

УДК 655.3.022.6+366.64

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ШТРИХОВИХ КОДІВ

С. Ф. Гавенко, О. Д. Конюхов, І. І. Конюхова, К. Ф. Базилюк

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

*Наведено результати оптимізації процесу оцінювання якості штрихових кодів, надрукованих фарбами з магнітними властивостями. Серед кваліметричних показників якості, за якими оцінюють лінії штрихових кодів (ширина лінії штрихових кодів, розмитість лінії штрихових кодів та нерівномірність зовнішніх країв лінії штрихових кодів), які визначають правильність їх верифікації, є точність відтворення штрихів і проміжків, які містять необхідну закодовану інформацію. Дослідження показали, що на якість друкування штрихових кодів, що виконані друкарськими фарбами з магнітними властивостями, які містять наночастинки оксиду нікелю, впливає відсотковий вміст магнітних домішок. Аналіз нормальності розподілу експериментальних даних оцінювали за критерієм Шапіро-Уїлка та встановлено взаємозв'язок відсоткового вмісту магнітних домішок та нерівномірності лінії штрихових кодів; взаємозв'язок нерівномірності лінії та ширини лінії штрихових кодів і взаємозв'язок ширини лінії і розмитості лінії штрихових кодів. Взаємозв'язок між ознаками визначали за коефіцієнтами рангової кореляції Спірмена. Побудовані графіки демонструють наявність поліноміальної залежності між відповідними ознаками. Використання методу нелінійної регресії для розглянутих залежностей підтверджує цю гіпотезу, оскільки в усіх випадках коефіцієнт множинної кореляції близький до одиниці. Такі результати дали підставу припустити наявність відповідного поліноміального зв'язку між аналізованими ознаками і побудувати тривимірні графіки, що демонструють цю залежність для відповідних ознак.*

**Ключові слова:** оптимізація, штриховий код, друкарська фарба, магнітні властивості, параметри якості.

**Постановка проблеми.** Важливим параметром контролю якості надрукованих штрихових кодів, які визначають правильність їх верифікації, є точність відтворення штрихів і проміжків, які містять необхідну закодовану інформацію. До кваліметричних показників, за якими оцінюють лінії штрихових кодів, належать ширина, щільність, різкість, рівномірність країв тощо.

Надруковані штрихові коди мають визначені стандартом лінійні параметри і допустимі їх відхилення. Під час планування процесу друкування штрихових кодів потрібно звертати увагу на вибір способу друку, вибір матеріалу, який задруковується, характер структури його поверхні, можливість уникнення приросту ширини ліній штрихового коду.

Штриховий код може бути надрукований на різних матеріалах, тому від їх якості буде залежати і якість відтворення штрихів. Спосіб друкування, тип друкуючого пристрою та якість поверхні матеріалу, на який наноситься штриховий код, впливають на допустиму мінімальну ширину нанесеного елемента штрихового коду і можливість відхилення цієї ширини від номінального розміру. Найбільш можливі відхилення геометричних розмірів елементів штрихового коду мають бути меншими від допустимих для цього типу коду за заданої щільності друку [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз наукових публікацій щодо визначення магнітної проникності матеріалів вказує на недостатність досліджень властивостей офсетних друкарських фарб з феромагнітними частинками. Переважно у наукових періодичних виданнях наведено результати дослідження магнітної проникності вакууму за наявності електромагнітного поля [2] та визначення магнітної проникності феромагнетиків при силовому впливі імпульсних магнітних полів [3].

Наявність магнітних властивостей розроблених фарб з доданими наночастинками оксиду нікелю для друкування штрихових кодів характеризували магнітною проникністю матеріалу, в якому магнітна індукція лінійно залежить від напруженості магнітного поля [4–6]. Магнітна проникність друкарської фарби з домішками оксиду нікелю залежить від їх вмісту, а саме пропорційно спадає або зростає від співвідношення фарби і магнітних домішок. Друкарська фарба з магнітними домішками вже не просто магнітна, а феромагнітна, отже, що більший шар фарби на поверхні матеріалу, то напрями магнітної індукції частинок домішок можуть бути дезорієнтованими. Магнітна проникність друкарської фарби з домішками оксиду нікелю описується функцією  $F$ , яка залежить від кількості магнітних домішок (%), магнітної проникності домішок та середовища.

**Мета статті** — оптимізація процесу оцінювання якості штрихових кодів, надрукованих фарбами з магнітними властивостями.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для здійснення перевірки закону розподілу даних на нормальність, виявлення помилок введення проводили аналіз самих даних. Аналіз нормальності розподілу експериментальних даних оцінювали за критерієм Шапіро-Уїлка ( $W$ ), який нині є привілейованим критерієм на нормальність, оскільки його властивості переважно мають помітно більшу потужність, ніж властивості альтернативних критеріїв [7]. Ми виявили, що лише дані відсоткового вмісту магнітних домішок мають нормальний розподіл, а решта даних (ширина лінії штрихових кодів, розмитість лінії штрихових кодів та нерівномірність зовнішніх країв лінії штрихових кодів) не є нормально розподіленими (рис. 1–3).

Для визначення залежності між двома або декількома ознаками і встановлення їх взаємного зв'язку використано методи кореляції і регресії.

Взаємозв'язок між ознаками визначали за коефіцієнтами рангової кореляції Спірмена (критичне значення рівня значущості  $p$  приймалося  $<0,05$ ), які використовуються у випадку, коли ознаки не є нормально розподіленими. Між усіма ознаками виявлено наявність дуже сильної кореляції ( $0,9 < r$ ) (табл.).

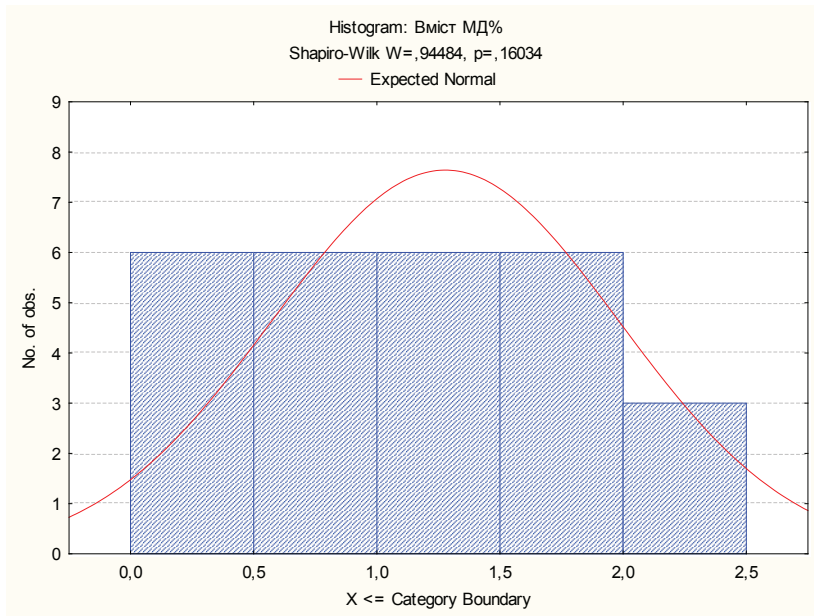


Рис. 1. Взаємозв'язок відсоткового вмісту магнітних домішок та нерівномірності лінії штрихових кодів

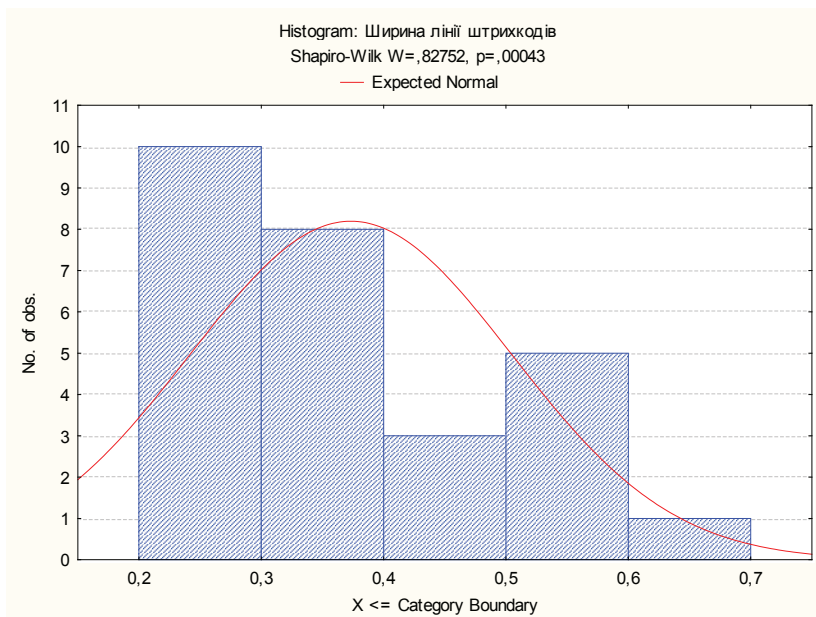


Рис. 2. Взаємозв'язок нерівномірності лінії та ширини лінії штрихових кодів

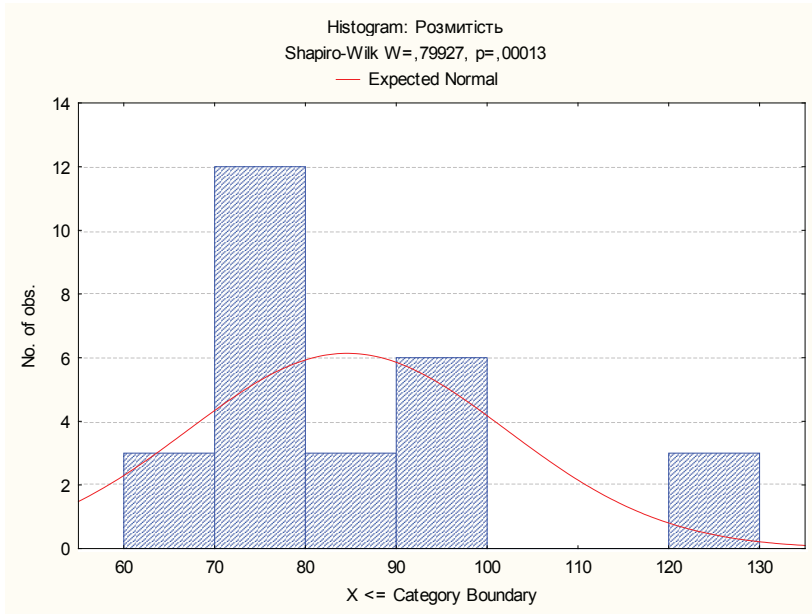


Рис. 3. Взаємозв’язок ширини лінії і розмитості лінії штрихових кодів

Таблиця

| Variable                | Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet1)<br>MD pairwise deleted<br>Marked correlations are significant at $p < .05000$ |                         |            |                 |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|-----------------|
|                         | 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        |

Наведені на рис. 4 і рис. 5 графічні залежності підтверджують кореляційний зв’язок між досліджуваними факторами.



Рис. 4. Вплив відсоткового вмісту магнітних домішок на нерівномірність лінії штрихових кодів

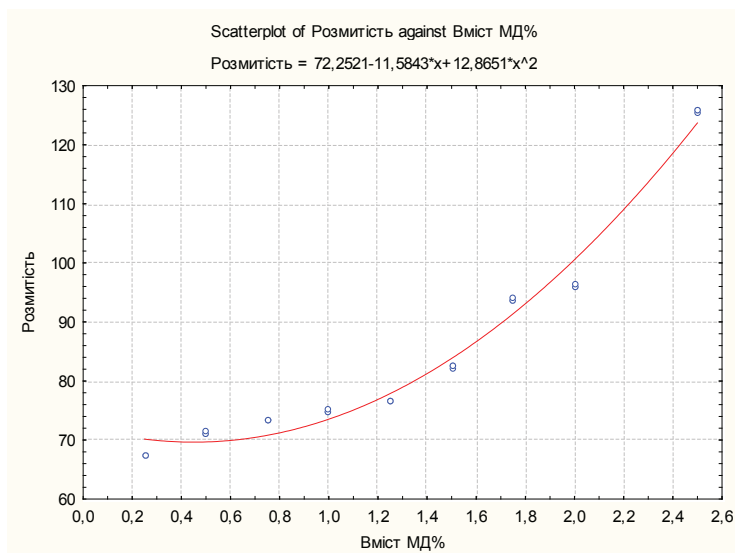
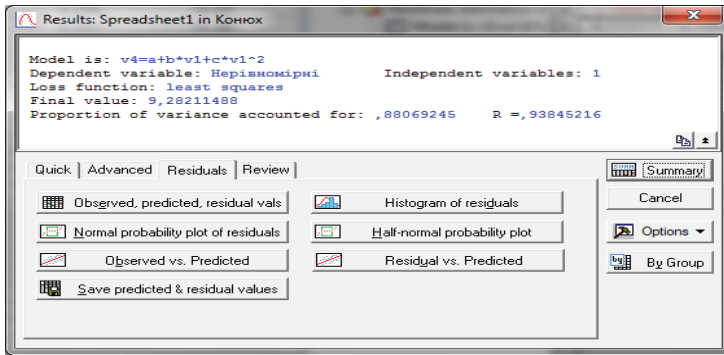
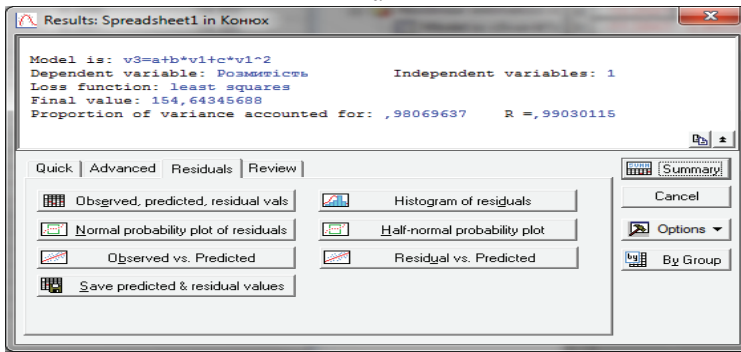


Рис. 5. Вплив відсоткового вмісту магнітних домішок на розмитість лінії штрихових кодів

Графіки демонструють наявність поліноміальної залежності між відповідними ознаками. Використання методу нелінійної регресії для розглянутих залежностей підтверджує цю гіпотезу, оскільки в обох випадках коефіцієнт множинної кореляції близький до одиниці ( $R = 0.938$  і  $R = 0.990$  відповідно). Результати досліджень нерівномірності та розмитості ліній штрихового коду наведені на рис. 6.



а



б

Рис. 6. Результати досліджень нерівномірності (а) та розмитості (б) ліній штрихового коду

Такі результати дають підставу припустити наявність відповідного поліноміального зв'язку між аналізованими ознаками і побудувати тривимірні графіки, що демонструють цю залежність для відповідних ознак (рис. 7–10).

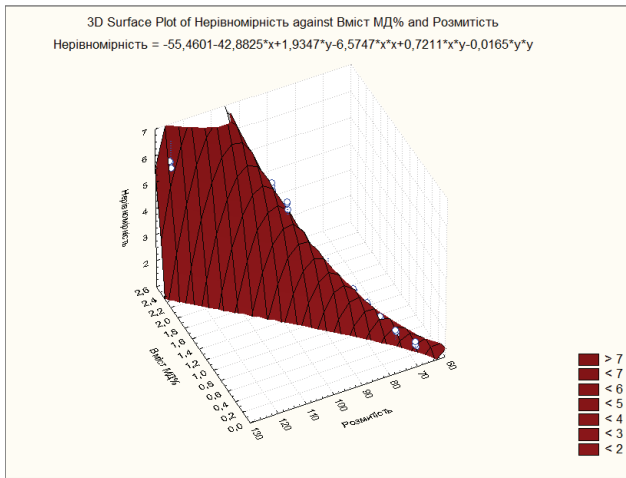


Рис. 7. 3D-діаграма співвідношення відсоткового вмісту магнітних домішок, нерівномірності та розмитості ліній штрихових кодів

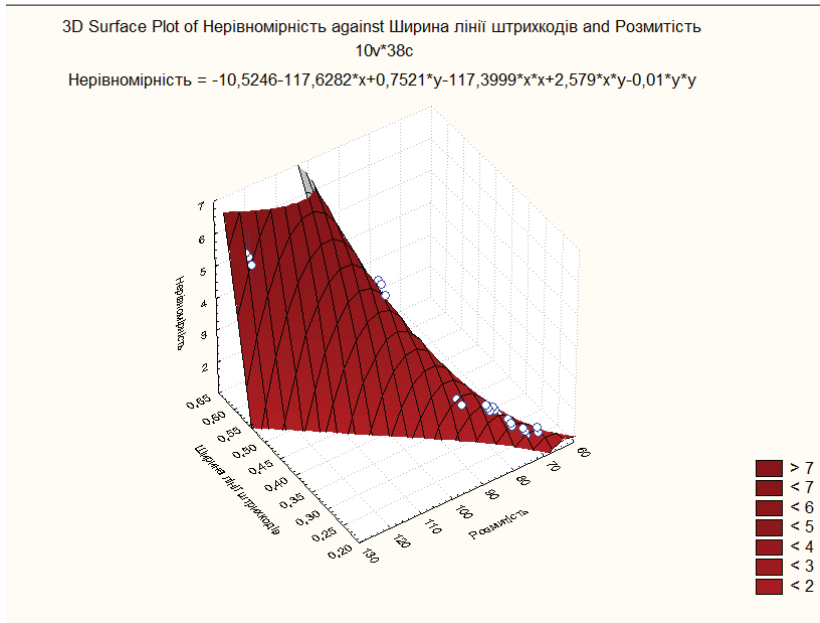


Рис. 8. 3D-діаграма співвідношення нерівномірності, розмитості та ширини ліній штрихових кодів

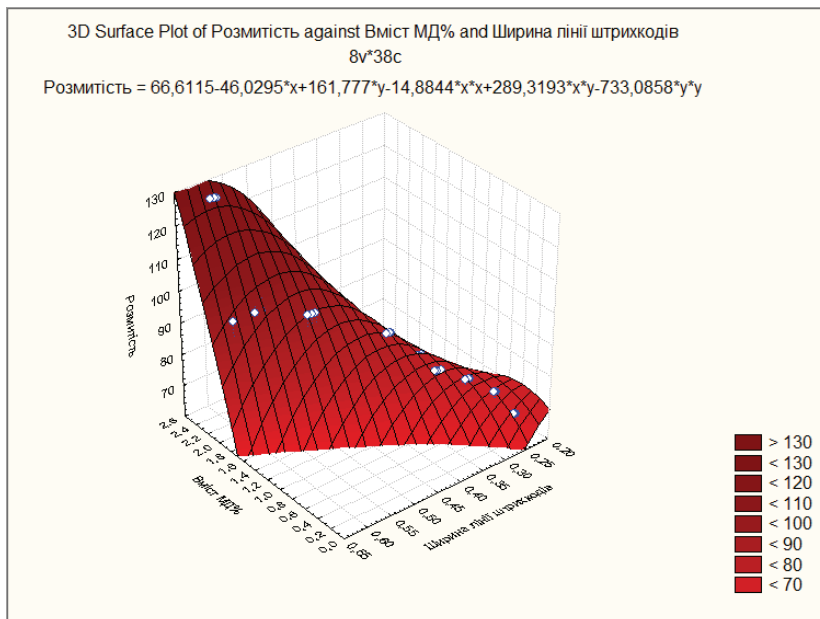


Рис. 9. 3D-діаграма співвідношення відсоткового вмісту магнітних домішок, розмитості та ширини ліній штрихових кодів

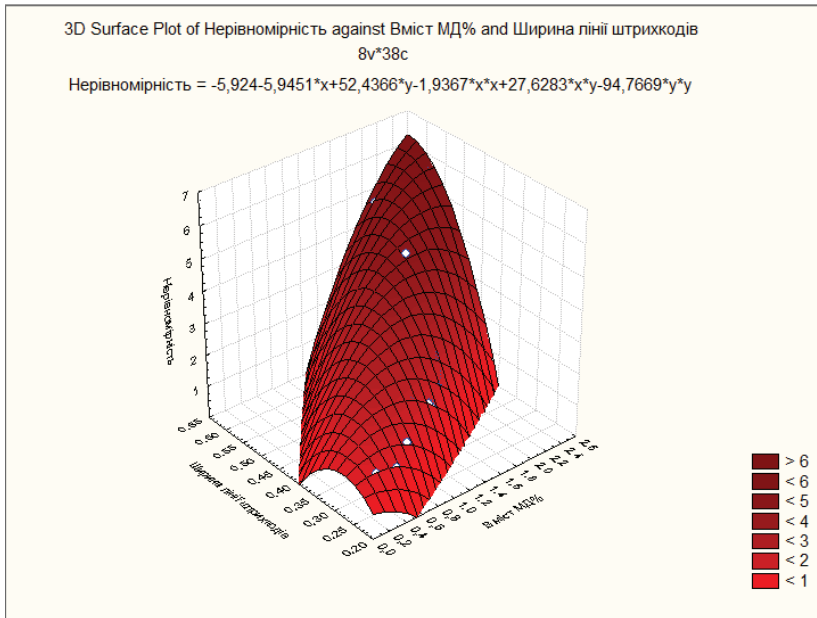


Рис. 10. 3D-діаграма співвідношення відсоткового вмісту магнітних домішок, нерівномірності та ширини ліній штрихових кодів

Графічні залежності описуються відповідними поліноміальними моделями, які показують зв'язки між такими ознаками, як відсотковий вміст магнітних домішок, нерівномірність, розмитість і ширина ліній штрихових кодів.

**Висновки.** Здійснено оптимізацію оцінювання якості штрихових кодів (нерівномірності, контрастності, ширини і розмитості ліній штрихів), надрукованих фарбами з магнітними властивостями з врахуванням вмісту магнітних домішок, їх розмірів та величини магнітної проникності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конюхов О. Д. Визначення параметрів якості надрукованих штрих-кодів. Квалілогія книги. 2016. № 1 (29). С. 64–70.
2. Агоп М. Тензори діелектричної і магнітної проникності вакууму в присутності електромагнітного поля. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2011. № 4. С. 34–42.
3. Магнітне поле в речовині. URL: <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/395> (дата звернення: 10.12.2018).
4. Фарба з магнітними властивостями : патент на корисну модель : UA105037U / Гавенко С. Ф., Конюхов О. Д., Хаджинова С. № u 2015 11787 ; заявл. 30.11.2015 ; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. 2 с.
5. Друкарська фарба з магнітними властивостями : патент на корисну модель : UA105038U / Гавенко С. Ф., Конюхов О. Д., Хаджинова С. № u 2015 11788 ; заявл. 30.11.2015 ; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. 2 с.



6. 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.
7. Korotka V., Havenko S., Bazylyuk K. Optimization of image screen printing process on film biodegradable packaging. Journal of graphic engineering and design. Serbia, Novi Sad : University of Novi Sad, 2017. № 8. Pp. 11–17.

#### REFERENCES

1. Koniukhov, O. D. (2016). Vyznachennia parametriv yakosti nadrukovanykh shtrykh-kodiv: Kvalilohiia knyhy, 1 (29), 64–70 (in Ukrainian).
2. Ahop, M. (2011). Tenzory dielektrychnoi i mahnitnoi pronykhnosti vakuumu v prysutnosti elektromahnitnoho polia: Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 4, 34–42 (in Ukrainian).
3. Mahnitne pole v rechovyni. Retrieved from <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/395> (data zvernennia: 10.12.2018) (in Ukrainian).
4. Havenko, S. F., Koniukhov, O. D., & Khadzhyanova, S. Farba z mahnitnyimi vlastyvostiamy : patent na korysnu model : UA105037U. № u 2015 11787 ; zaiavl. 30.11.2015 ; opubl. 25.02.2016, Biul. № 4. 2 s. (in Ukrainian).
5. Havenko, S. F., Koniukhov, O. D., & Khadzhyanova, S. Drukarska farba z mahnitnyimi vlastyvostiamy : patent na korysnu model : UA105038U. № u 2015 11788 ; zaiavl. 30.11.2015 ; opubl. 25.02.2016, Biul. № 4. 2 s. (in Ukrainian).
6. Koniukhov, O. D., & Havenko, S. F. (2019). Elektronno-mikroskopichni doslidzhennia ofsetnykh vidbytkiv shtrykhovykh kodiv, nadrukovanykh farbamy z mahnitnyimi vlastyvostiamy: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1 (58), 20–27 (in Ukrainian).
7. Korotka, V., Havenko, S., & Bazylyuk, K. (2017). Optimization of image screen printing process on film biodegradable packaging: Journal of graphic engineering and design. Serbia, Novi Sad : University of Novi Sad, 8, 11–17 (in English).

doi: 10.32403/0554-4866-2020-1-79-68-77

#### OPTIMIZATION OF THE BARCODE QUALITY ASSESSMENT PROCESS

S. F. Havenko, O. D. Koniukhov, I. I. Koniukhova, K. F. Bazylyuk

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
asdf1966@meta.ua  
k.bazylyuk@gmail.com*

*The paper presents the results of optimization of the quality assessment process of barcodes printed with inks with magnetic properties. The qualimetric quality indicators used to assess barcode lines (the barcode line width, the barcode line blur and uneven outer edges of barcode lines) that determine the correctness of their verification*

*include the accuracy of reproduction of lines and intervals that contain the necessary encoded information. Studies have shown that the barcode printing quality is affected by the percentage of magnetic impurities in the developed printing inks with magnetic properties, which contain nanoparticles of Nickel oxide. The analysis of the normality of the experimental data distribution has been assessed by the Shapiro-Wilk test and the relationship between the percentage of magnetic impurities and the non-uniformity of the barcode line as well as the relationship between the line non-uniformity and the barcode line width and the relationship between the line width and the barcode line blur have been established. In this study, the relationship between parameters has been determined by Spearman's rank correlation coefficients. The constructed graphs show the presence of a polynomial relationship between the corresponding parameters. The use of the nonlinear regression method for the considered dependencies proves this hypothesis, since in all cases the coefficient of multiple correlation is close to one. These results suggest that there is a corresponding polynomial relationship between the analysed parameters and they help to construct three-dimensional graphs showing this relationship for the relevant parameters.*

**Keywords:** *optimization, barcode, printing ink, magnetic properties, quality parameters.*

*Стаття надійшла до редакції 03.02.2020.*

*Received 03.02.2020.*