

УДК 655.027

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКРИТТЯ ДЕСЯТИПОЛЬНОЇ ШКАЛИ ФАРБОЮ
ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИ**

О. С. Сідікі

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

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

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

Вступ. Сучасна флексографія-це динамічний і універсальний спосіб друку який широко розповсюджений, в першу чергу в пакувальному виробництві. Флексографічний друк — спосіб нанесення зображення на матеріал за допомогою гнучких гумових форм з використанням рідких швидковисихаючих фарб. Широко застосовується з метою створення рекламної продукції, а також в дизайні, оформленні приміщень, виготовленні етикеток і упаковок і т.п. Гнучка форма, яка передає малюнок, робить цей тип друку унікальним, поєднуючи в собі простоту і можливість високої тиражності. Одна форма розрахована на 1-5 млн. відбитків. Її еластичність виключає процес приправки, дає можливість друкувати на грубій або гнучкою фактурі, використовувати широкий спектр матеріалів.[9] Застосування флексографії для друкування журналів показало їх конкурентоздатність з рулонним і аркушевим способом друку[5,6,7]. Її використання для друкування книжкової і журнальної продукції можливе тільки за умови підвищення рівномірності покриття растрового зображення на усій поверхні відбитка. Так як 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'язати дану проблему можна двома основними методами: експериментальним і теоретичним. Експериментальний шлях виготовлення різних фарбодрукарських апаратів різної конструкції і дослідження якості відбитків є складним і дорогим. Окрім цього необхідні апаратні засоби для вимірювання товщини шару фарби на відбитку і на фарбових валиках, які обертаються. Тому для вирішення поставленої задачі застосували метод математичного моделювання й комп'ютерного симулювання, які є дешевшими ніж еспериментальні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Флексодрук відрізняється такими плюсами, що виділяють його серед інших способів передачі малюнка: можливість працювати з матеріалами різної товщини і фактури; скорочення кількості післядрукарських процесів; можливість використання екологічно чистих фарб;

зображення відрізняється високою якістю, люттю; можливість використання будь-яких кольорів і малюнків; за допомогою гнучких форм можна регулювати їх тиск на матеріал; економічність; висока швидкість друку.[9] Флексографічні друкарські системи за структурою і конструкцією значною мірою відрізняються від традиційних офсетних машин із фарбоживильним пристроєм дукторного типу, що обумовлює їх статичні і динамічні властивості та передачу фарбового зображення з форми на задруковуваний матеріал. При передачі фарбового зображення з друкарської форми на задруковуваний матеріал відбуваються складні процеси, обумовлені циркуляцією прямих і зворотніх потоків фарби від фарбоживильного пристрою до задрукованого матеріалу і в зворотньому напрямку. Значний вплив на рівномірність покриття растрового відбитка має інтервал тонопередачі. Отож, основним впливом у фарбодрукарській системі є друкарська форма, а саме її сюжет який залежить від накладу[5,6].

Усі математичні моделі офсетних фарбодрукарських систем є відомі та 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.

Опрацьовано математичну модель флексографічної друкарської системи з паралельною подачею фарби у статтях [3,4] 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 послідовної структури для заданих інтервалів тонопередачі, яка розв'язується шляхом комп'ютерного симулювання.

Побудова математичної моделі. Флексографічний друк — прямий метод перенесення зображення. Форма покривається фарбою, торкається до поверхні і залишає на ній відбиток. Спеціальний валик (анілоксовий) завдає чорнило на опуклі частини форми, які і роблять візерунки, написи. Цей валик має спеціальні комірки, за допомогою яких переноситься потрібну кількість чорнила.[9] 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 появились 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. Для дослідження за основу візьмемо флексографічну друкарську систему послідовної структури четвертої розмірності, яка має три фарбові валики що забезпечують більш рівномірну товщину потоку фарби на формі (рис.1).

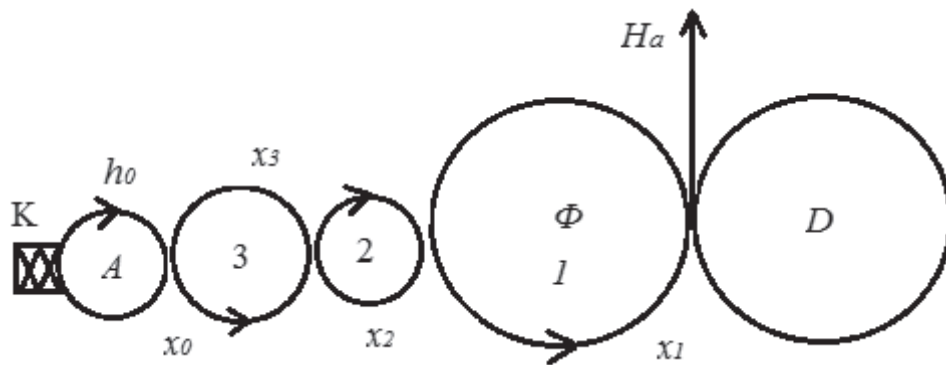


Рис. 1. Схема флексографічної друкарської системи

Виходячи з даної схеми 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 третій валик і послідовно розкочується другим накочувальним валиком на растрову друкарську форму Ф, яка здійснює модуляцію фарбового потоку. Створене на формі растрове фарбове зображення передається на задрукуваний матеріал. Частина фарби, яка не сприйнялась прогалинними елементами форми залишається на поверхні накочувального валика, створює зворотній потік фарби. Тому у флексографічній друкарській системі послідовної структури є інтенсивна циркуляція фарби, що забезпечує більш рівномірне покриття растрового відбитка фарбою.

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 перейдемо 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.

Складено систему рівнянь балансу середніх значень товщин фарби для усіх точок контакту фарбових валиків і друкарської форми

$$\begin{aligned}x_0 &= h_0 + \gamma_3 x_1 \\l_0 &= \gamma_0 x_0 \\x_3 &= \alpha_2 x_0 + \gamma_2(s) x_1 \\x_2 &= \alpha_2 x_3 + \gamma_1(s) x_1 \\x_1 &= \alpha_1(s) x_2 \\H_a &= \beta(s) x_1,\end{aligned}\quad (1)$$

де –середні значення товщин потоків фарби у точках контакту фарбових валиків і форми, товщина потоку фарби яка подається на вхід системи і повертається назад у фарбову камеру на амплітудне значення товщини фарби на растровому відбитку, коефіцієнти передачі прямих і зворотніх потоків фарби при виході із точок контакту валиків і форми, 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 (1) побудовано граф фарбодрукарської системи поданий на рис.2

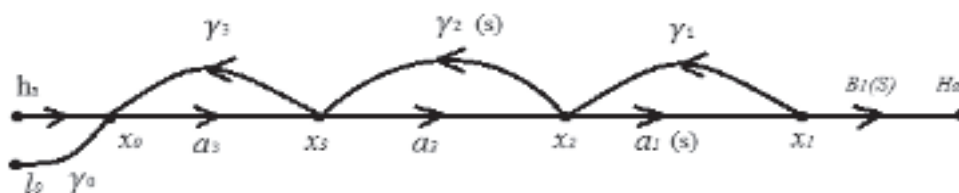


Рис.2. Граф фарбодрукарської системи

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.

$$H_a = \frac{\alpha_3 \alpha_2 \gamma_1(s) \beta(s)}{\Delta} h_0. \quad (2)$$

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

$$\Delta = 1 - \alpha_3 \gamma_3 - \alpha_2 \gamma_2(s) - \alpha_3 \gamma_3(s) - \alpha_1(s) \gamma_1 + \alpha_3 \gamma_3(s). \quad (3)$$

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

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

де M –коефіцієнт масштабу в якому будується характеристика.

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

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

Розрахунок і побудова характеристики покриття десятипольної шкали фарбою застосуємо об'єктно–орієнтоване програмування у програмному пакеті MatlabSimulink. 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.

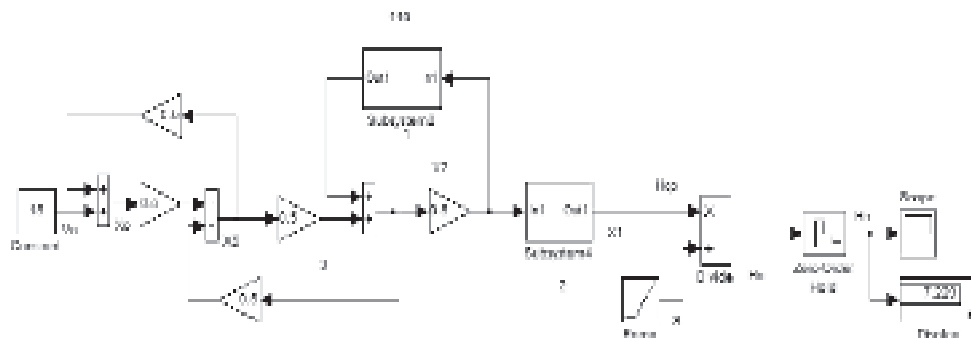


Рис.3 Структурна схема моделі флексографічної друкарської системи у *Simulink*

Вершинам графа відповідають блоки сумування Sum. На їх виходах додаються(накладаються) прямі і зворотні фарбові потоки, а на виходрозчеплюються. 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 за-

стосовано блок Zero-OrderHold . Візуалізацію результатів моделювання здійснюють блоком SkopeiDisplay 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; коефіцієнт передачі фарби із формного циліндра на задрукований матеріал $\beta=0,8$. На вхід моделі фарбодрукарської системи подавали товщину фарби 10мкм. Налаштовували блок Zero-OrderHold на період 10, що відповідає десятипольній растровій шкалі.

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

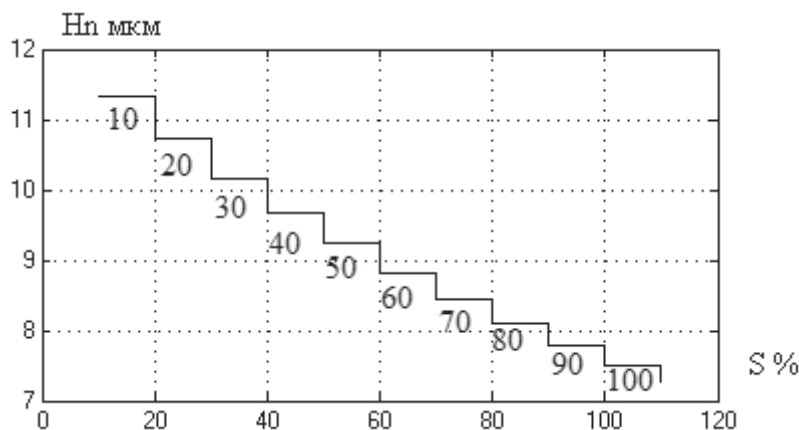


Рис.4. Графік покриття десятипольної шкали фарбою для номінальних параметрів моделі

Як це видно із рисунка на шкалі із десятипроцентним покриттям товщина фарби становить 11,5 мкм, на 20% полі – 11,2 мкм поступово ступенево спадає і на полі із 100% покриттям становить 7,8 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 послідовної 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.

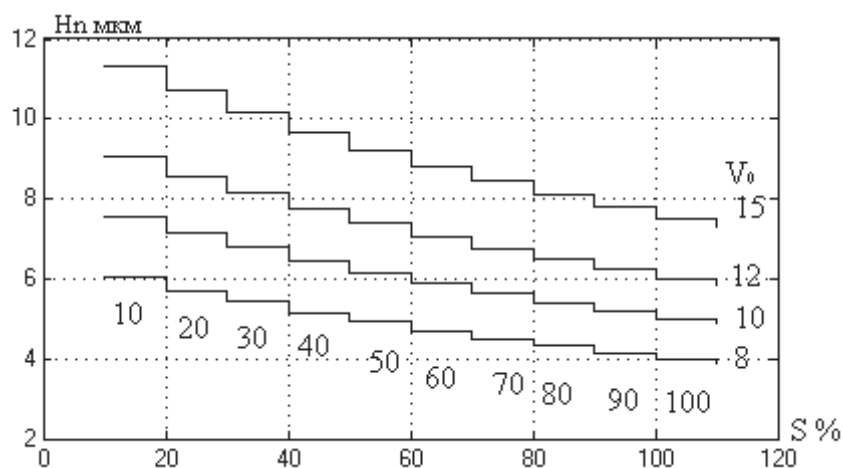


Рис. 5. Сімейство графіків покриття десятипольної шкали фарбою для ріної ємності анілоксового валика

Графіки покриття шкал фарбою є спадаючими, ступеневими. Верхній графік відповідає ємності анілоксового валика $V_0 = 15$ 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	H	11,5	11,2	10,5	10,2	9,7	9,5	8,7	8,5	8,2	7,8
	δ %	8,63	7,62	5,6	3,04	0,0	-3,2	-6,6	-10,05	-13,4	-15,62
12	H	8,7	8,5	8,1	7,8	7,6	7,2	6,8	6,6	6,2	6
	δ %	8,62	7,61	5,6	3,02	0,0	-3,2	-6,6	-10,06	-13,4	-15,67
10	H	7,9	7,5	7,1	6,9	6,7	6,5	6,1	5,7	5,5	5,2
	δ %	8,63	7,62	5,6	3,04	0,0	-3,2	-6,6	-10,05	-13,4	-15,6
8	H	6,1	5,9	5,7	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,2	4
	δ %	8,62	7,61	5,6	3,02	0,0	-3,2	-6,6	-10,06	-13,4	-15,67

Виходячи з даних бачимо, що найбільше значення товщини фарби є на першому полі шкали ($S=10\%$) і складає 11,5 мкм. На наступних полях товщина фарби поступово зменшується і на останньому полі ($S=100\%$) становить 7,8. При зменшенні ємності анілоксового валика товщина фарби на полях шкали зменшується і при ємності 8 куб. см./кв.м. знаходиться в межах 6,1-4 мкм.

Отже, двократне 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. Було розроблено математичну модель покриття десятипольної шкали фарбою у флексографічній друкарській системі послідовної структури четвертої розмірності яка описує залежність товщини фарби на десятипольній растровій шкалі від ємності анілоксового валика.

Також 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.

Виходячи з результатів комп'ютерного моделювання встановлено що похибка покриття полів шкали фарбою не залежить від ємності анілоксового валика і знаходиться в межах від +8,63% на світлих полях і до -15,62% 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: УАД, 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. – С348-353.
3. Луцків М. Побудова характеристик покриття растрових зображень фарбою у флексографічних друкарських системах з паралельною подачею / М. Луцків, С. Сичак // Комп'ютерні технології друкарства. Львів: УАД, - 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: УАД, 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. Formyflexodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa: OW PolitechnikiWarszawskiej. 2006. p.188.
8. W.Barabasz. Wahirastrowy:Podstawoweparametrywyboru/BarabaszW.Wydawca:ZrzeszeniePolskichFleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p. 15.
9. Олена Видиш : Флексографічний друк <http://drukarstvo.com/fleksohrafichnyj-druk/>

REFERENCES

1. Verkhola M.I. (2004). Osnovnizasady ta sutnistrozkočovanniafarby u farbovykhsystemakh / Verkhola M.I., Lutskiy M.M. // Kompiuternitekhnolohiidrukarstva – Lviv, №12. – p.14-25. (in Ukrainain)
2. Verkhola M.I. (1988). Syhnalnyihrafprotsesurozkochovanniafarby / Verkhola M.I., Lutskiy M.M. // Visnyk DU “Lvivskapolitekhnika”. Lviv, Tom2. – p.348-353. (in Ukrainain)
3. Lutskiy M. (2013). Pobudovakharakterystykpokryttiarastrovykhzobrazhenfarboiu u fleksohrafichnykhdrukarskykhsystemakh z paralelnoiupodacheiu / M. Lutskiy, S. Sychak // Komp’iuternitekhnolohiidrukarstva. - №29.- p. 43-53. (in Ukrainain)
4. Sychak S.V. (2013). Tochnosnikharakterystykyfleksohrafichnykhfarbodrukarskykh system z paralelnoiustrukturoiu/Sychak S.V.//Komp’iuternitekhnolohiidrukarstva.Zb. nauk.prats-Lviv. №30 p.58-66. (in Ukrainain)
5. YaremaS.M. (1998). Fleksohrafia / Yarema S.M. // – K.: Lebid.– p. 310. (in Ukrainain)
6. Yarema S.M. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalniaparaty, rakel i ta lanuvalniprystroidrukarskykh mashyn. / Yarema S.M., Mamut B.H. // - K.: Un-t “Ukraina”: KhK “Blits- Inform.– p. 191. (in Ukrainain)
7. Crichon H. (2006). Formyfleksodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa. OW PolitechnikiWarszawskiej. p.188. (in Polish)
8. W.Barabasz. Wahirastrywy: Podstawowe parametry wyboru /Barabasz W. Wydawca: Zrzeszenie Polskich Fleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p.15. (in Polish)
9. Olena Vydysh. Fleksohrafichnyi druk. <http://drukarstvo.com/fleksohrafichnyj-druk/>

DETERMINATION OF COVERING OF TEN-RANGE SCALE BY INK IN AN INKING SYSTEM OF CONSECUTIVE STRUCTURE

O. S. Sidiki

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

The mathematical model of covering of raster ten-range scale by ink in a flexographic printing system of consecutive structure has been developed, the results of simulation have been presented.

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

Стаття надійшла до редакції 12.09.2016.

Received 12.09.2016.