

УДК 655.3.062:655.326.1

DOI: 10.20535/2077-7264.1(87).2025.335010

© Б. М. Канєвський, асп., Я. В. Зоренко, канд. техн. наук,
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ КОМІРОК АНІЛОКСОВОГО ВАЛУ ІЗ ГЕКСАГОНАЛЬНОЮ ФОРМОЮ

В представлений роботі проаналізовано та розглянуто теоретичні основи для визначення рівня забруднення анілоксового валу на основі розрахунку об'єму комірки анілоксового валу з гексагональною формою, яка є поширеною у флексографічному друці. Здійснено моделювання процесу забруднення комірки анілоксового валу на основі різних параметрів, а саме глибини комірки, лініатури валу, ширини комірки в основі та заглибленні. Також, в роботі визначено граничні показники та залежності забруднення анілоксового валу різної лініатури.

Ключові слова: флексографія; флексографічний друк; моделювання; анілоксовий вал; забруднення комірки; об'єм комірки; лініатура анілоксу; гексагональна комірка; якість відбитків.

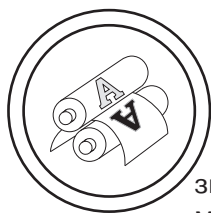
Постановка проблеми

Флексографічний друк є одним із основних способів друку в пакувальній промисловості, що досягається завдяки своїй гнучкості та можливості використовувати широкий асортимент задруковуваних матеріалів [1–3].

Однією з ключових ланок флексографічного друку, яка впливає на якість кінцевої продукції, є анілоксовий вал. Цей елемент є за своєю сутністю растровою структурою із рівномірно розподіленими комірками однакової форми. Причому об'єм комірок анілоксового валу визначає рівень фарбоперенесення, тобто кількість фарби, яка буде перенесена на друкарську форму та в подаль-

шому на задруковуваний матеріал. Зокрема на фарбоперенесення можуть впливати такі параметри як поверхня анілоксового валу, форма комірки, лініатура, розмір та глибина комірки, в'язкість друкарської фарби, наявність сторонніх частинок в комірках, способи та періодичність очищення анілоксового валу тощо [4].

Наявність такої кількості чинників ускладнює точність прогнозування рівня забруднення анілоксового валу в межах процесу виробництва друкованої продукції, що є однією із основних проблем щодо стабілізації якості відбитків у флексографічному друці. Оскільки, внаслідок забруднення комірок анілоксового валу відбувається



зміна їх об'єму, що в подальшому призводить до проблем із фарбоперенесенням та зниженням якості друку [5].

Хоча існує велика різноманітність методів прогнозування рівня забруднення та рекомендацій щодо очищення анілоксових валів. Однак, існуючі методи мають ряд обмежень щодо застосування та потребують значних капіталовкладень, що не завжди є доступним для друкарень з невеликими обсягом виробництва. Відповідно, доволі гостро виникає потреба щодо розробки більш доступних методів прогнозування забруднення комірок анілоксових валів.

Аналіз попередніх досліджень

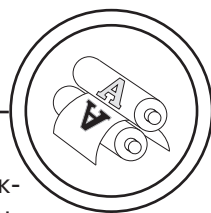
На сьогодні все більшої актуальності набувають напрями досліджень, присвячених новітнім технологіям гравіювання анілоксових валів, які дозволяють зменшити загальні тенденції щодо забруднення комірок [5–8]. До того ж, в межах реального виробничого процесу доволі слабо контролюється стан зношеності комірок анілоксового валу, що може додатково впливати на швидкість забруднення комірок і, як наслідок, на зниження якості флексографічного друку.

Згідно існуючих досліджень [5–14] щодо середнього рівня забруднення анілоксових комірок, які експлуатуються у флексографічних друкарських машинах, встановлено досить високий рівень забруднення анілоксових валів. Це вказує на неналежне використання анілоксових валів та відсутність належного контролю за рівнем їхнього забруднення у біль-

шості друкарень. Крім того в дослідженні [9] виділено п'ять основних груп забруднення анілоксової комірки від меншого до більшого рівня, що залежить від зміни лініатури в діапазоні 169... 428 лін/см відповідно. Тобто, в дослідженні [9] визначено тенденцію до порівняно швидшого забруднення комірок при використанні вищої лініатури анілоксового валу.

За результатами аналізу існуючих досліджень [5–15], можна виділити основні методи визначення рівня забруднення комірок анілоксового валу: мікроскопія з використанням професійних мікроскопів AniCAM, аналіз вібрацій та звукових сигналів при роботі анілоксового валу; застосування краплі спеціальної рідини для подальшого розтирання на обмеженій поверхні анілоксового валу та подальшого вимірювання площі за допомогою площоміру; аналіз кольорних спотворень надрукованих відбитків у межах певного періоду; інтерферометрія білого світла; рентгенофлуоресцентний метод XRF (від англ. X-ray fluorescence spectroscopy).

Найпоширенішим методом визначення рівня забруднення комірок та ступеню зношення анілоксових валів є метод мікроскопії [10, 11]. Так, в роботі [10] досліджувалися анілоксові вали із різною лініатурою за допомогою мікроскопу та програмною обробкою цифрових знімків поверхні. До оброблених даних застосовалося моделювання рівня забруднення комірок за допомогою методу нечіткої логіки із визначенням трьох рівнів забруднення. У роботі [11] здійснювалося прогнозування рівня забруднення ко-



мірки анілоксового валу із лініатурою 260 лін/см за допомогою дослідження зносостійкості, що в результаті дозволило встановити нижню критичну межу об'єму комірки для цієї лініатури, яка склала $4,0 \text{ см}^3/\text{м}^2$.

Не зважаючи на існуючі практичні методи визначення рівня забруднення анілоксового валу, слід відзначити, що їх точність складає в середньому $\pm 10 \%$ [12]. Тому доволі часто використовують теоретичні методи розрахунку об'єму та рівня забруднення комірок анілоксових валів. Зокрема, у вказаному дослідженні [12] застосовано методику визначення об'єму комірки анілоксового валу на основі розрахунку подвійного інтегралу, а також проведено моделювання впливу різних за ступенем очищення анілоксових валів на рівень забруднення комірки із типовими значеннями лініатури.

Мета роботи

Розроблення методу розрахунку об'єму комірки із гексагональною формою для різної ліні-

атури анілоксового валу флексографічного друку. Моделювання рівня забруднення комірок анілоксового валу при різних значеннях глибини та лініатури, а також визначення гранично допустимих меж зміни об'єму осередку комірки для забезпечення прогнозованої якості флексографічного друку плашок із застосуванням сумішевих фарб.

Результати проведених досліджень

Для визначення об'єму осередку комірки анілоксового валу із гексагональною формою для флексографічного друку (рис. 1) необхідно враховувати основні параметри: глибина комірки, діаметр основи для верхньої та нижньої комірки, довжина верхньої та нижньої комірки [13].

Також, для дослідження рівня забруднення комірки із гексагональною формою потрібно враховувати інші характеристики анілоксового валу (рис. 2). Зокрема, це лініатура анілоксового валу, ширина стінки комірки та кількість граней комірки.

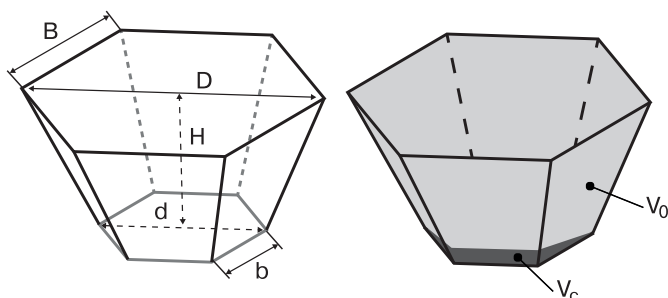
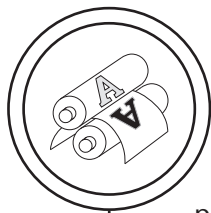


Рис. 1. Схематичне представлення комірки анілоксового валу із гексагональною формою: B — довжина верхньої грані комірки (мм); b — довжина нижньої грані комірки (мм); D — діаметр верхньої комірки (мм); d — діаметр нижньої комірки (мм); H — глибина комірки (мм); V_0 — об'єм осередку при повному заповненні комірки ($\text{см}^3/\text{м}^2$); V_c — об'єм осередку при частковому заповненні комірки ($\text{см}^3/\text{м}^2$)



Для розрахунку об'єму осередку комірки анілоксного валу запропоновано застосувати такі вирази [16]:

$$V_0 = n \cdot \frac{H}{12} \cdot (b^2 + b \cdot B + B^2) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right), \quad (1)$$

$$H = D \cdot 0,28 \quad (2)$$

де V_0 — об'єм осередку гексагональної піраміди із зрізом ($\text{см}^3/\text{м}^2$); n — кількість граней піраміди; H — глибина комірки (мкм); B — довжина верхньої грані комірки (мкм); b — довжина нижньої грані комірки (мкм); D — діаметр верхньої комірки (мкм).

Слід зазначити, що глибина комірки анілоксного валу з виразу (2) розраховувався виходячи із твердження, що глибина комірки переважно становить від 23 % до 33 % діаметру комірки [16, 17]. Згідно виразу (1) та даних від виробників (діаметра комірки, ширини стінки, довжини верхньої та нижньої граней) [18–20], розра-

ховано об'єм осередків анілоксних валів різної лініатури, які представлені у табл. 1.

Наступний етап дослідження передбачав моделювання рівня забруднення комірки шляхом зміни її глибини з кроком у 1 мкм від основи комірки. Розрахунок об'єму комірки здійснювався згідно виразів (1)–(2). Результати розрахунків представлені в табл. 2. Таким чином, знаючи номінальний об'єм осередку комірки згідно табл. 1 та розрахований згідно табл. 2, можна визначити величину залежності рівня забруднення комірок за виразом (3):

$$V_{d,\%} = \frac{V_0 - V_c}{V_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де V_0 — об'єм при повному заповненні осередку комірок ($\text{см}^3/\text{м}^2$); V_c — об'єм при часткового заповнення осередку комірок ($\text{см}^3/\text{м}^2$); $V_{d,\%}$ — відносний показник зниження об'єму осередку комірок (%).

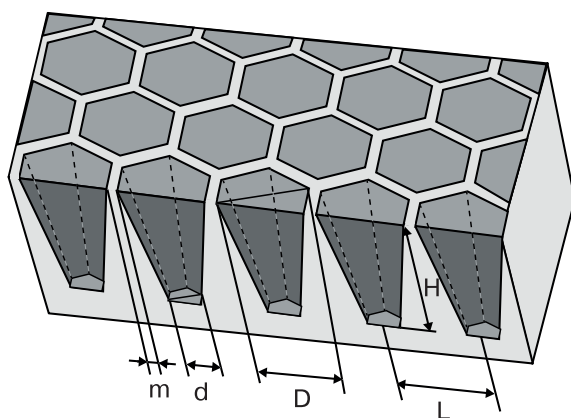
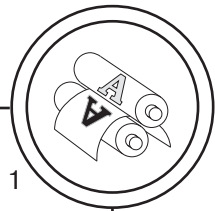


Рис. 2. Схематичне представлення поверхні анілоксного валу із комірками гексагональної форми: m — ширина стінки (мкм); n — кількість граней піраміди; H — глибина комірки (мкм); D — діаметр верхньої комірки (мкм); d — діаметр нижньої комірки (мкм); L — лініатура анілоксного валу (lpi)



Таблиця 1

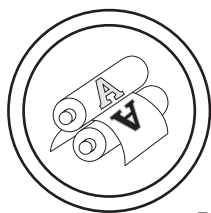
Розрахований показник об'єму осередків анілоксого валу
різної лініатури

Параметри	Характеристика			
Лініатура, Ірс (lpi)	160 (400)	200 (500)	240 (600)	320 (800)
Діаметр комірки, мкм	57	45	38	29
Ширина стінки, мкм	6	5	4	2
Глибина комірки, мкм	15,9	12,6	10,64	8,1
Довжина верхньої грані комірки, мкм	32,6	26,0	21,7	16,9
Довжина нижньої грані комірки, мкм	5,4	4,3	3,6	2,8
V_0 (об'єм), cm^3/m^2	4,5	3,51	3,04	2,4

Таблиця 2

Результати моделювання рівня забруднення осередку комірок
для різної лініатури анілоксого валу

Лініатура (L), Ірс (lpi)	dH, мкм	dH, %	Глибина комірки (H), мкм	Об'єм осе- редку комі- рок (V_c), cm^3/m^2	Рівень за- бруднення (V_d), %
160 (400)	0	0	15,9	4,50	0
	1	6,3	14,9	4,24	5,1
	2	12,6	13,9	4,01	10,2
	4	25,2	11,9	3,56	20,4
	8	50,3	7,9	2,68	40
200 (500)	0	0	12,6	3,51	0
	1	7,9	11,6	3,29	6,5
	2	15,9	10,6	3,06	12,9
	4	31,7	8,6	2,62	25,6
	8	63,5	4,6	1,78	49,3
240 (600)	0	0	10,6	3,04	0
	1	9,4	9,6	2,81	7,6
	2	18,9	8,6	2,58	15,2
	4	37,7	6,6	2,13	30,2
	8	75,5	2,6	1,34	56,1
320 (800)	0	0	8,1	2,40	0
	1	12,3	7,1	2,17	10
	2	24,7	6,1	1,93	19,9
	4	49,4	4,1	1,47	39,1
	7	86,4	1,1	1,01	58



Для аналізу результатів моделювання рівня забруднення анілоксового валу (табл. 2) запропоновано три рівні відхилення: 10 % — допустимий рівень коливань (виробничі рекомендації); 30 % — граничний рівень коливань (рекомендація щодо очищення); 50 % — надмірний рівень коливань (надмірні спотворення) [10]. Враховуючи вищезазначене та згідно табл. 2, можна побудувати залежності наявного рівня забруднення від лініатури застосованого анілоксового валу (рис. 3).

Тут слід відмітити, що розрахункове значення рівня забруднення для анілоксових валів за лініатури 320 лін/см в табл. 2 мають дещо граничні показники, порівняно з іншими, через обмеженість глибини самих комірок, що ускладнює розрахунки. Не зважаючи на це, рівень забруднення для цих анілоксових валів змодельовано на рис. 3.

Аналізуючи залежності на рис. 3 та дані з табл. 2 можна констатувати, що рівень забруднення комірки в основному залежний від

величини лініатури, а саме із збільшенням лініатури анілоксового валу збільшується і рівень забруднення, що пов'язане із значним зниженням об'єму осередку комірки. Окрім того, можна помітити збільшення відсоткового співвідношення глибини комірок при збільшенні лініатури за умови сталої зміни забруднення в мкм.

Зокрема найбільші значення рівня забруднення в межах досліджуваних анілоксових валів спостерігаються за лініатури 320 лін/см, а найменші — 160 лін/см. Можна помітити, що розрахований об'єм осередку комірок для анілоксового валу з лініатурою 160 лін/см при зміні рівня забруднення в більшій мірі знаходиться в допустимих межах, не досягаючи надмірного рівня спотворення. В свою чергу, розрахований об'єм осередку комірок для анілоксового валу з лініатурою 320 лін/см має різке зростання і досягає надмірного рівня спотворень швидше, ніж при забрудненні комірок інших лініатур. Так, рівень відхилень об'єм комірки анілоксу при забруднен-

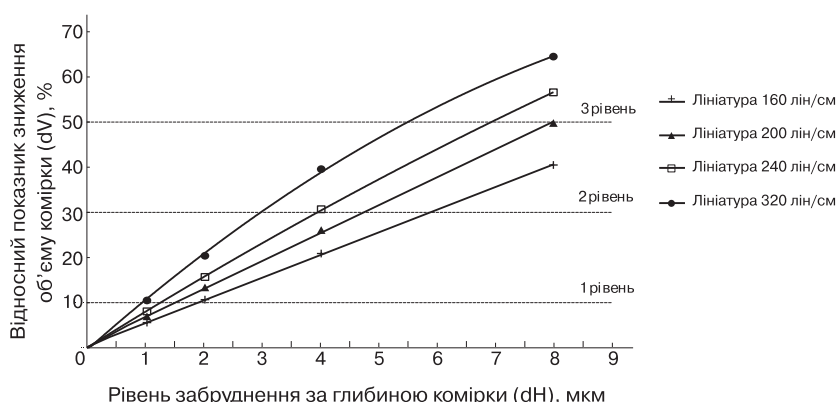
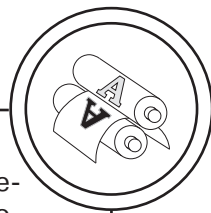


Рис. 3. Графічні залежності рівня забруднення за глибиною комірки від лініатури анілоксового валу



ні комірки фарбою на 4 мкм для лініатури 160 лін/см знаходиться в допустимому рівні, а 320 лін/см — в граничному.

Анілоксові вали лініатури 160 лін/см та 200 лін/см мають однакову тенденцію рівня забруднення і при зміні глибини комірки на 4 мкм усі знаходяться в допустимому рівні, доходячи до граничного при подальшій зміні глибини комірки. Загалом вказані анілоксові вали найчастіше використовують в друкарнях для друку насичених плашок, оскільки їх об'єм є більш сталий, ніж у валах з високою лініатурою з малим розміром комірки.

Можна також відмітити, що починаючи з лініатури анілоксового валу 240 лін/см та вище рівень забруднення виходить за межі високого рівня спотворення (50 %), що вимагає більш детального контролю за рівнем забруднення анілоксового валу, починаючи з лініатури 240 лін/см.

Аналізуючи рис. 3, можна помітити тенденцію, що анілоксовий вал з лініатурою 240 лін/см має нижчий поріг входження в надмірний рівень спотворень при зміні глибини комірок на 8 мкм, ніж анілоксовий вал з лініатурою 320 лін/см. В свою чергу, анілоксовий вал з лініатурою 320 лін/см

швидше забруднюється і потребує особливої уваги при контролі за рівнем забруднення та періодичністю очищення. Зазвичай, такі анілоксові вали використовують при друці растрових елементів та тонких ліній для мінімізації розтискування крапки або для друку світлих за тоном плашок, проте їх недоліком є те, що вони швидше зношуються за рахунок забруднення та руйнування комірок.

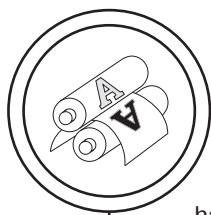
Висновки

Запропоновано розрахунок об'єму осередку комірок для анілоксового валу за допомогою рівняння для розрахунку об'єму зрізаної багатокутної піраміди. Розроблена методика моделювання забруднення комірок анілоксового валу дозволить теоретично спрогнозувати рівень забруднення та скоротити час на контроль якості, що зменшить енергоємність виробництва.

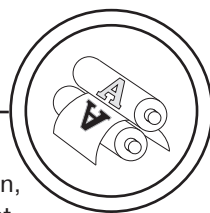
Згідно результатів проведеного моделювання, можна зробити висновки, що рівень забруднення комірок анілоксового валу зростає при збільшенні лініатури анілоксового валу. Зокрема, починаючи з лініатури анілоксового валу 240 лін/см виникає потреба у процесі глибокого очищення анілоксового валу.

Список використаної літератури/References

1. (2013). *Flexographic Technical Association. Flexography: Principles and Practices*. Foundation of Flexographic Technical Association: New York, NY, USA, 610 p.
2. Kanievskiy, B. (2023). Doslidzhennia tekhnologii upravlinnia kolorovidtvo-renniam u fleksohrafichnomu drutsi [Research of Color Reproduction Control Technologies in Flexographic Printing]. *Tekhnolohiia i Tekhnika Drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (2(80)), 49–59. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.288943](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.288943) [in Ukrainian].
3. *The Future of Flexographic Printing Markets to 2029*. Retrieved from <https://www.smithers.com/Services/market-reports/Printing/The-Future-of-Flexographic-Printing-to-2027> [in English].



4. Anilox line screen. *Harper GraphicSolutions*. Retrieved from <https://harpercorporation.com/blog/anilox-line-screen-2> [in English].
5. Polenok, D. V., & Vovk, O. V. (2022). Doslidzhennia parametriv suchasnykh aniloksovykh valiv u fleksohrafii [Research of parameters of modern anilox rollers in flexography]. *Proc. VIII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia 'Polihrafichni, multymediini ta Web-tekhnologii (PMW-2022)'*. Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi universytet radioelektroniky, 76–78 [in Ukrainian].
6. Kukura, Y. A., et al. (2019) Research of technological features of the application of GTT-engraving anilox in manufacturing conditions. *Scientific Papers (Ukrainian Academy of Printing)*, 2(59), 11–21. <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2019-2-59-11-21> [in English].
7. Willeke, A. (2020). Aniloxrollers — a key component in flexo printing. *German in Flexo+Tief-Druck*, 6, 52–53 [in English].
8. Hall, P. Anilox Volume Measurement: Its History as an Important Evolution in Flexographic Printing — Page 2 of 2 — Flexographic Technical Association. *Flexographic Technical Association*. Retrieved from <https://www.flexography.org/industry-news/anilox-volume-measurement-history-evolution-flexographic-printing/2/> [in English].
9. Savickas, A., Stonkus, R., & Jurkonis, E. (2020). Investigation of anilox roller cell clogging. *Journal of graphic engineering and design*, 11(2), 61–67. <https://doi.org/10.24867/jged-2020-2-061> [in English].
10. Repeta, V. & et al. (2024). *Assessment and prognostic models of the efficiency of anilox rollers cleaning process*. Khmelnytskyi: Institute of Printing Art and Media Technologies of Lviv Polytechnic National University, 10 p. [in English].
11. Khmiliarchuk, O. I., & Shubko, Yu. S. (2016). Modeliuvannia protsesu zabrudnennia komirok aniloksovoho valu [Modeling of Anilox Cells Pollution Process]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, 1(51), 41–46. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(51\).2016.54617](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(51).2016.54617) [in Ukrainian].
12. Lutsiv, M. M., & Stempen, K. (2007). Modeliuvannia zabrudnennia rastroyvkh komirok aniloksovoho vala [Modeling of contamination of raster cells of an anilox roller]. *Naukovi zapysky*, 1(11), 65–72 [in Ukrainian].
13. Kanievskiy, B. M., & Zorenko, Ya. V. (2025). Systematyzatsiia parametriv protsesu ochyshchennia aniloksovoho valu [Systematization of parameters of the anilox roller cleaning process]. *Proc. X Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia 'Polihrafichni, multymediini ta Web-tekhnologii (PMW-2025)'*. Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi universytet radioelektroniky, 37–38 [in Ukrainian].
14. Trautenberg, U., & Abu-Mahfouz, I. (2023). Using sound and vibration signals to monitor cell wear on anilox rolls. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 19(4), 187–198. <https://doi.org/10.1080/10589750412331290596> [in English].
15. Małachowska, E. (2023). Non-Destructive Elemental Analysis of Raster Roller Damage Using X-ray Fluorescence Spectroscopy. *Coatings*, 13(8), 90–98. <https://doi.org/10.3390/coatings13081398> [in English].
16. Puvaravutipanich, A. (1998). The Study of using the banded anilox roller for color matching in flexography. *Thesis*. Rochester Institute of Technology. Retrieved from <https://repository.rit.edu/theses/3797> [in English].
17. Specifying the Right Anilox. *Harper WalkingSeminar*. Retrieved from <https://www.harperimage.com/AniloxRolls/Anilox-Guides/Specifying-the-Right-Anilox> [in English].



18. INOMETA INOflex® HEXAGONAL 60° VOLUME TABLE. Rasterwalzen, CFK Adapter & Flexodruckzubehör | *INOMETA*. Retrieved from https://printing.inometa.de/fileadmin_printing/user_upload/Downloads/Downloads_EN/INOflex-2019-EN/INOMETA-INOflex-Hexagonal60Grad-EN.pdf [in English].

19. Anilox Référence Sur L'écran et le Volume | *ARC International*. Flexographic Printing Rollers, Refurbishing & Supplies | *ARC International*. Retrieved from <https://www.arcinternational.com/training-resources/anilox-reference-sur-lecran-et-le-volume/> [in English].

20. *Volume & Geometry. Anilox Laser Technology*. Retrieved from <https://www.aniloxlt.co.uk/volume> [in English].

In this work, theoretical data on anilox roller contamination were analyzed and considered, and the volume of the hexagonal shape of the roller cell in flexographic printing was calculated. Based on the calculations, the contamination of the anilox roller cell was modeled by changing its depth for different line screen and the ratio of the diameter and depth of the cell. The limiting indicators and dependencies of the contamination of the anilox roller for different line screen were also determined.

Keywords: flexography; flexographic printing; modeling; anilox roller; cell contamination; cell volume; anilox line screen; hexagonal cell; quality of imprints.

Надійшла до редакції: 18.01.25

Рецензія: 15.02.25

Опубліковано: 15.04.25