

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ ТОНУ В ЕЛЕКТРОФОТОГРАФІЇ

Голубник Т.С.

к.т.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,
ІПМТ НУ «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-8325-9813

***Анотація.** У роботі представлено комплексний аналіз методів дослідження відбитків, виготовлених за допомогою технології електрофотографії. Основну увагу приділено виявленню закономірностей впливу фізико-хімічних та поверхневих параметрів паперу на динаміку зміни величини посилення тону. Проведено порівняльну характеристику традиційних методів оцінки величини розтискування із застосуванням штрихових модельних відбитків. Визначено переваги та критичні недоліки застосування спектрофотометрів і сканерів, які є стандартними для сучасних друкарень. Обґрунтовано можливості та окреслено перспективи впровадження методики аналізу якості через побудову профілограм модельних відбитків.*

***Ключові слова:** посилення тону, електрофотографічна технологія, коефіцієнт відбиття, денситометрія.*

Вступ

Попит на принтери та копіювальні апарати, що використовують електрофотографічні системи, стрімко зростає в останні роки. З вибором друкуючих пристроїв, електрофотографічної технології зростають не лише в їхньому застосуванні для друку документів в офісах, але й для малих друкарень. Серед усього цього продуктивність пристроїв, від яких потрібні високі швидкості та розширена чіткість, також стає більш досконалою.

Друкуючі пристрої електрофотографічної системи використовують мікрочастинки діаметром від 5 до 10 мкм, які називаються тонерами, які заряджаються тертям і формують зображення за допомогою електростатичної сили. Хоча потрібне надзвичайно точне керування для розгону до високих швидкостей та розширення чіткості до вищої якості зображення, багато аспектів поведінки частинок тонера досі досліджують, такі як заряджання тертям. З цієї причини необхідно виявляти параметри на основі досвіду та ноу-хау для розробки та неодноразово експериментувати для оптимізації. Скорочення часу розробки є важливим для комерціалізації необхідних функцій вчасно.

Достатня кількість сучасних обладнань використовують за кордоном, так само відомі марки придбані по всій території України. Відповідно, дана тематика сучасного цифрового друку електрофотографічної технології набрала обертів у нашій країні, що на фоні малих накладів доводить свою актуальність [1, 2].

Мета дослідження

Порівняння методів вимірювання посилення тону відбитків, отриманих на машинах електрофотографічного способу друку, для складання рекомендацій щодо їх використання у поліграфічній практиці.

Основна частина

В останні десятиліття спостерігається активне вдосконалення способу електрофотографічної технології, зумовлене безпрецедентним розвитком цифрових технологій та комп'ютерної техніки, що відкрило нові можливості для швидкого та якісного відтворення відбитків. Завдяки цьому на даний момент аналізований спосіб друку є найпоширенішим у галузі оперативної поліграфії і представляє особливий інтерес у плані актуальності вивчення питань підвищення якості продукції, тому що в перспективі він може перевершити за точністю репродукування оригіналу всі інші способи традиційного друку. При цьому потрібно вивчити методи вимірювання посилення тону (або розтискування) як головний спосіб виявлення масштабів зниження якості одержуваних відбитків.

Посилення тону – різниця між значеннями тону для відтискування та значеннями тону в цифровому файлі. Здебільшого посилення тону спричинене збільшенням площі друкованих елементів у процесі друку внаслідок механічних впливів на барвистий шар.

На величину посилення тону впливає безліч факторів, такі як склад тонера, температура його полімеризації і якість матеріалу, що задруковується. Якщо перші два параметри контролювати і змінювати неможливо через особливості друкарського обладнання, то очевидним є використання різних видів паперів, що дасть найбільш ясну картину факторів, що впливають на якість друку (рис. 1).



Рисунок 1 – Оригінал дослідження

Обладнання та матеріали, що застосовуються

Досліджувані відбитки друкувалися на лазерному принтері Xerox DocuColor 5252. Це друкарська машина електрофотографічної технології, здатна друкувати на різних видах паперу граматурою до 300 г/м². Друк відбитків проводився у роздільній здатності 300 точок на дюйм у чорному кольорі.

В якості обладнання для сканування відбитків використовувався сканер від принтера моделі Xerox 5325, що дозволяє сканувати з роздільною здатністю 600 точок на дюйм.

Для вимірювання коефіцієнтів відбиття світла надрукованих плашок застосовувався спектрофотометр X-Rite Eye-One Pro, з використанням можливостей програмного пакету ProfileMaker 7.0.

В якості задруковуваних матеріалів були обрані 5 видів паперів:

- папір матовий Mondi IQ Ultra 80 г/м²;
- папір матовий Xerox Colotech + 120 г/м²;
- папір матовий Xerox Colotech + 160 г/м²;
- папір не крейдований глясовий LumiArt 150 г/м²;
- папір крейдований матовий LumiSilk 200 г/м².

Першим із розглянутих методів характеристики розтискування є метод денситометрії. Цей метод широко застосовується у великих друкарнях і став традиційним методом визначення масштабів посилення тону.

Він полягає у скануванні на світловідображенні модельного відбитка, який є суцільним колірним шаром (у даному випадку координати кольору даної плашки в цифровому макеті в системі Lab: L=50, a=0, b=0) і подальшому комп'ютерному аналізі отриманого електронного зображення.

Для контролю градаційної передачі у поліграфії традиційно використовуються денситометричні виміри (вимірювання оптичної щільності за допомогою денситометра або спектрофотометри).

Оптична щільність обчислюється як десятковим логарифмом від коефіцієнта відображення мінус першого ступеня:

$$D_i = \lg \frac{1}{R_i}, \quad (1)$$

де R_i – коефіцієнт відображення.

Оцінка відносної площі заповнення растрового поля (у відсотках) розраховується за формулою Мюррея-Девіса [2]:

$$S_i = \frac{1 - 10^{-D_{Ri}}}{1 - 10^{-D_v}} \times 100, \quad (2)$$

де S_i – відносна площа растрових елементів i -го поля;

D_{Ri} – оптична щільність i -го растрового поля;

D_v – оптична щільність фарби (приймаємо за 1,0).

За допомогою спектрофотометра були зняті показники відбивання плашок для всіх видів паперів (рис. 1). Потім за формулою (1) було отримано значення оптичної щільності плашок і за формулою Мюррея-Девіса (2) розрахували значення відносної площі растрових елементів (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення відносної площі растрових елементів та величина розтискування для різних видів паперів

Вид паперу	80 г/м ²	120 г/м ²	160 г/м ²	150 г/м ² , глянц.	200 г/м ² , мелов.
Середній коефіцієнт відбивання R	0,390	0,366	0,372	0,341	0,390
Відносна площа растрових елементів S , %	56,7	59,3	58,6	62,1	56,6
Величина розтискування D , %	6,7	9,3	8,6	12,1	6,6

Другий спосіб виявлення розтискування полягає в скануванні спеціальних модельних штрих-карток, надрукованих на різних типах паперу.

Макет даних штрих-карт представлений у вигляді чорних і білих смуг, що чергуються, однакової ширини d з змінною частотою штрихування $\frac{1}{d}$. Суть методу полягає в тому, що в тих випадках, коли ширина смуги набагато більша від растрової точки принтера, вплив розтискування на середній коефіцієнт відображення відбитка практично не помітний і приблизно дорівнює 0,5, але зі збільшенням частоти $\frac{1}{d}$ ефект стає помітним.

Враховуючи тип паперу та показники відбивання з табл.1 представлено у вигляді діаграми їх показники (рис. 2).

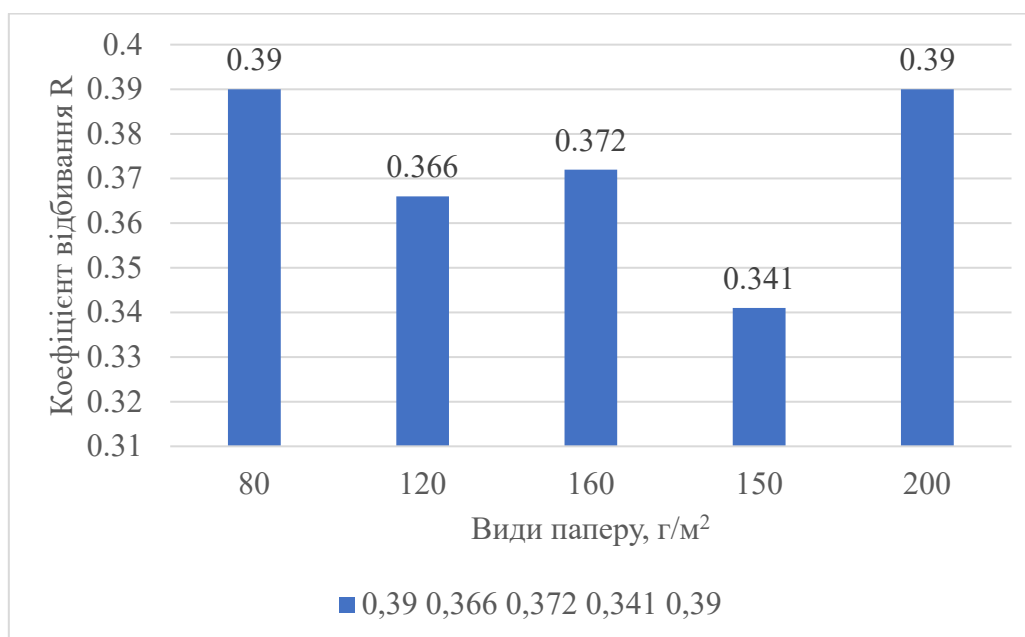


Рисунок 2 – Результати спектрофотометричного виміру коефіцієнтів відбиття світла суцільними чорними фарбовими шарами на різних видах паперу

Для проведення експерименту були підготовлені макети із шириною смуг від 4 до 10 пікселів (1 піксель=33,3 мкм) (рис. 3).

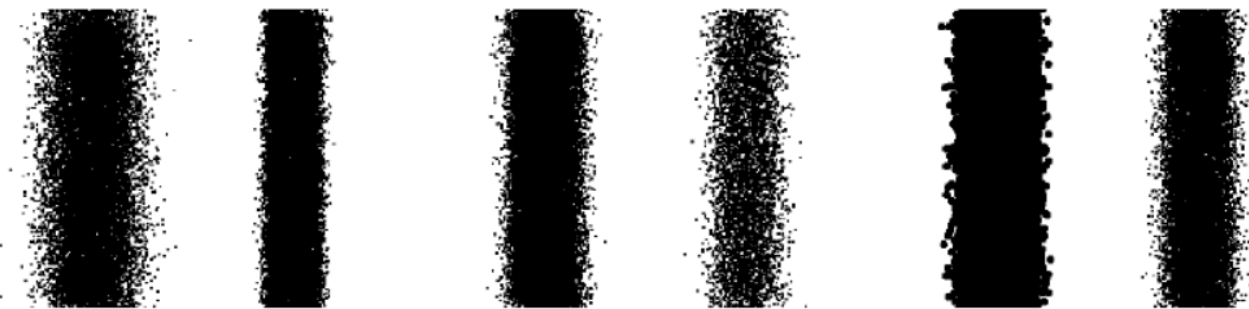


Рисунок 3 – Збільшена фотографія відтворення смуг і їх тональності

Отримані відбитки були відскановані за допомогою планшетного сканера, а потім за допомогою комп'ютерного аналізу за допомогою програми Scilab було отримано середні значення рівня тону m для кожної штрих-картки.

$$R = \frac{m}{255}, \quad (3)$$

де R – середній коефіцієнт відображення;
 m – середнє значення рівня тону.

З формули (3) був розрахований середній коефіцієнт відбивання відбитків. Результати були занесені в таблицю для після наступної побудови графіка залежності середнього коефіцієнта відбиття R від частоти штрих-карт $\frac{1}{d}$ (рис. 4).

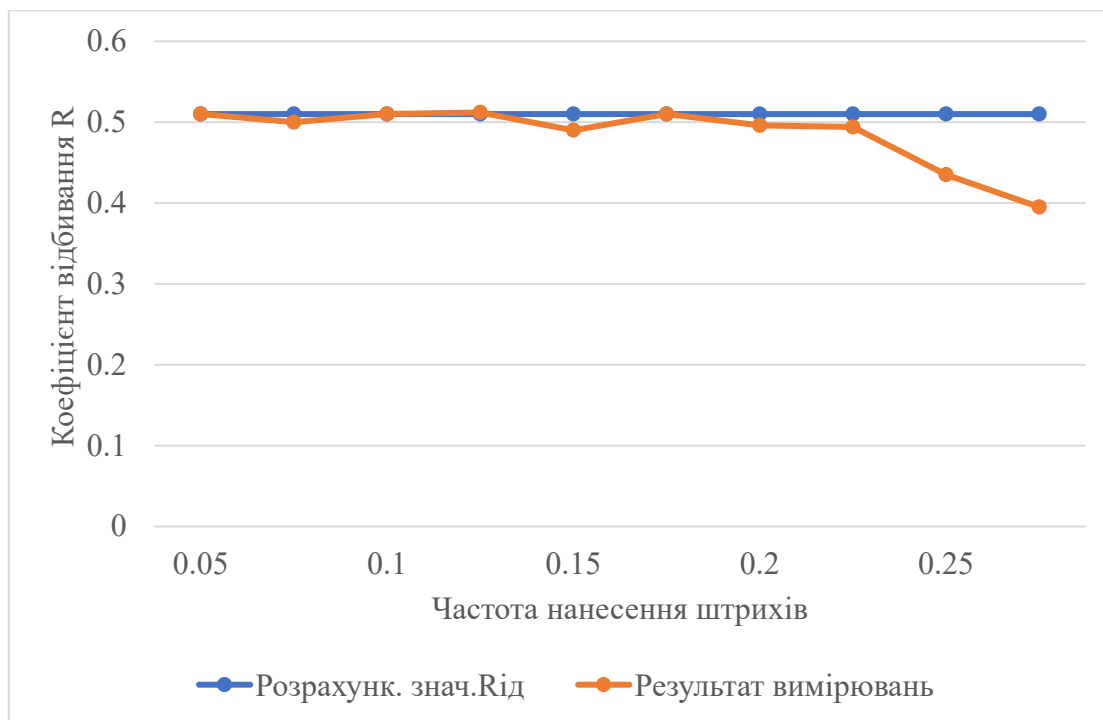


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта відображення R світла штриховими модельними відбитками, надрукованими на крейдованому папері LumiSilk 200 г/м²

Додатково вводиться значення R_{i0} – коефіцієнт відображення (рис. 2), при якому вплив розтискування на вимірюваний коефіцієнт відображення штрих-карти мізерно мало:

$$R_g = \frac{R_b + R_p}{2}, \quad (4)$$

де R_p – коефіцієнт відбивання світла зафарбованою чорною плашкою;

R_b – коефіцієнт відображення світла незапечатаним папером.

Аналогічно з наведеним графіком для матової крейди.

ного паперу LumiSilk 200 г/м² (рис. 2) будуються графіки для залишкових видів паперів.

$$R = R_{ug} - \frac{x}{d} \left[R_b + R_p - \frac{2 \times (R_b - R_p)}{\ln \left(\frac{R_b}{R_p} \right)} \right]. \quad (5)$$

Формула (5) дозволяє зв'язати величину коефіцієнта відбивання R , ширину смуг d і коефіцієнт відображення світла незадрукованою на папері R_b з параметрами просторового R_x і локального розтискування (x_1, x_2) [4].

З рівняння (5) можна виразити x :

$$x = \frac{R_{ug} - R_{0,25}}{R_b + R_p - \frac{2(R_b - R_p)}{\ln \left(\frac{R_b}{R_p} \right)}} \times d, \quad (6)$$

де $R_{0,25}$ – значення коефіцієнта відображення для точки з частотою смуг $\frac{1}{4}$.

Формула (6) дозволяє кількісно охарактеризувати величину розтискування (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати визначення параметрів локального розтискування з даних оптичного сканування штрих-карт

Вид паперу	80 г/м ²	120 г/м ²	160 г/м ²	150 г/м ² , глянец.	200 г/м ² , крейдов.
x (мкм)	34,1	36,4	34,7	37,2	27,4
$2x$ (мкм)	68,2	72,8	69,4	74,4	54,8

Третій метод оцінки величини розтискування, так само, як і попередній, передбачає використання планшетного сканера як інструмент для отримання

даних про світловідбиття відбитків. В даному випадку передбачається аналізувати не штрих-карти, а модельні відбитки, що являють собою наполовину щільно зафарбовану чорну ділянку паперу, а друга половина залишається повністю незадрукованою.

Обробка результатів проводиться також у програмі Scilab – використовуючи її можливості, будується профілограма відсканованого відбитка (рис. 5). Вона наочно показує не лише розподіл рівнів тону у вибраному рядку зображення, а й наочно демонструє неоднорідність запечатаного шару, спричинену неоднорідністю самого паперу, що істотно впливає на якість відтворення зображень.

Іншою важливою особливістю, що надається профілограмою є можливість оцінити кількісно розмір зони переходу від пофарбованої в чорний колір плашки до області без фарби. У разі можна умовно розділити отриману зону переходу на 2 частини: x_1 – зона розтискування в тінях і x_2 – зона розтискування у світах.

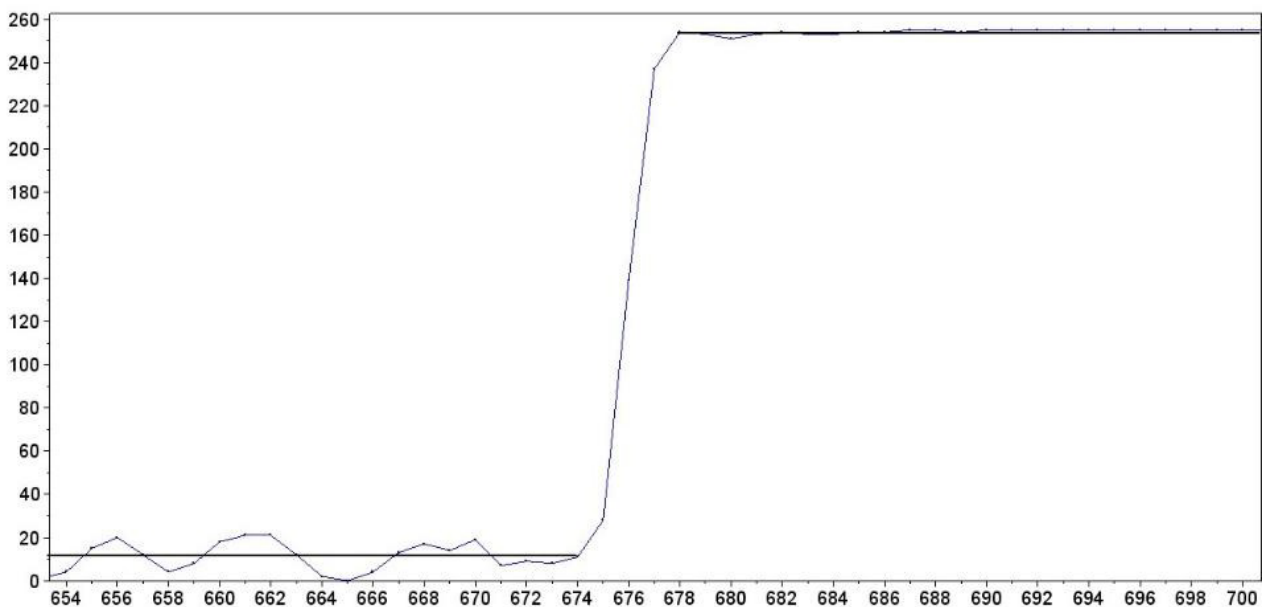


Рисунок 5 – Приклад профілограми: папір крейдований матовий LumiSilk 200 г/м², рядок скана п'ятисотий

Подібний аналіз проведено для всіх паперів та результати зібрані в єдину таблицю (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати аналізу профілограм

Вид паперу	x_1 , пк	x_2 , пк	$x_1 + x_2$, пк	$2x_{сер}$, мкм
80 г/м ²	1,07	1,5	2,57	85,6
120 г/м ²	1,14	1,64	2,78	92,8
160 г/м ²	1,18	1,39	2,57	85,6
150 г/м ² , глянц.	1,36	1,57	2,92	97,5
200 г/м ² , крейд.	0,86	1,57	2,43	80,9

Представлені результати аналізу профілограм демонструє точність відтворення тону на відбитках різного виду паперу.

Результати досліджень

Підбиваючи підсумки проведеної дослідницької роботи можна зупинитись на двох моментах.

1. Денситометричні дослідження, проведені за допомогою спектрофотометра хоч, і є широко застосовними в друкарській практиці за рахунок того, що легко піддаються автоматизації процесу вимірювання оптичної щільності відбитка відносних площ растрових елементів, однак у порівнянні з іншими двома способами, що дали кількісні характеристики розтискування, є менш інформативним. Однак схожість результатів вимірюваних коефіцієнтів відображення підтвердила досить високу точність вимірювання за допомогою сканера.

2. Порівнюючи метод вимірювання розтискування із застосуванням штрихових модельних відбитків з методом аналізу профілограм, можна помітити, що другий метод більш наочний і показує не тільки зміну рівня тону відбитка підрахунку через механічне збільшення розміру растрового елемента, але й вплив неоднорідності паперу, що задруковується, на якість відбитка, хоч і є менш точним.

Висновки

У роботі описано методи дослідження відбитків, отриманих способом електрофотографічного друку, для визначення впливу різних параметрів паперу, що друкуються на величину посилення тону. Здійснене порівняння методів вимірювання посилення тону відбитків, отриманих на машинах електрофотографічного способу друку, для складання рекомендацій щодо їх використання у поліграфічній практиці. Представлено складну взаємодію між фізико-хімічними властивостями паперу та якістю відтворення зображення в процесі електрофотографічною технологією. Зосереджено увагу на явищі посилення тону, досліджуючи, як саме характеристики поверхні матеріалу, на якому друкують, впливають на стабільність растрових елементів. У роботі проводиться критичне порівняння традиційних інструментальних методів контролю: спектрофотометричного аналізу, що забезпечує точність колориметричних даних, та сканування, яке дозволяє оцінювати загальну площину відбитка, проте має свої обмеження. Особливу наукову цінність становить розгляд інноваційного методу побудови профілограм модельних відбитків, що пропонується як перспективний інструмент для глибинного аналізу мікроструктури друку, дозволяючи не лише фіксувати відхилення тону, а й прогнозувати якість відтворення зображення на етапі додрукарської підготовки.

Доведено, що використання профілограм дозволяє отримати більш точну оцінку структури відбитка порівняно з класичними способами контролю, що відкриває нові можливості для прогнозування якості друку на етапі підготовки виробництва.

Список літератури.

1. Гоков, О.М. (2009). Технічне забезпечення видавничих систем. Харків: Вид. ХНЕУ. ISBN 978-966-676-334-4.
2. Кохановський, В.О. (2008). Вимірювальні прилади в поліграфічному процесі. К.: НТУУ «КПІ»
3. Дудяк, В.О. та інші. (2009). Властивості світлочутливих систем та технологій фоторесстраційних процесів. Навчально-методичний посібник.
4. Максимяк, П.П. (2022). Основи репрографії: конспект лекцій. https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3590/Конспект_Основи_Репрографії_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД.
6. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2005). Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, устаткування: навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ.
7. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2007). Цифровий оперативний друк: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ.
8. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
9. Пушкар, О.І., Андрущенко, Т.Ю., Бережна, О.Б., та ін. (2011). Комп'ютеризовані системи і технології видавничо-поліграфічних виробництв: монографія. Харків: ІНЖЕК.
10. Коц, Г.П., & Бондар, І.О. (2015). Етапи методики розробки поліграфічного web-додатка. Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії. (с. 71).
11. Коц, Г.П., & Бондар, І.О. (2015). Методика розробки web-додатку для прийому замовлень оперативної поліграфії. Інформаційні технології та захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах: монографія. (с. 395-408). Харків: Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс».
12. Zhou, Y.M., Rong, X.Y., & Jiang, Z.M. (2013). Experimental Study of Digital Printing Methods for Producing Personalized Packaging. *Applied Mechanics and Materials*, 262, 217-222.
13. Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006.
14. Chebotarova, I., Chebotarov, R., Manakov, V., Vovk, O., Mendieliava, M., & Trunova, T. (2025). Using the Delphi Method for Expert Evaluation of Digital Images by Lightness. 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2025. (p. 55-58). DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185761>.
15. Vovk, O.V., Chebotarova, I.B., Donskiy, D.O., & Chebotarov, R.I. (2025) Methods for improving print quality for Konica Minolta 6085 digital printing press. *Metrology and Instruments*, (2), 82-91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2025.2.11>.
16. Вовк, О.В. (2022). Організація виробничого процесу на поліграфічному підприємстві «Формат-Харків». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія. (с. 5-36). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».
17. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Поленок, Д.В. (2022). Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «НАРГУС». *Radiotekhnika*, (209), 226-238. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.2.209.23>.
18. Чеботарьова, І.Б., & Манаков, В.П. (2021). Дослідження засобів та методів управління якістю на підприємстві «БУРУНІН І К». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: монографія. (с. 164-188). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».
19. Чеботарьова, І.Б., & Яценко, Л.О. (2023). Особливості кольоровідтворення на фабриці флексографського друку «НАРГУС». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія. (с. 233-260). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».