

Т.Ю. Киричок, д.т.н., доц.  
О.В. Катрук, асист.  
Н.Л. Талімонова, асист.

*Національний технічний університет України «КПІ»*

### МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ КОЛЬОРУ ЗВОРОТУ ВІДБИТКІВ, ОТРИМАНИХ НА ПАПЕРІ З ВОДЯНИМИ ЗНАКАМИ, З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАПЕРУ ТА ПАРАМЕТРІВ ФАРБИ

*Відмінність структурних характеристик захищеного паперу в зоні водяних знаків може спричинити різну якість поліграфічного відтворення на суміжних ділянках паперового полотна, що може стати причиною відбракування продукції.*

*У результаті досліджень структури захищеного паперу та мікроскопічних досліджень зрізів фарбових відбитків було виявлено, що проникнення як складових компонентів фарби, так і всієї фарбової системи в товщу паперу з водяними знаками є нерівномірним, що призводить до зміни колірності лиця та звороту відбитків. Створення моделі визначення зміну кольору звороту відбитків з урахуванням структурних характеристик паперу та параметрів фарби дозволить виконувати прогнозування якості друку та корегувати норми допуску на показник забруднення при автоматизованому сортуванні банкнот для уникнення вилучення з обігу придатних банкнот.*

*Для вирішення поставленого завдання створення математичної моделі зміни кольору звороту відбитків застосовано метод МГУА, використано програмний продукт GMDH Shell BF 3.8.2. Під час моделювання було враховано основні фактори, що впливають на якість друку, враховано взаємний зв'язок між структурними характеристиками паперу, колірними характеристиками паперу і фарб, кількістю фарби на відбитку, параметрами мікроштрихів та колірними характеристиками звороту відбитку. Адекватність моделі підтверджено статистичними методами за критеріями Стьюдента та Фішера. Розроблена модель визначення зміни кольору звороту відбитків, що виникає внаслідок перебивання фарби, дозволяє уникнути необґрунтованого вилучення з обігу придатних банкнот через помилкову оцінку їх стану як зношених.*

**Ключові слова:** *водяний знак; перебивання фарби; колір, метод групового урахування аргументів.*

**Постановка проблеми.** Технологія виготовлення захищеного паперу має свої особливості, які визначають його структурні та фізико-механічні властивості. Найдавнішим традиційним та надійним методом захисту паперового полотна є застосування водяних знаків, що являють собою малюнки в паперовій масі, видимі на просвіт. Відмінність структурних характеристик захищеного паперу в зоні водяних знаків може спричинити різну якість поліграфічного відтворення на суміжних ділянках паперового полотна, що може стати причиною відбракування продукції. Зокрема, однією з проблем автоматизованого сортування банкнот є необґрунтоване вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове сприйняття лінією контролю явище перебивання фарби на зворот у зоні водяного знаку як забруднення банкноти [4].

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідження структури захищеного паперу виявили, що шорсткість поверхні паперу на ділянках з негативними водяними знаками є більшою, ніж на ділянках без водяних знаків, що впливає на процес перенесення та закріплення фарби [1, 2]. За допомогою проведених мікроскопічних досліджень зрізів фарбових відбитків було виявлено, що проникнення як складових компонентів фарби, так і всієї фарбової системи в товщу паперу з водяними знаками є нерівномірним, що призводить до зміни колірності лиця і звороту відбитків. [3]. Останнє може спричинити необґрунтоване вилучення з обігу придатних банкнот через сприйняття лінією контролю перебивання фарби на зворот як забруднення банкноти [4]. Тому при розробці допусків на колірне відхилення у зоні контролю, необхідно враховувати явище перебивання фарби.

**Постановка завдання. Метою** даної роботи є створення моделі, що визначає зміну кольору звороту відбитків з урахуванням структурних характеристик паперу та параметрів фарби. Це дозволить виконувати прогнозування якості друку та корегувати норми допуску на показник забруднення при автоматизованому сортуванні банкнот для уникнення вилучення з обігу придатних банкнот.

**Викладення основного матеріалу.** В даному дослідженні було використано 9 видів паперу (табл. 1), в тому числі 2 види банкнотного паперу та 5 сумішевих фарб. Фарба наносилась за допомогою лабораторного друкарського приладу IGT Reprotest B.V. C1. Для моделювання колірних відмінностей звороту відбитку, порівняно з кольором незадрукованого паперу ( $\Delta E$ ), враховувалися наступні фактори впливу: оптична густина на просвіт незадрукованого паперу ( $D_{np}$ ); шорсткість незадрукованого паперу

( $R_a$ , мкм); товщина незадрукованого паперу ( $T$ , мкм); відмінність між кольором паперу та кольором фарби ( $\Delta E_{n/f}$ ); кількість нанесеної фарби ( $m$ , г/м<sup>2</sup>). Рівняння цільової функції матиме наступний вигляд:

$$\Delta E = f(D_{np}; R_a; T; \Delta E_{n/f}; m).$$

Таблиця 1

## Характеристики досліджуваного паперу

№ зразка	Назва паперу	Координати кольору			Шорсткість $R_a$ , мкм						Оптична густина на просвіт			Товщина, мкм		
					лицьовий бік			сітковий бік								
		L	a	b	ділянка без ВЗ	ділянка з негатив. ВЗ	ділянка з позитив. ВЗ	ділянка без ВЗ	ділянка з негатив. ВЗ	ділянка з позитив. ВЗ	ділянка без ВЗ	ділянка з негатив. ВЗ	ділянка з Позитив. ВЗ	ділянка без ВЗ	ділянка з негатив. ВЗ	ділянка з позитив. ВЗ
1.	Security lune	92,12	0,46	4,4	1,541	2,883	-	1,906	3,334	-	0,54	0,45	-	0,089	0,073	-
2.	Filidoro laid avorio	94,46	-3,08	11,95	-	2,605	1,328	-	3,208	1,983	-	0,47	0,51	-	0,091	0,104
3.	Chimere la hulpe	95,18	0,85	-2,53	1,115	2,102	-	1,535	2,535	-	0,5	0,45	-	0,086	0,069	-
4.	Ромб	92,58	-0,31	5,31	2,741	3,128	2,057	2,920	3,175	2,317	0,57	0,50	0,64	0,079	0,074	0,088
5.	Офсетний папір № 1	94,18	0,11	-6,38	2,682	-	-	3,227	-	-	0,62	-	-	0,082	-	-
6.	Газетний папір	89,59	0,36	1,30	2,770	-	-	2,770	-	-	0,72	-	-	0,058	-	-
7.	Офсетний папір № 2	95,41	0,1	-6,25	2,403	-	-	2,477	-	-	1,01	-	-	0,171	-	-
8.	Банкнотний одношаровий	92,12	5,42	1,93	3,37	-	-	4,12	-	-	0,78	-	-	0,109	-	-
9.	Банкнотний двошаровий	92,31	5,48	2,01	3,27	-	-	4,87	-	-	0,76	-	-	0,107	-	-

З метою отримання аналітичних залежностей в даний час широко використовують методи математичного та імітаційного моделювання. Дієвими методами математичного моделювання технологічних параметрів є методи евристичної самоорганізації. Сучасним методом, що дозволяє отримати зручні для використання в технологічних розрахунках математичні моделі, є метод групового урахування аргументів (МГУА). Він має значні переваги перед відомими статистичними методами – регресійним аналізом та плануванням експериментів, що використовують при визначенні коефіцієнтів моделі внутрішні критерії якості. На відміну від них, МГУА базуються на застосуванні зовнішніх критеріїв якості, що дозволяє отримати математичну модель оптимальної складності [5, 6].

Для вирішення поставленого завдання створення математичної моделі зміни кольору звороту відбитків застосовано метод МГУА, що є типовим методом індуктивного моделювання і одним з найбільш ефективних способів структурно-параметричної ідентифікації складних об'єктів, процесів і систем. Загальна схема створення моделі з використанням МУВА представлена на рисунку 1. Моделювання створювалось за допомогою програмного продукту GMDH Shell BF 3.8.2.

Для цього застосовано комбінаторний алгоритм, що базується на перебиранні усіх можливих моделей із заданого базису з визначенням найкращих із цих моделей на основі заданого критерію селекції. При підборі моделей їх складність поступово збільшується до максимальної кількості  $n$  (кількість аргументів базисного набору функцій). Таким чином, загальна схема комбінаторного алгоритму містить наступні операції:

- 1) визначення коефіцієнтів всіх окремих моделей при складності  $s = 1, s = 2, \dots, s = n$ , де  $s$  – кількість коефіцієнтів, що оцінюються (за методом найменших квадратів);
- 2) розрахунок значення зовнішнього індивідуального або комбінованого критерію селекції);
- 3) вибір моделі оптимальної складності (обирається за мінімальним значенням критерію).

Комбінаторний алгоритм МГУА базується на методі повної математичної індукції, оскільки не пропускається жоден із можливих варіантів моделі, вказаних у вихідному повному базисі [7, 8].

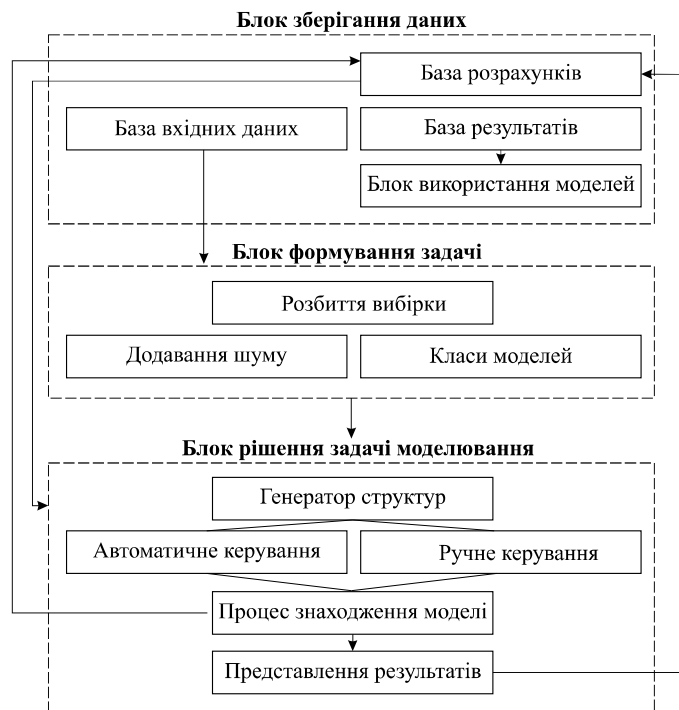


Рис. 1. Побудова моделі з використанням МГУА

Згідно з побудованою схемою використання МГУА, для оцінки параметрів моделі початкова вибірка поділяється на дві частини: навчальну та перевіірочну. Навчальна підвибірка необхідна для отримання коефіцієнтів моделі, а перевіірочна – для оцінки моделей за обраним критерієм оптимальності (прогнозуючих здатностей моделей). Після вибору моделі оптимальної якості існує можливість її перевірки на нових даних, тобто виконати імітаційне моделювання [9].

Загальний вигляд налаштувань системи GMDH Shell BF 3.8.2. у вигляді інтерфейсного вікна наведено на рисунку 2. При виконанні моделювання вибірка початкових даних поділялась з використанням 20 % в екзаменаційній підвибірці.

У результаті використання МГУА для вирішення поставленого завдання отримано модель оптимальної складності з максимальним ступенем 2 без перемноження членів такого вигляду:

$$\begin{aligned} \Delta E = & 189,418 - 2,1006 \cdot \Delta E_{i/\delta} + 2,01339 \cdot m - 1974,52 \cdot D_{i\delta} + 0,0123078 \cdot \Delta E_{i/\delta}^2 - \\ & - 0,192043 \cdot m^2 - 0,884714 \cdot R_a^2 + 539,432 \cdot D_{i\delta}^2 + 136,654 \cdot \delta^2 + 0,664916 \cdot \sin \Delta E_{i/\delta} + \\ & + 0,490147 \cdot \sin m - 0,884714 \cdot \sin R_a + 1589,25 \cdot \sin D_{i\delta}. \end{aligned}$$

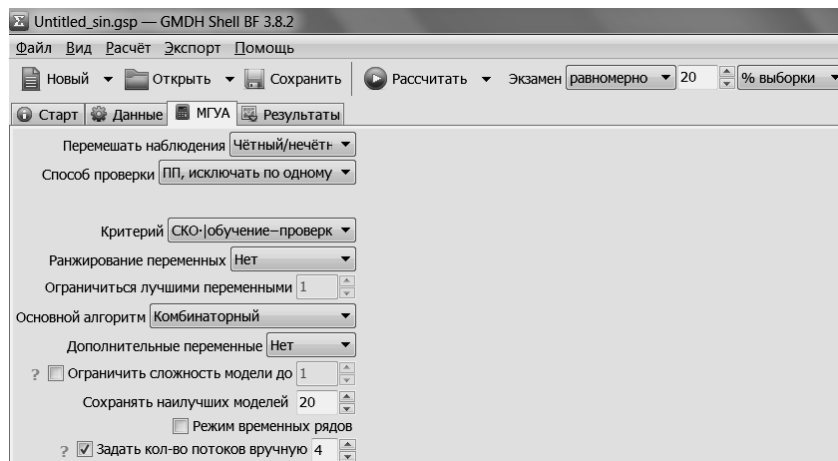


Рис. 2. Загальний вигляд налаштувань програми GMDH Shell BF 3.8.2

На рисунку 3 показано графічні залежності фактичних та змодельованих значень відмінності кольору звороту відбитків від кольору незадрукованого паперу.

Якість отриманої математичної моделі оцінюється наступними характеристиками: середньоквадратичне відхилення (RMSE), що становить 0,943 та 0,820 для навчальної та перевірконої вибірок відповідно; коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) – 0,844 та 0,891; кореляція – 0,919 та 0,952.

Дисперсію та відхилення змодельованих вихідних даних від фактичних представлено на рисунку 4. Перевірка критерію Стьюдента:  $t = 0,411$ ;  $t > t_{st}$  за  $\rho < 0,001$ , що дає змогу зробити висновок про відсутність різниці між масивами фактичних та змодельованих вихідних даних з максимальною надійністю 99,9 %.

Перевірка критерію F-розподілу Фішера:  $F_{д\text{в}\text{д}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{5,831}{4,860} = 1,199$ ;  $F_{крит.} = 1,261$ , оскільки

$F_{розн.} \geq F_{крит.}$ , це свідчить про рівність двох дисперсій та їх належність до однієї генеральної сукупності з ймовірністю 0,95 [10].

Виконана перевірка та підтверджує відповідність критеріям Стьюдента та Фішера масивів фактичних та змодельованих вихідних даних, що свідчить про адекватність отриманої моделі.

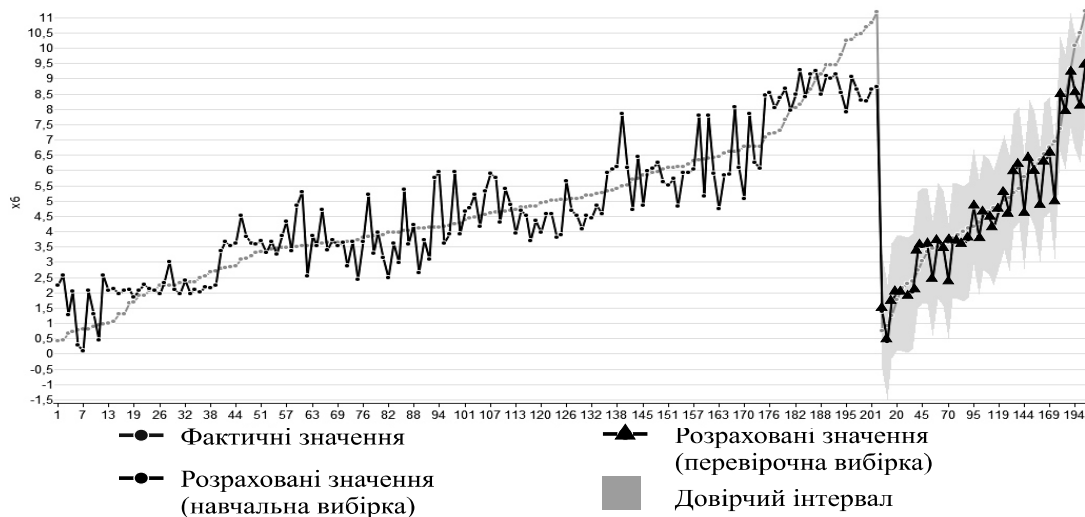


Рис. 3. Графічне представлення фактичних та змодельованих вихідних даних

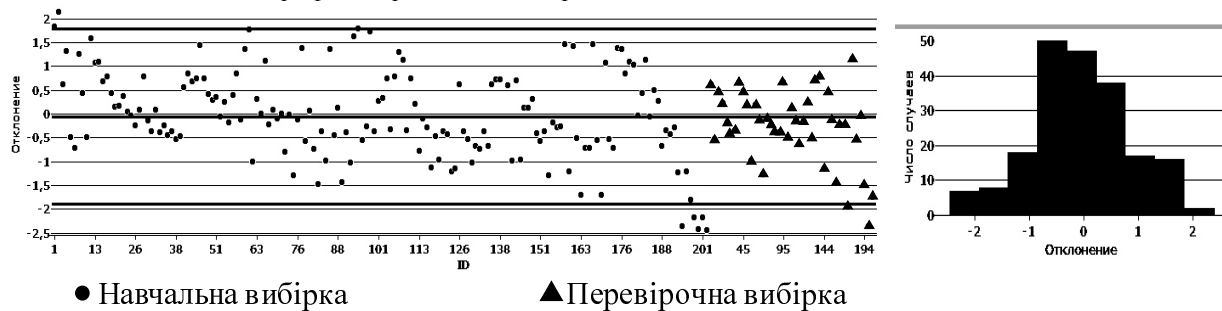


Рис. 4. Відхилення змодельованих вихідних даних від фактичних

За допомогою розробленої моделі визначено зміну кольору на ділянці водяного знаку на банкноті номіналом 50 гривень, що не була в обігу. Показник  $\Delta E$  на ділянці контролю (12×12 мм) склав 0,70 (табл. 2), який розраховувався за формулою:

$$\Delta E_{д\text{в}\text{л.контр.}} = S_{штр.} (\Delta E_1 \cdot s_1 + \Delta E_2 \cdot s_2 + \Delta E_3 \cdot s_3),$$

де  $\Delta E_{1, 2, 3}$  – розраховані за допомогою моделі значення різниці кольору звороту відбитка і паперу для кожної із зон;  $S_{штр.}$  – відносна площа штрихів у зоні контролю;  $s_{1, 2, 3}$  – відносна площа кожної зони)

Таблиця 2

## Параметри ділянки з півноним водяним знаком

Показник	Відмінність між кольором паперу та кольором фарби	Кількість фарби, г/м <sup>2</sup>	Шорсткість незадрукованого паперу, мкм	Оптична густина незадрукованого паперу	Товщина незадрукованого паперу, мм	Відносна площа кожної зони	Відносна площа штрихів у зоні контролю	Відмінність між кольором звороту відбитка та папером (для кожної зони)	Відмінність між кольором звороту відбитка та папером (для ділянки контролю)
	$\Delta E_{п/ф}$		$R_a$						
Зона 1	68,12	1,00	3,28	0,69	0,064	0,25	0,29	0,23	0,70
Зона 2			2,813	0,81	0,091	0,51		0,40	
Зона 3			2,471	0,95	0,117	0,24		0,08	

**Висновки:**

1. Аналіз методів моделювання показав, що для вирішення поставленого завдання доцільно використовувати метод індуктивної самоорганізації МГУА. В роботі для отримання моделі оптимальної складності застосовано програмний продукт GMDH Shell BF 3.8.2.

2. Розроблено модель визначення зміни кольору звороту відбитків, що виникає внаслідок перебивання фарби, який дозволить уникнути необґрунтованого вилучення з обігу придатних банкнот через помилкову оцінку їх стану як зношених. Адекватність моделі підтверджено статистичними методами за критеріями Стьюдента та Фішера.

3. Враховуючи наявні недоліки автоматизованого сортування банкнот, під час моделювання звернуто увагу на основні фактори, що впливають на якість друку, взаємний зв'язок між структурними характеристиками паперу, колірними характеристиками паперу і фарб, кількістю фарби на відбитку, параметрами мікروشтрихів та колірними характеристиками звороту відбитку. За допомогою розробленої моделі було визначено зміну кольору звороту на ділянці водяного знаку на новій банкноті номіналом 50 гривень, що склав  $\Delta E = 0,70$  (простір CIE Lab).

**Список використаної літератури:**

1. Киричок Т.Ю. Дослідження шорсткості паперу з водяними знаками / Т.Ю. Киричок, Т.Є. Клименко, Н.Л. Малкуш // Вісник ММІ. – 2010. – С. 126–128.
2. Киричок Т.Ю. Дослідження процесу закріплення фарби на папері, захищеному водяними знаками / Т.Ю. Киричок, Н.Л. Талімонова // Зб. наук. праць Військового ін-ту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ». – 2011. – Вип. 1. – С. 71–75.
3. Моделювання проникнення фарби в папір з водяними знаками під час офсетного друку / Т.Ю. Киричок, Н.Л. Талімонова, В.І. Заріцька, А.І. Денисюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – № 5 (87). – С. 135–139.
4. Киричок Т.Ю. Вплив явища перебивання фарби на зворот на достовірність визначення зношеності під час автоматизованого сортування банкнот / Т.Ю. Киричок // Технологія і техніка друкарства. – К., 2015. – № 1(47). – С. 4–10.
5. Вислоух С.П. Моделювання та прогнозування сил різання та шорсткості обробленої поверхні нечітким методом групового врахування аргументів / С.П. Вислоух, О.В. Катрук, А.І. Заїка // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 36. – С. 89–95.
6. Івахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Івахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Димитров. – М. : Сов. радио, 1976. – 210 с.
7. Івахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Івахненко, В.С. Степашко. – К. : Наук. думка, 1985. – 216 с.
8. Стрижов В.В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей / В.В. Стрижов. – М. : ВЦ РАН, 2008. – 55 с.
9. Степашко В.С. Анализ эффективности критериев структурной идентификации прогнозирующих моделей / В.С. Степашко // Проблемы управления и информатики. – 1994. – № 3–4. – С. 13–21.

10. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel Лапач / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – 2 вид. перероб. і доп. – К. : Моріон, 2001. – 408 с.

КИРИЧОК Тетяна Юрїївна – доктор технічних наук, доцент, Видавничо-поліграфічного інституту НТУУ «КПІ».

Наукові інтереси:

- виробництво банкотної продукції;
- зносостійкість банкотної продукції;
- електронні видання;
- системний аналіз поліграфічного виробництва.

Тел.: 044-454-97-69.

E-mail: [t\\_kyrychok@vpf.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:t_kyrychok@vpf.ntu-kpi.kiev.ua)

КАТРУК Орест Вікторович – асистент кафедри ВП Приладобудівного факультету НТУУ «КПІ».

Наукові інтереси:

- моделювання процесів;
- системи керування технологічними процесами.

Тел.: 044-454-91-86.

E-mail: [pbf\\_vp@ukr.net](mailto:pbf_vp@ukr.net)

ТАЛІМОНОВА Надія Леонідівна – асистент кафедри ТПВ Видавничо-поліграфічний інститут НТУУ «КПІ».

Наукові інтереси:

- виробництво банкотної продукції;
- якість друкованої продукції спеціального призначення.

Тел.: 093-774-59-38.

E-mail: [malkoosh\\_kpi@ukr.net](mailto:malkoosh_kpi@ukr.net)

Стаття надійшла до редакції 09.12.2015