnoiu strukturoiu/Sychak S.V.//Komp'uterni tekhnolohii drukarstva. Zb. nauk. prats-Lviv. №30 p.58-66. (in Ukrainian)
5. Yarema S.M. (1998). Fleksografia / Yarema S.M. // – K.: Lebid.– p. 310. (in Ukrainian)
6. Yarema S.M. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalni aparaty, rakelii ta lanuvalni prystroi drukarskykh mashyn. / Yarema S.M., Mamut B.H. // - K.: Un-t “Ukraina”: KhK “Blits-Inform.– p. 191. (in Ukrainian)
7. Crichon H. (2006). Formy fleksodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa. OW Politechniki Warszawskiej. p.188. (in Polish)
8. W.Barabasz. Wahirastrawy:Podstawowe parametry wyboru/Barabasz W.Wydawca:Zrzeszenie Polskich Fleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p.15. (in Polish)

**MODELLING OF INK COVERAGE OF TEN-POINT SCALE
IN FLEXOGRAPHIC PRINTING SYSTEM OF PARALLEL STRUCTURE
OF THE FOURTH DIMENSION**

M. M. Lutskiv, O. S. Sidiki

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
sidikioleg@gmail.com*

The mathematical model of ink covering of raster ten-point scale in flexographic printing system of parallel structure has been developed, the results of the simulation modeling has been presented.

Keywords: *flexography, tone reproduction, raster area, thickness of ink, modeling, graph, system, capacity of anilox.*

Стаття надійшла до редакції 15.03.2016.

Received 15.03.2016.