

УДК 655.3.022.14+366.64

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ МАГНІТНИХ ДОМІШОК У ДРУКАРСЬКИХ ФАРБАХ НА ЯКІСТЬ ШТРИХКОДІВ

К. Ф. Базилюк, С. Р. Ладик, О. Д. Конюхов

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Розглянуто питання удосконалення якості маркування продукції штриховими кодами з використанням фарб з магнітними властивостями. Проведено аналіз геометричних параметрів друкування штрихкодів на картонах і паперах офсетним способом відповідно до стандарту ISO/IEC 13360: 2001 із застосуванням фарб з магнітними домішками на основі оксиду нікелю.

У процесі дослідження отримано експериментальні дані, що відображають якісні характеристики ліній штрихкодів, одержаних при різних величинах вмісту магнітних домішок у фарбах.

На основі проведеного аналізу встановлено, що краща якість ліній штрихкодів досягається при меншому відсотковому вмісті магнітних домішок у друкарській фарбі, а для забезпечення належної якості ліній штрихкодів необхідно, щоб вміст магнітних домішок на основі оксиду нікелю не перевищував 1,5 %.

Отримані результати дають змогу вирішити завдання удосконалення поліграфічної технології маркування продукції штриховими кодами шляхом оптимізації вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах та забезпечити стандартні вимоги до геометричних параметрів і оптичних показників штрихових кодів.

Ключові слова: *процес друкування, штрихові коди, фарби з магнітними властивостями, якість, математична модель, геометричні параметри штрихкодів.*

Постановка проблеми. Застосування технологій штрихкодowego маркування та автоматичної ідентифікації забезпечує можливість вітчизняних товаровиробників працювати за єдиними світовими стандартами. Якісне відображення елементів штрихових кодів на відбитку та правильність зчитування інформації захищають інтереси не тільки виробників товарів, а й покупців від придбання фальсифікованої продукції. Тому процеси якісного відтворення штрихових кодів, які залежать від особливостей друкування, є надзвичайно актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження, пов'язані з теоретичними та практичними засадами удосконалення технології друкування штрихкодів з метою досягнення найбільш якісного відображення на матеріалах, різних за своєю природою і структурою, відомі у працях таких вчених, як С. Ф. Гавенко, І. І. Конюхова, Р. В. Рибка, О. Д. Конюхов та інші.

Останні напрацювання з цієї тематики присвячені дослідженню якості надрукованих штрихкодів та їх стійкості до стирання [1], технологічним особливостям

друкування штрихкодів фарбами з магнітними властивостями [2], визначенню параметрів якості надрукованих штрихкодів [3], електронно-мікроскопічним дослідженням офсетних відбитків штрихових кодів, надрукованих фарбами з магнітними властивостями [4].

Вагомий внесок у дослідження сучасних поліграфічних технологій, зокрема явищ змочування, фарбоперенесення в друкарських процесах, фрактальної структури і морфології поверхні субстратів, оцінювання якості відбитків, захисту продукції від підробки, зробили такі українські та закордонні науковці, як О. М. Величко, М. І. Верхола, Б. В. Дерягін, Т. Ю. Киричок, О. Д. Клімова, Л. А. Козаровіцький, М. Й. Кулак, М. М. Луцків, Р. Є. Ребіндер, В. М. Сеньківський, Я. І. Чехман, В. В. Шибанов, К. Stepień, J. Sumanek, S. Jakuciewicz та інші.

Мета статті — аналіз та моделювання параметрів якості відтворення штрихових кодів на картонах і паперах відповідно до стандарту ISO/IEC 13360: 2001 із застосуванням друкарських фарб з магнітними властивостями.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні всебічно впроваджується електронна система автоматизованої ідентифікації товарів, маркованих штриховими кодами. Водночас широко використовується поліграфічна технологія друкування штрихкодів офсетним способом на картонах і паперах із застосуванням фарб.

У цих умовах виникає необхідність вирішення актуальної проблеми теоретичного обґрунтування і практичної реалізації процесу друкування штрихових кодів офсетним способом, зокрема, удосконалення поліграфічної технології маркування продукції штриховими кодами шляхом розроблення фарб з магнітними властивостями.

Переважаюча більшість товарів розвинутих країн сьогодні маркуються 13-значним штрихкодом EAN. Міжнародна система кодування товарів EAN (European Article Number) була запроваджена у 1977 р. і походить від американської системи кодування товарів UPC (Universal Product Code) 1973 року. Обидві системи кодування було формально об'єднано 1990 року шляхом створення міжнародної організації всесвітніх стандартів під назвою GS1.

Міжнародна неприбуткова організація GS1 узгоджує політику всесвітньої товарної нумерації та відповідальна за унікальність ідентифікаційних номерів (штрихкодів). Асоціація Товарної Нумерації України «ДжіЕс1 Україна» є членом Міжнародної організації GS1 та її офіційним представником в Україні.

Систему GS1, зокрема штрихове кодування, визначають як спільну всесвітню мову торгових взаємовідносин у будь-якій галузі та будь-якій країні. Проте штрихові коди мають бути надруковані якісно, відповідно до заданого стандарту, а також згідно з рекомендаціями галузевої організації чи асоціації. Якість штрихових кодів має важливе значення, оскільки від точності їх відтворення на відбитку залежить правильна ідентифікації та верифікація інформації.

В Україні штрихові коди на споживчих товарах мають відповідати вимогам ДСТУ 3147-95, ДСТУ 3359 і Загальним специфікаціям GS1 [5]. Державні та міжнародні стандарти (специфікації штрихкодів символік і керівні документи з якості друку) є загальним керівним органом для процесів друку і зчитування штрихових кодів.

Система GS1 передбачає використання декількох штрихкодів символік, кожна з яких має свої технічні обмеження, а отже, і правила застосування. Будь-які товари, призначені для роздрібного продажу, маркуються тільки штриховими кодами символіки EAN/UPC. До символіки EAN/UPC належать штрихові коди EAN-13, EAN-8, UPC, а також дво- та п'ятизначні «розширення», які використовуються для кодування додаткової інформації під час маркування книжок та періодичних видань. Ця символіка дає змогу кодувати тільки цифри.

Проведено аналіз якості друкування штрихкодів офсетним способом на картонах і паперах відповідно до стандарту ISO/IEC 13360: 2001 із застосуванням фарб (патент України на корисну модель №UA105037U) з різним вмістом магнітних домішок на основі оксиду нікелю.

Штрихові коди типу EAN виконані переважно з серії ліній, які є їх важливим геометричним елементом. Вимірювання основних параметрів якості лінії штрихів були проведені за методикою ANSI з використанням пристрою IAS (QEA), який дає змогу вимірювати параметри лінії відповідно до ISO/IEC 13360:2001 (ширину, розмитість, рівномірність країв лінії та її контрастність). Для того щоб отримати порівняльні значення цього параметра, стандарт ISO вводить поняття динамічного порога. Динамічний поріг розраховується для кожного вимірювання на основі здатності відбивання світла картоном чи папером (R_{max}) і лінією (R_{min}). Основою для оцінки якості символу штрихового коду є детальний аналіз т. зв. профілю коефіцієнта відбиття променя сканування. Цей профіль — графік відбиття світла (визначається у %) від штрихового коду, залежно від лінійної відстані по символу. Наприклад, 50 % буде перетинати поріг динамічної кривої відбивання світла точно навпіл між R_{min} і R_{max} .

Ширина лінії (W , мкм) — це відстань між краями кривої профілю відбиваючої здатності світла в точці 60 % (рис. 1а).

Розмитість лінії (B , мкм) — це параметр, який визначає ширину перехідної зони відбивання R_{max} до R_{min} (від фону (підкладки) паперу до лінії). Ідеальна лінія не має розмитості та є ідеально чіткою. Фактична лінія — плавний перехід від R_{max} до R_{min} . Розмитість лінії визначається як відстань між порогами 10 і 90 % для кожного ребра (рис. 1б).

Нерівномірність країв лінії (R , мкм) визначається як стандартне відхилення залишку ліній зображення за межами 60 % порога відбиваючої лінії (рис. 1в).

Контраст (K) — параметр, який показує залежність між коефіцієнтами відбивання світла папером (R_{max}) і лінією (R_{min}):

$$K_L = \frac{R_{max} - R_{min}}{R_{max}}.$$

Аналіз геометричних параметрів штрихових кодів — ширини, нерівномірності та розмитості лінії штриха — показав [6], що найменші спотворення геометричних параметрів мають штрихові коди, надруковані на картоні Normprint GD-3 і папері UPM Raflatac/PEFC Vellum.

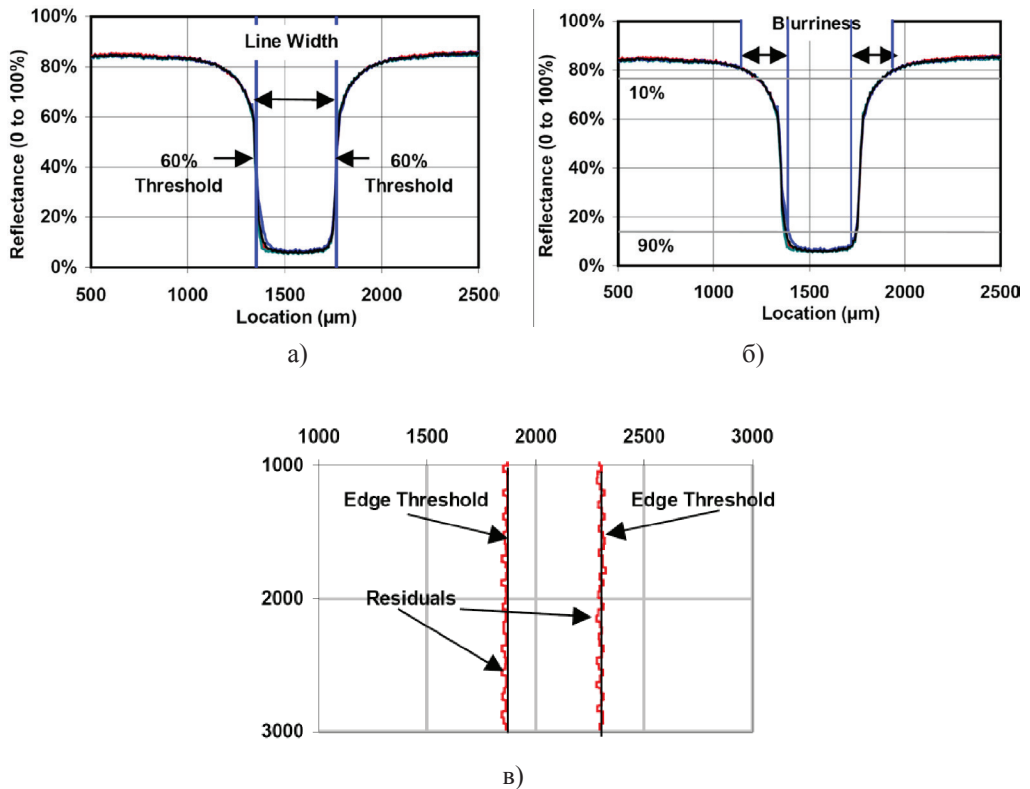


Рис. 1. Схеми вимірювання параметрів якості лінії:
 а) — ширина; б) — розмитість; в) — нерівномірність країв лінії
 (edge threshold — поріг краю, residual — залишковий)

Також досліджувався вплив вмісту магнітних домішок оксиду нікелю у фарбах, що використовувались під час друку штрихкодів, на якість ліній цих штрихкодів. Відповідні розрахунки виконувались з використанням програмного комплексу для проведення статистичного аналізу Statistica 10.

Початково для вибору відповідних методів аналізу якості ліній штрихкодів було перевірено розподіли експериментальних даних. Для перевірки нормальності використано критерій Шапіро-Уїлка, який вважається одним з найефективніших критеріїв [7]. Цей критерій, як і багато інших, що визначають нормальність вибірки, є окремим випадком критеріїв згоди. Критерій ґрунтується на оптимальній лінійній незміщеній оцінці дисперсії до її звичайної оцінки методом максимальної правдоподібності. У результаті перевірки нормальності виявлено, що дані параметрів штрихових кодів — ширина, нерівномірність та розмитість лінії штриха — не відповідають нормальному розподілу (рис. 2), оскільки, згідно з критерієм Шапіро-Уїлка, якщо значення p менше 0,05, то відкидається нульова гіпотеза про те, що дані походять із нормально розподіленої сукупності.

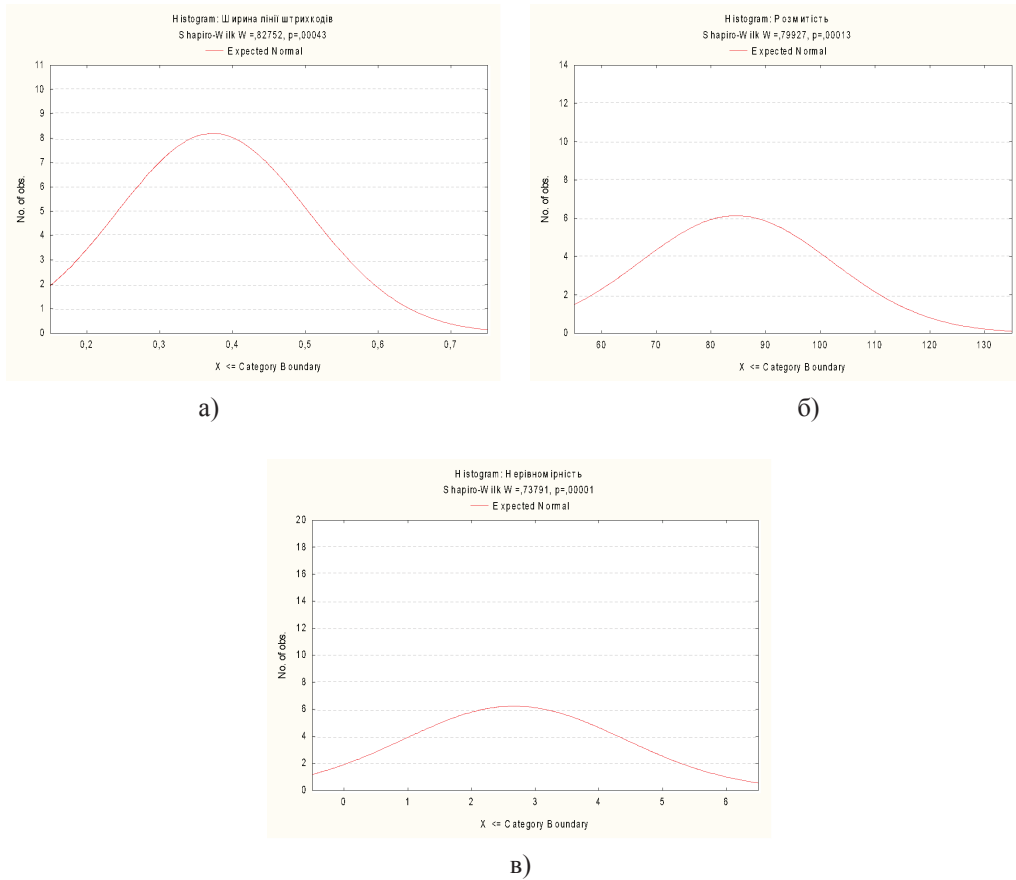


Рис. 2. Гістограми розподілів параметрів якості штрихових кодів і значеннями критерію Шапіро-Уїлка:

а) — ширини штриха;

б) — розмитості лінії штриха; в) — нерівномірності країв лінії

Залежність якості ліній штрихкодів від відсоткового вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах була досліджена за допомогою кореляційного та регресійного аналізів. У процесі регресійного аналізу результати отримано шляхом обчислення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, який використовують для даних, чий розподіл відрізняється від нормального. Між усіма параметрами штрихових кодів — шириною, нерівномірністю та розмитістю лінії штриха — виявлено дуже високу щільність зв'язку ($r > 0,9$), при чому ці результати є достовірними ($p < 0,05$).

Розраховані коефіцієнти кореляції (рис. 3) показують, що при зростанні відсоткового вмісту магнітних домішок у фарбі монотонно зростає кожен з досліджуваних параметрів (ширина лінії штрихових кодів, розмитість лінії штрихових кодів та нерівномірність зовнішніх країв лінії штрихових кодів).

Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet1)				
MD pairwise deleted				
Marked correlations are significant at $p < .05000$				
Variable	Вміст МД%	Ширина лінії штрихкодів	Розмитість	Нерівномірність
Вміст МД%	1,000000	0,982985	0,994030	0,986667
Ширина лінії штрихкодів	0,982985	1,000000	0,993284	0,990232
Розмитість	0,994030	0,993284	1,000000	0,996947
Нерівномірність	0,986667	0,990232	0,996947	1,000000

Рис. 3. Результати кореляційного аналізу даних (коефіцієнти рангової кореляції Спірмена)

Результати кореляційного аналізу свідчать, що ознаки монотонно пов'язані між собою, хоча це не означає, що відношення між ними лінійні. Наявність нелінійного відношення між ознаками підтверджують побудовані графіки залежностей (рис. 4).

Аналіз цих графіків підтверджує, що розмитість лінії штрихових кодів та нерівномірність зовнішніх країв лінії штрихових кодів є найменшими, коли вміст магнітних домішок на основі оксиду нікелю не перевищує 1,5 %.

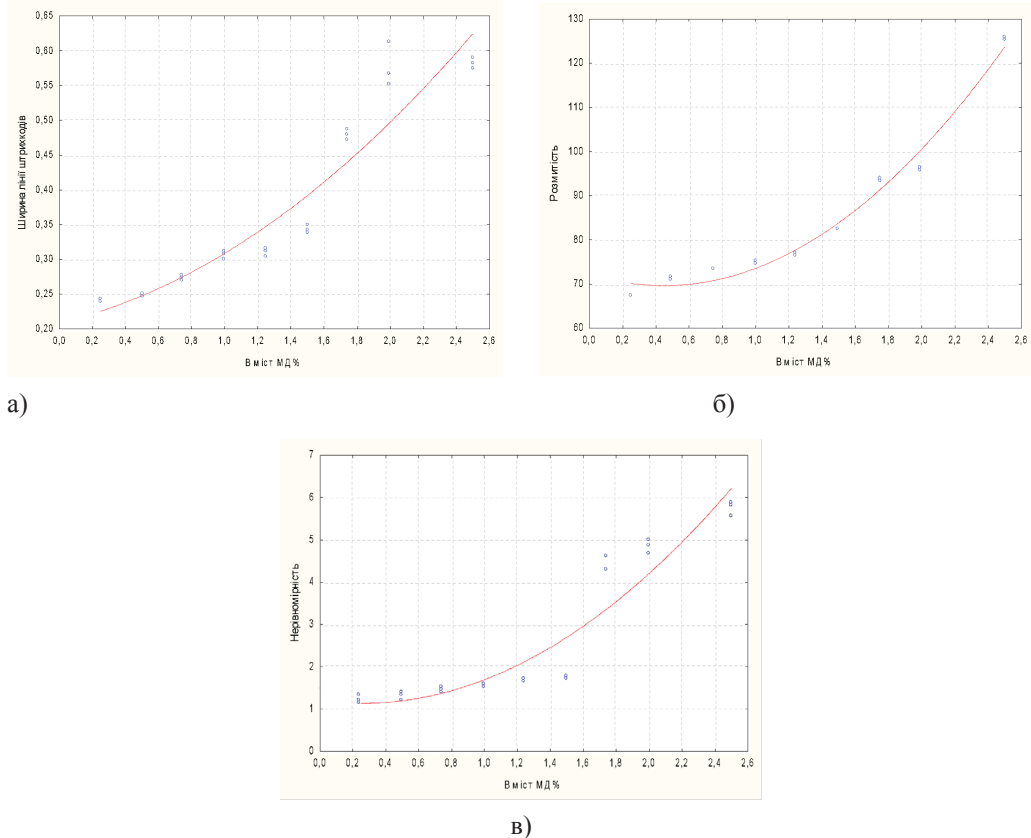


Рис. 4. Графіки залежності параметрів якості штрихових кодів від відсоткового вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах:

а) — ширини штриха; б) — розмитості лінії штриха; в) — нерівномірності країв лінії

Кореляційний аналіз даних свідчить про високу щільність зв'язку між параметрами. Аналіз попередньо наведених графіків дає змогу припустити, що досліджувані зв'язки мають поліноміальний характер. Використовуючи можливості модуля Nonlinear Estimation пакета Statistica 10, підтверджено цю гіпотезу й отримано поліноміальні залежності параметрів якості ліній штрихкодів від відсоткового вмісту магнітних домішок у фарбі:

$$\begin{aligned}B &= 1.1996 - 0.5126 \cdot X + 1.0069 \cdot X^2; \\R &= 72.2521 - 11.5843 \cdot X + 12.8651 \cdot X^2; \\S &= 0.2087 - 0.0556 \cdot X + 0.4442 \cdot X^2,\end{aligned}$$

де B — розмитість лінії штрихових кодів, R — нерівномірність зовнішніх країв лінії штрихових кодів, S — ширина штриха, X — відсотковий вміст магнітних домішок у фарбі. Для кожної з побудованих математичних моделей розраховано коефіцієнт множинної кореляції (0.938, 0.990 і 0.951 відповідно), який є оцінкою близькості математичної форми зв'язку до вибіркового даних.

Отримані рівняння регресії дають змогу розрахувати параметри якості ліній штрихкодів відповідно до відсоткового вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах.

Висновки. Проведені дослідження мають важливе практичне значення. Отримані результати дають змогу вирішити завдання удосконалення поліграфічної технології маркування продукції штриховими кодами шляхом оптимізації вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах. У результаті проведеного аналізу доведено, що краща якість ліній штрихкодів досягається при меншому відсотковому вмісті магнітних домішок у друкарській фарбі, а для забезпечення належної якості ліній штрихкодів необхідно, щоб вміст магнітних домішок на основі оксиду нікелю не перевищував 1,5 %.

Оптимізація вмісту магнітних домішок у друкарських фарбах дає змогу забезпечити стандартні вимоги до геометричних параметрів та оптичних показників штрихових кодів та сприяє покращенню якості поліграфічної технології маркування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гавенко С. Ф., Конюхов О. Д., Рибка Р. В. Дослідження якості надрукованих штрих-кодів та їх стійкості до стирання. Квалілогія книги. 2015. № 1 (27). С. 19–25.
2. Гавенко С. Ф., Конюхова І. І., Конюхов О. Д. Технологічні особливості друкування штрихкодів фарбами з магнітними властивостями. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 17–19 жовтня 2018 р.). Львів: ТзОВ «Лавіс», 2018. С. 15–17.
3. Конюхов О. Д. Визначення параметрів якості надрукованих штрих-кодів. Квалілогія книги. 2016. № 1 (29). С. 64–70.
4. Конюхов О. Д., Гавенко С. Ф. Електронно-мікроскопічні дослідження офсетних відбитків штрихових кодів, надрукованих фарбами з магнітними властивостями. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2019. № 1 (58). С. 20–27.
5. GS1 General Specifications (January 2007 – Version 7.1).

6. Конюхов О. Д. Удосконалення поліграфічної технології маркування продукції штриховими кодами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.01 «Машини і процеси поліграфічного виробництва». Львів, 2019. 23 с.
7. Боровиков В. П. Статистика: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. Санкт-Петербург, 2011. 656 с.

REFERENCES

1. Havenko, S. F., Koniukhov, O. D., & Rybka, R. V. (2015). Doslidzhennia yakosti nadrukovanykh shtrykh-kodiv ta yikh stiikosti do styrannia: Kvalilohiia knyhy, 1 (27), 19–25 (in Ukrainian).
2. Havenko, S. F., Koniukhova, I. I., & Koniukhov, O. D. (2018). Tekhnolohichni osoblyvosti drukuvannia shtrykhkodiv farbamy z mahnitnymy vlastyvostiamy. Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnologii : materialy III Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Lviv, 17–19 zhovtnia 2018 r.). Lviv : TzOV «Lavis», 15–17 (in Ukrainian).
3. Koniukhov, O. D. (2016). Vyznachennia parametriv yakosti nadrukovanykh shtrykh-kodiv: Kvalilohiia knyhy, 1 (29), 64–70 (in Ukrainian).
4. Koniukhov, O. D., & Havenko, S. F. (2019). Elektronno-mikroskopichni doslidzhennia ofsetnykh vidbytkiv shtrykhovykh kodiv, nadrukovanykh farbamy z mahnitnymy vlastyvostiamy: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1 (58), 20–27 (in Ukrainian).
5. GS1 General Specifications (January 2007 – Version 7.1) (in English).
6. Koniukhov, O. D. (2019). Udoskonalennia polihrafichnoi tekhnolohii markuvannia produktsii shtrykhovymy kodamy : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.05.01 «Mashyny i protsesy polihrafichnoho vyrobnytstva». Lviv (in Ukrainian).
7. Borovikov, V. P. (2011). Statistika: isskustvo analiza dannyh na komp'yutere. Dlja proffesionalov. Sankt-Peterburg (in Russian).

doi: 10.32403/1998-6912-2020-1-60-89-97

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF MAGNETIC IMPURITIES IN PRINTING INKS ON THE QUALITY OF BARCODES

K. F. Bazyliuk, S. R. Ladyk, O. D. Konyukhov

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

The article considers the issue of improving the quality of product labelling with bar codes using inks with magnetic properties. The analysis of geometrical parameters of barcode printing on cardboards and papers by offset method in accordance with the standard ISO / IEC 13360: 2001 with the use of inks with magnetic impurities based on Nickel oxide.

In the course of the research, the experimental data reflecting qualitative characteristics of the lines of the barcodes constructed at various sizes of the maintenance

of magnetic impurity in inks are received. The evaluation of barcode quality has been carried out according to the ANSI method using the IAS (QEA) device, which allows one to determine three parameters of line quality: width, blur, uniformity of line edges.

The correlation and regression analysis of experimental data has been performed using the Statistica 10 package. The analysis has revealed that the values of each of the quality parameters are strongly correlated with the percentage of impurities in the ink, and with increasing, this content monotonically increases the value of the corresponding quality parameter. Since the analysis of experimental data has revealed that their distribution does not correspond to normal, Spearman's rank correlation coefficient has been used for the correlation analysis.

Using the Nonlinear Estimation module of the Statistica 10 package, regression models have been constructed for each of the studied quality parameters. The study has revealed the polynomial nature of the dependence of each of the parameters on the percentage of magnetic impurities in the ink. Multiple correlation coefficients have been calculated to confirm the closeness of the mathematical form of the relationship to the experimental data.

Based on the analysis, it has been established that the best quality of barcode lines is achieved with a lower percentage of magnetic impurities in the printing ink, and to ensure the proper quality of barcode lines it is necessary that the content of magnetic impurities based on Nickel oxide does not exceed 1.5%.

The obtained results allow one to solve the problem of improving the printing technology for marking products with bar codes by optimizing the content of magnetic impurities in printing inks and to provide standard requirements for geometric parameters and optical parameters of bar codes.

Keywords: *printing process, bar codes, inks with magnetic properties, quality, mathematical model, geometric parameters of bar codes.*

Стаття надійшла до редакції 03.02.2020.

Received 03.02.2020.