НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИЙ ІНСТИТУТ

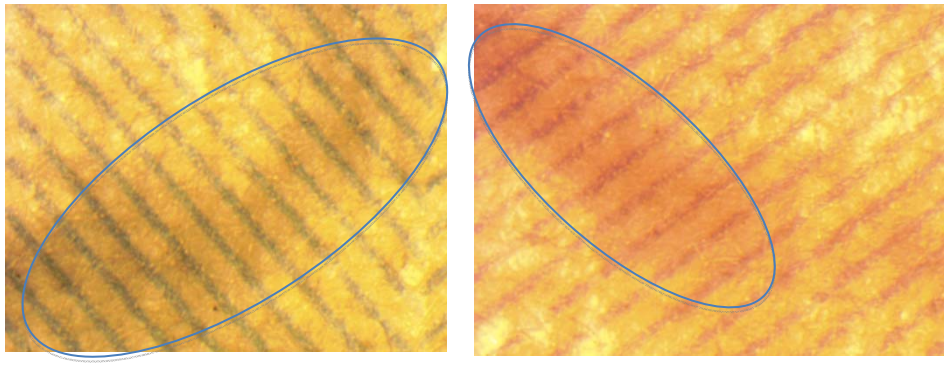
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОФСЕТНОГО ДРУКУ ЗАХИЩЕНОЇ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Клименко Т. Є., Талімонова Н. Л., Золотухіна К. І.

Актуальність теми

Актуальність теми дослідження обумовлена високими вимогами до якості виготовлення захищеної продукції, що має одночасно забезпечувати відповідний рівень захисту від фальсифікації, високу якість поліграфічного відтворення та зносостійкість.

Влив структури паперу на якість відбитків більшою мірою визначається рівномірністю поглинання фарби, тому при збільшенні неоднорідності структури на ділянках водяних знаків, змінюється і точність відповідності кольорових характеристик на відбитку оригіналу, а також нерівномірне перебивання фарби на зворот відбитку.



Фотографії досліджуваних зразків захищеного паперу на просвіт у зоні водяного знаку

Аналіз способів дослідження структури паперу дав змогу виявити, що більшість видів оцінок структурних неоднорідностей товщі паперу демонструють середнє значення неоднорідності для всього аркуша, тому вони не можуть бути застосовані для характеристики паперу з макронерівностями систематичного порядку. Відсутність об‘єктивної оцінки розмірності структури паперу у місці водяного знаку ускладнює прогнозування якості відбитку.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розроблення технологічного забезпечення якості офсетного друку захищеної поліграфічної продукції з урахуванням її структурних характеристик та встановлення закономірностей взаємовпливу параметрів технологічного середовища друкарського контакту та методів їх стабілізації при друкуванні мінімальними шарами фарби для унормування кольоровідтворення зображень.

1. Дослідити тенденції розвитку методів забезпечення якості захищеної продукції та встановити напрями підвищення її якості.

2. Розробити комплексну методику проведення теоретичних та експериментальних досліджень для визначення структурних характеристик паперу з водяними знаками, а також колірних і оптичних характеристик відбитків та їх звороту.

3. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити модель закріплення фарбового шару офсетного друку з урахуванням структурних характеристик паперу з водяними знаками; розробити алгоритм і програмне забезпечення для визначення фрактальної розмірності структури незадрукованого та задрукованого паперу.

4. Розробити методику визначення кількісних показників характеристик просвіту паперу з водяними знаками, зокрема з півтоновими.

5. Розробити алгоритм технологічного процесу визначення параметрів структури поверхні паперу та програмне забезпечення для його реалізації, а також для фільтрації нерівностей профілю поверхні паперу.

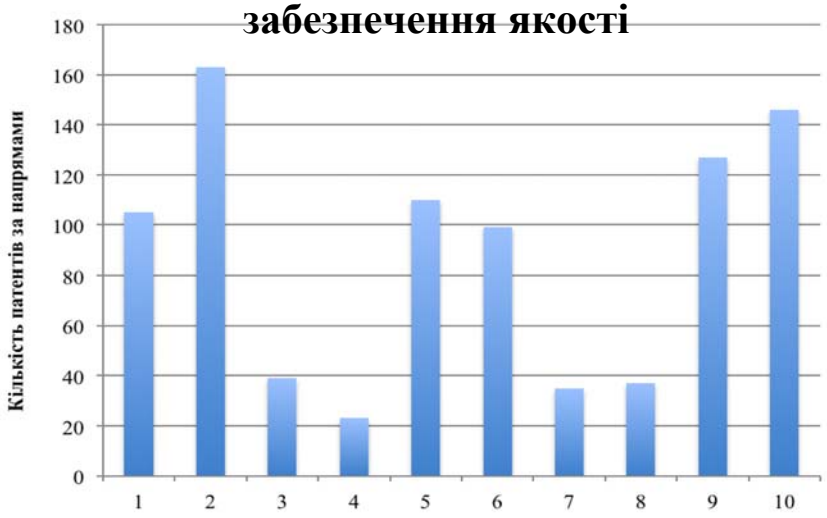
6. Розробити модель визначення зміни кольору звороту відбитків, яка виникає внаслідок перебивання фарби, що дозволить прогнозувати якість друку та скорегувати норми допусків на показник забруднення під час автоматизованого сортування банкнот для уникнення необґрунтованого вилучення з обігу придатних для експлуатації банкнот.

7. Розробити модель, яка визначає вплив параметрів (товщини шару фарби на формі, мікронерівностей поверхні задруковуваного матеріалу, в'язкості фарби, поглинальної здатності зволожувального розчину фарбою) на стабільність кольоровідтворення за умови мінімізації товщини фарбових шарів на задруковуваних матеріалах.

8. Здійснити кореляційний аналіз взаємного зв'язку між структурними характеристиками паперу та оптичними характеристиками відбитків та розробити на цій основі алгоритм технологічного процесу прогнозування та керування оптичними характеристиками відбитків на етапі вхідного контролю та оперативного контролю під час офсетного друку.

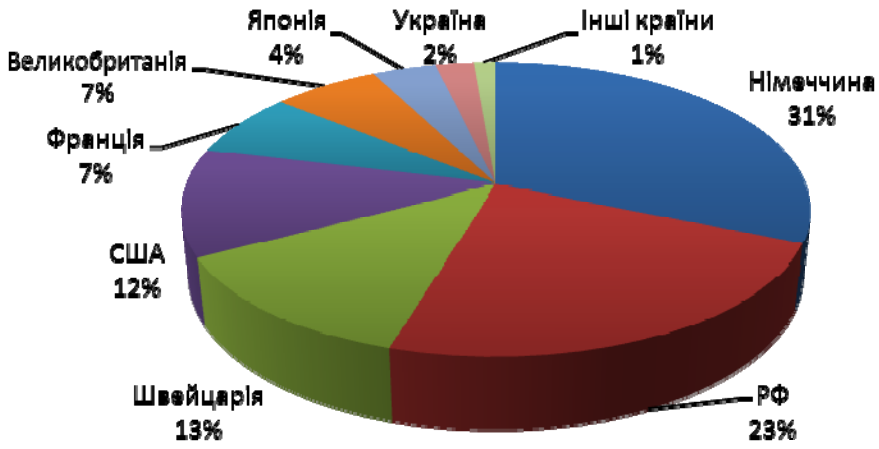
Тенденції розвитку методів забезпечення якості захищеної продукції

Розподіл патентів за напрямами забезпечення якості



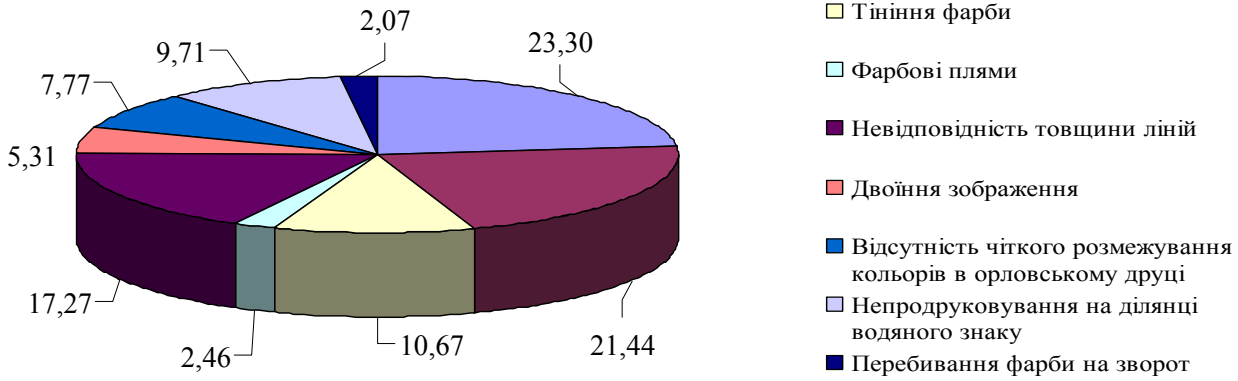
1 – загальні проблеми захисту цінних паперів;
2 – захист паперового полотна;
3 – захист пластикової основи;
4 – захист на стадії формування зображення оригіналу;
5 – захист за рахунок застосування поліграфічних фарб та лаків зі спец. властивостями;
6 – захист за рахунок поліграфічних післядрукарських та оздоблювальних процесів;
7 – захист інформації за рахунок конструкції носія та методів зберігання інформації;
8 – застосування захисних голографічних елементів та штрих-кодів;
9 – методи та прилади для контролю якості паперу;
10 – методи контролю якості офсетного друку

Розподіл патентів по країнам-розробникам



Визначення напрямків підвищення якості захищеної продукції

Співвідношення видів браку готової банкнотної продукції, що виникають під час офсетного друку

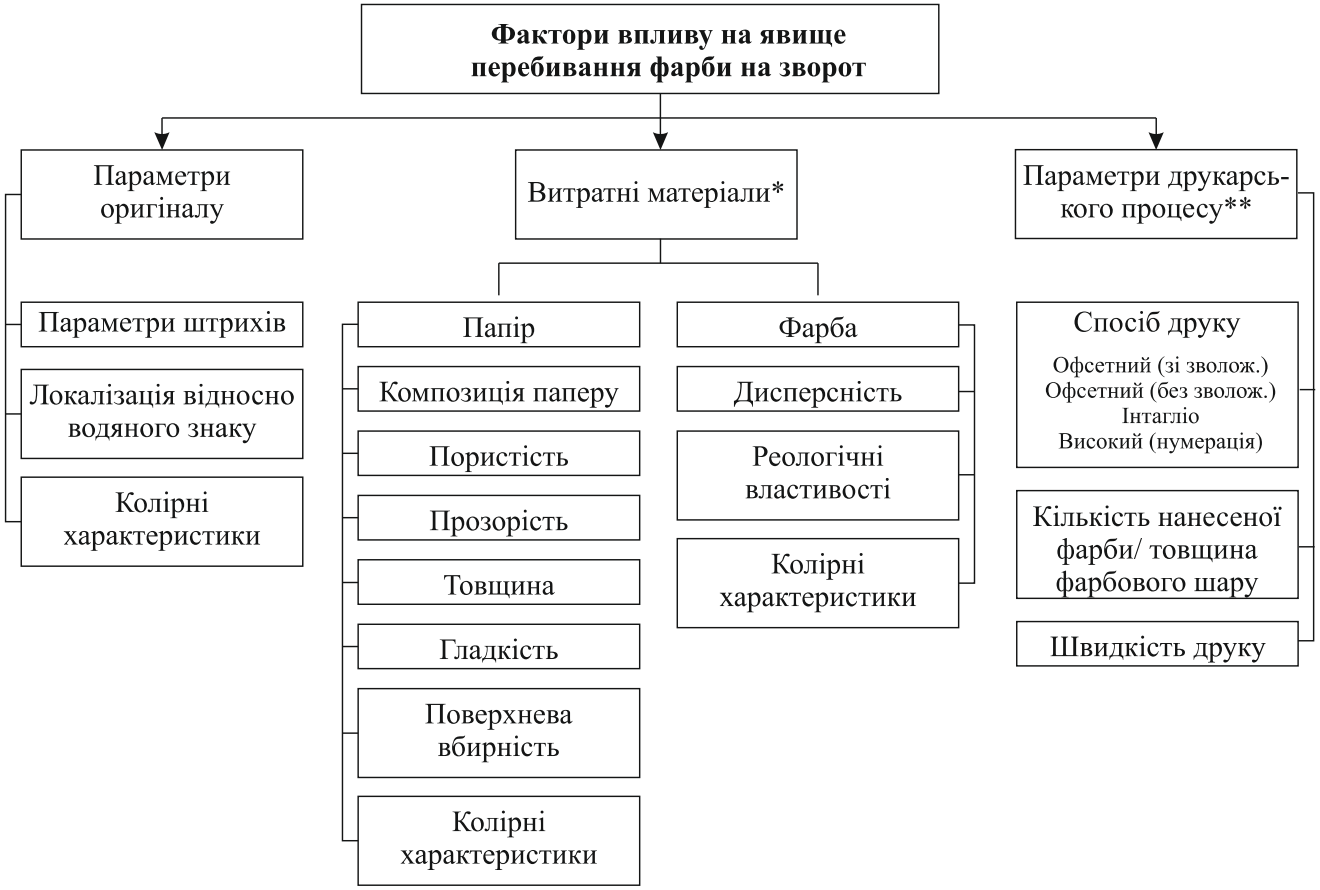


Дефекти, пов’язані з якістю офсетного друку

а) несуміщення елементів офсетного зображення відносно елементів інтагліо зображення;
б), з) непродрукування офсетного зображення (марашка);
в) фарбова пляма;
г), д) тініння офсетної фарби;
е) непродрукування на ділянці водяного знаку;
є) непродрукування офсетного зображення (недостатня насиченість частини відбитку);
ж) двоїння офсетного зображення

Фактори впливу на явище перебивання фарби на зворот відбитка

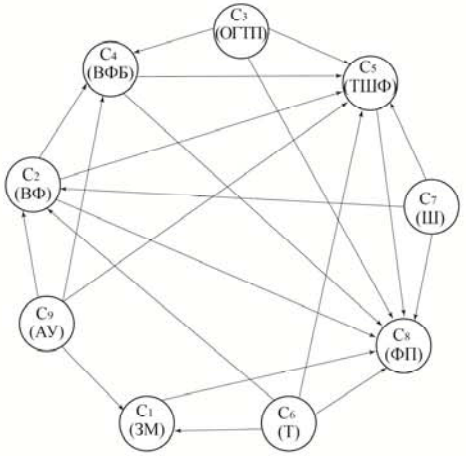
Нерівномірне перебивання фарби на зворот відбитка може спричиняти необґрунтоване вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених через перевищення допусків за показниками забруднення.



Управління процесом формування відбитків

Модель критеріїв впливу факторів на процес перенесення фарби

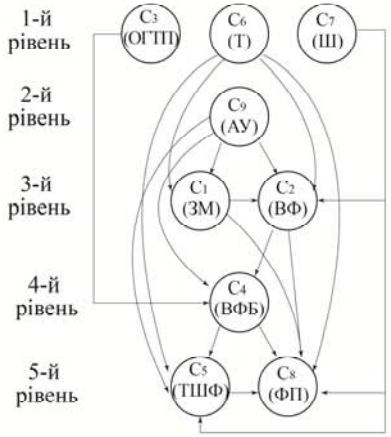
Граф зв'язків між критеріями вибору параметрів, які впливають на перенесення фарби



Бінарна матриця досяжності М' для множини вершин С1

$$M' = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Домінантна ієрархічна впорядкована модель критеріїв впливу на процес перенесення фарби



Модель, що увиразнює механізми формування відбитка

Стабільність формування відбитка зі сталими характеристиками

$$S_T = \frac{\sum_{1}^{N} t_i}{N_{D_{відб.}^{неунорм}}}$$

де, S_T — характеристика стабільності системи,
$N_{D_{відб}^{неунорм}}$ — не унормоване значення оптичної густини за час t_i,
t_i — час друкування одного відбитка.

Формула для розрахунку об'ємних концентрацій компонентів друкарської фарби

$$u_{UV} = \frac{u_{par}\left[(K_{par} - \beta S_{par}) + (\beta S_s - K_s)\right] - (\beta S_s - K_s)}{(\beta S_{uv} - K_{uv}) - (\beta S_s - K_s)}$$

Підрахунок максимально можливого відхилення показника $\Delta D_{відб}$ при максимальних відхиленнях параметрів ΔR_a, $\Delta h_{ЗМ}$

$D_{відб}$ (t)=f (R_a, $h_{ЗМ}$) (t)

$D_{відб}$= $K \cdot R_a^{\alpha} \cdot h_{ЗМ}^{\gamma}$

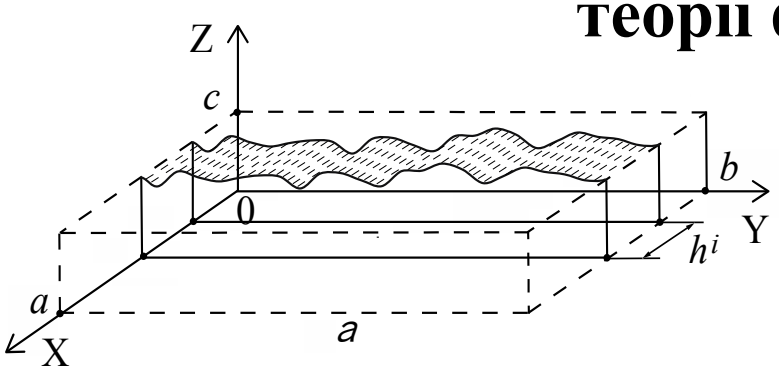
$$dD_{відб} = \alpha \frac{D_{відб}}{R_a} dR_a + \gamma \frac{D_{відб}}{h_{ЗМ}} dh_{ЗМ}$$

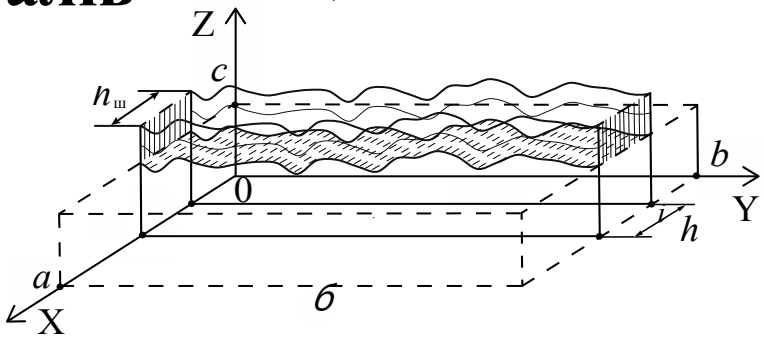
$$\frac{dD_{відб}}{D_{відб}} = \alpha \frac{dR_a}{R_a} + \gamma \frac{dh_{ЗМ}}{h_{ЗМ}}$$

$$\Delta D_{відб} = \frac{\partial D_{відб}}{\partial R_a} \Delta R_a + \frac{\partial D_{відб}}{\partial h_{ЗМ}} \Delta h_{ЗМ}$$

$$\Delta D_{відб} = \sqrt{\left(\frac{\partial D_{відб}}{\partial R_a} \Delta R_a\right)^2 + \left(\frac{\partial D_{відб}}{\partial h_{ЗМ}} \Delta h_{ЗМ}\right)^2}$$

Моделювання структури поверхні паперу на основі теорії фракталів





Моделювання поверхні незадрукованого (*а*) та задрукованого (*б*) паперу в тривимірному просторі

$$D_{фр} = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}. \quad (1)$$

Функцію поверхні паперового аркуша розраховуємо за формулою

$$f(h) \approx L c h_i^{-(1+D_{фр})}, \quad (2)$$

де L – довжина паперового аркуша (L/h_i – кількість профілів); c – константа; h_i – крок зайнятих профілів; $D_{пр}$ – фрактальна розмірність кожного профілю.

Фрактальна розмірність поверхні паперу: $D_{фр} = D_{пр} + 1$.

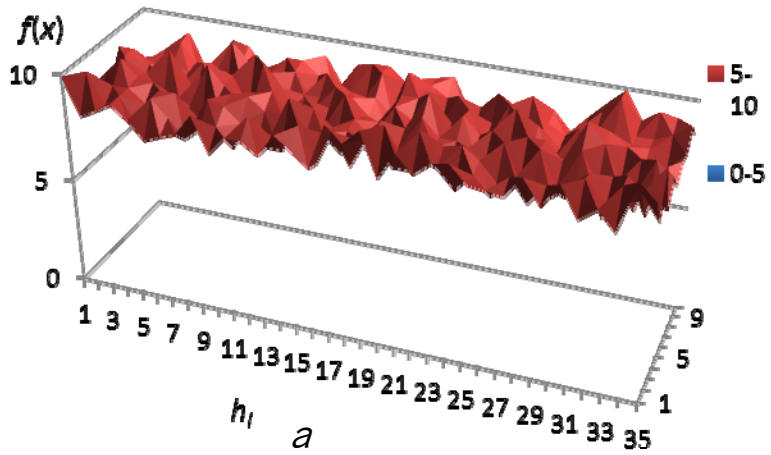
Амплітудний коефіцієнт поверхні паперу розраховуємо за формулою

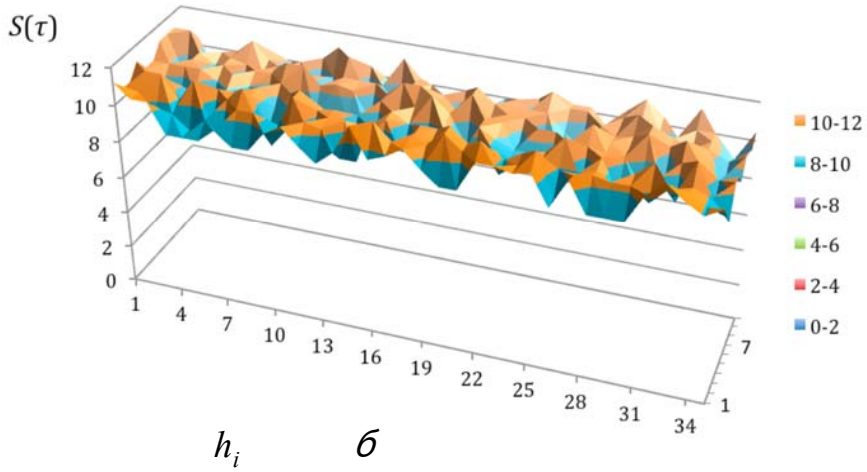
$$S(\tau) = C\eta^{2D_{фр}-3}\tau^{4-2D_{фр}}, \quad (3)$$

де τ – приріст довжини; η – роздільна здатність профілюючого інструмента.

$$C = \frac{m}{\eta^{2D_{фр}-3}\tau^{4-2D_{фр}}}, \quad (4)$$

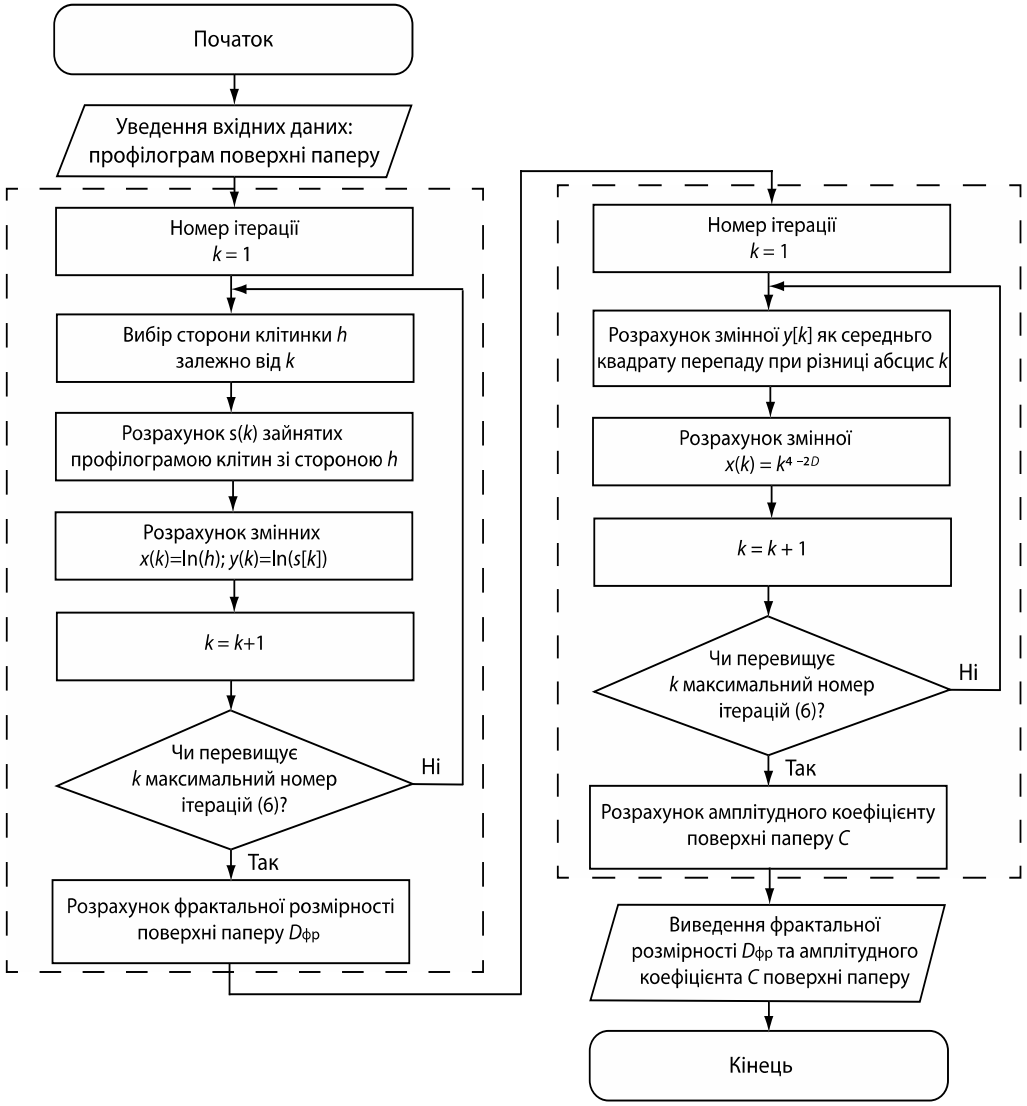
де m – нахил лінії апроксимації.





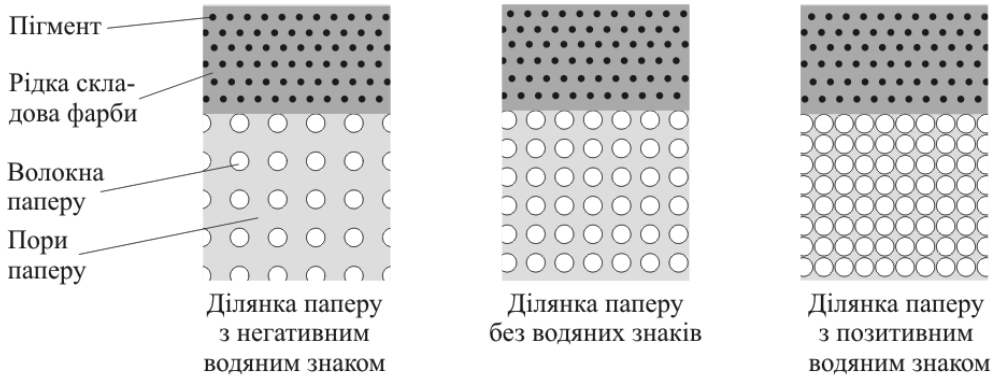
Графічне подання розробленої моделі: *а* – з урахуванням фрактальної розмірності поверхні паперу; *б* – з урахуванням амплітудного коефіцієнту поверхні паперу

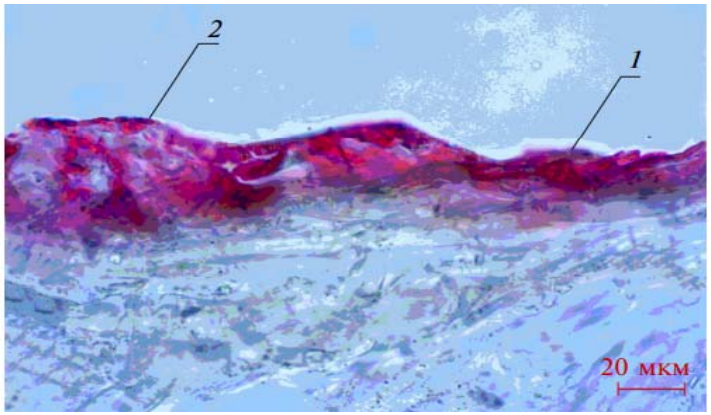
Алгоритм розрахунку фрактальної розмірності та амплітудного коефіцієнту поверхні незадрукованого та задрукованого паперу з водяними знаками



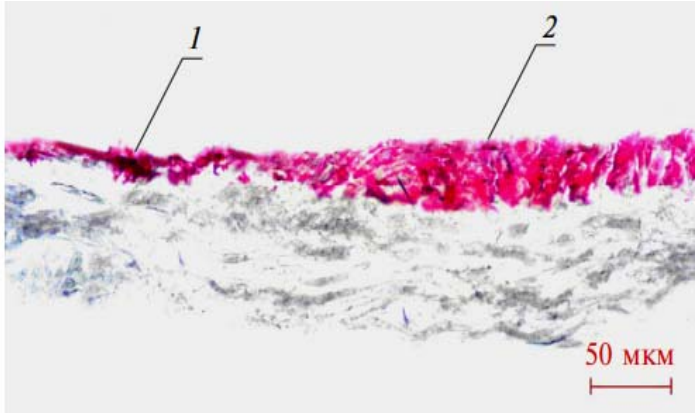
Модель закріплення фарбового шару на папері, захищеному водяними знаками

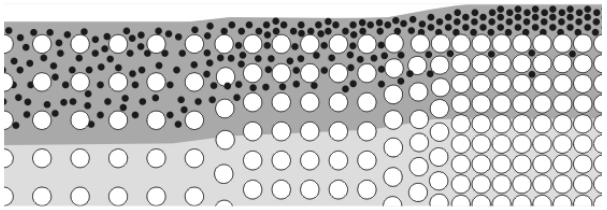
Шар фарби відразу після нанесення





Шар фарби після поглинання її папером



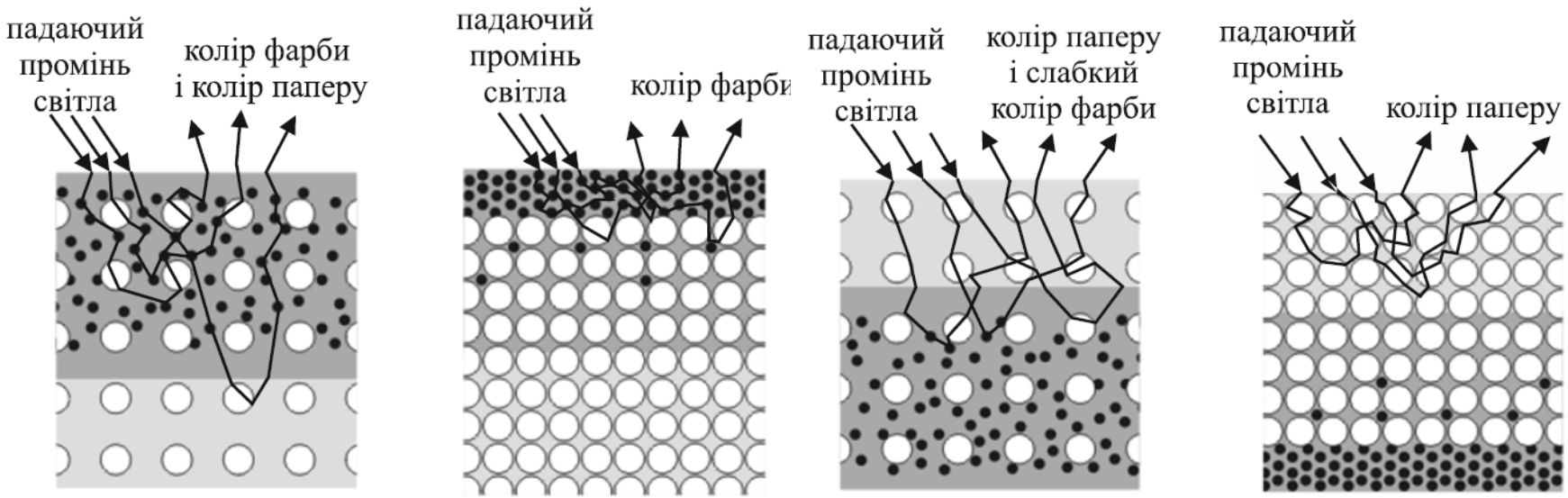


Ділянка паперу з півтоновим водяним знаком

Фотографії зрізів фарбових відбитків

1 – ділянка з негативним водяним знаком,
2 – ділянка з позитивним водяним знаком

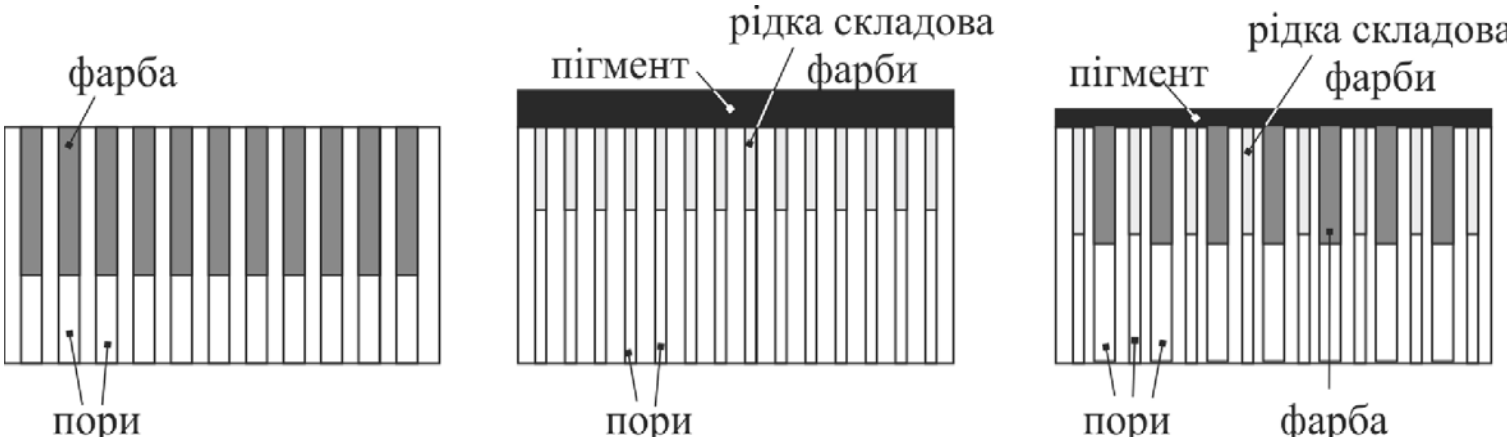
Розсіювання світла з лиця та звороту відбитка, отриманому на папері з водяними знаками



а б в г

а – лицьова сторона, негативний водяний знак;
б – лицьова сторона, позитивний водяний знак;
в – зворот, негативний водяний знак;
г – зворот, позитивний водяний знак

Визначення глибини проникнення фарби в пористу структуру паперу



а) $R_{пор} \geq R_{піг}$ б) $R_{пор} < R_{піг}$ в) $R_{пор\,1} \geq R_{піг} > R_{пор\,2}$

$$l = \frac{l_{пор}}{\beta} = \sqrt{\frac{R_{пор} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}},$$

$$l_{рід} = l \cdot (1 - w_{піг})$$

$$l_{піг} = (V \cdot w_{піг}) / S$$

$$V = N_{пор} \cdot \Pi \cdot R_{пор}^2 \cdot l_{пор},$$

$$l_{ф} = \sqrt{\frac{R_{пор1} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}},$$

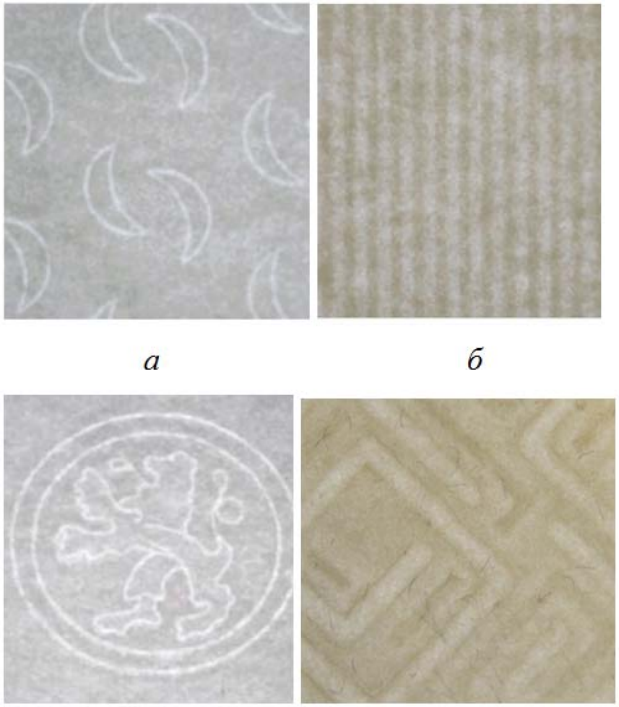
$$l_{рід} = \sqrt{\frac{R_{пор2} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}} \cdot (1 - w_{піг})$$

$$l_{піг} = V_{рід} \cdot w_{піг} / S = w_{пор2} \cdot N_{пор} \cdot \Pi \cdot R_{пор2}^2 \cdot \sqrt{\frac{R_{пор2} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}} \cdot w_{піг} / S$$

де $l_{пор}$ – глибина проникнення фарби в пору;
$R_{пор}$ – середній радіус пор, м;
γ – поверхневий натяг, Н/м;
Θ - крайовий кут змочування;
t – час проникнення, с;
η – в‘язкість фарби, Па·с,
β — коефіцієнт звивистості капілярів.

Характеристики досліджуваних зразків паперу

№ п/п	Назва паперу	Наявність оптич. відбі-лювачів/ захисних волокон	Маса, г/ м²	Непро-зорість, %	Білизна, %	Гладкість (по Бекку), сек.		Поверхнева вбирність (Кобб 60), г/м²
						Сіточна сторона	Лицьова сторона	
1	Security lune	-/+	90	85,6	79,3	28	29	27
2	Filidoro laid avorio	-/-	80	86,2	72,7	9	13	18
3	Chimere la hulpe	+/-	80	87,8	99,2	38	40	-
4	Ромб	-/+	90	88,1	77,4	-	-	-
5	Офсетний папір №1	+/-	70	82,3	99,4	-	-	-
6	Офсетний папір № 2	+/-	170	99,7	98,1	-	-	-
7	Газетний папір	-/-	60	79,3	68,5	-	-	-



№ п/п	Назва паперу	Непро-зорість, %	Шорсткість (за Бендстеном), мл/хв		Пористість паперу (за Бендстеном), мл/хв		Поверхнева вбирність (Кобб 60), г/м²		Швидкість поглинання краплі масла папером
			Лиц. стор.	Сіт. стор.	Лиц. стор.	Сіт. стор.	Лиц. стор.	Сіт. стор.	
1	Банкнотний одношаровий	90,0	377	384	25,8	26,2	30,5	31,5	-
2	Банкнотний двошаровий	88,0	340	350	24,8	25,2	28,0	28,5	-

а –Security lune;
б – Filidoro laid avorio;
в – Chimere la hulpe;
г – «Ромб»

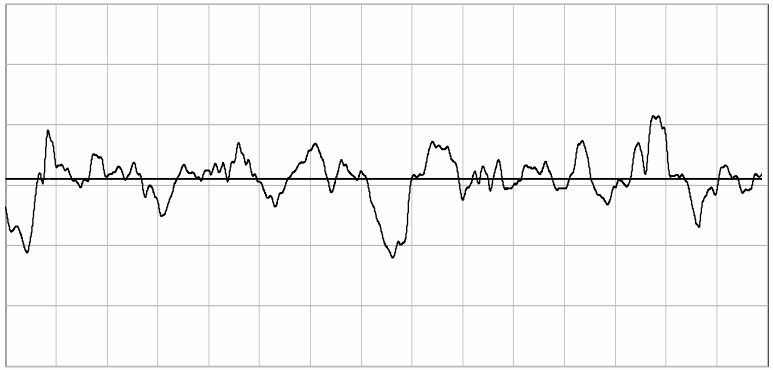
Вибір способів дослідження структури паперу

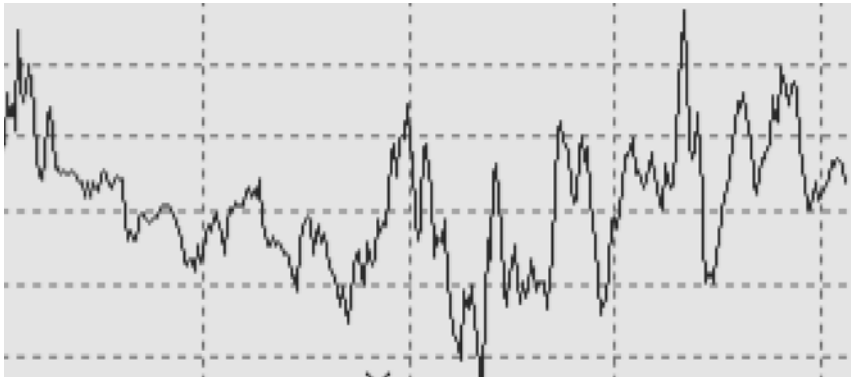
Профілограми поверхні різних ділянок незадрукованого паперу Security Lune отримані різними методами профілометрії

Механічний контактний метод

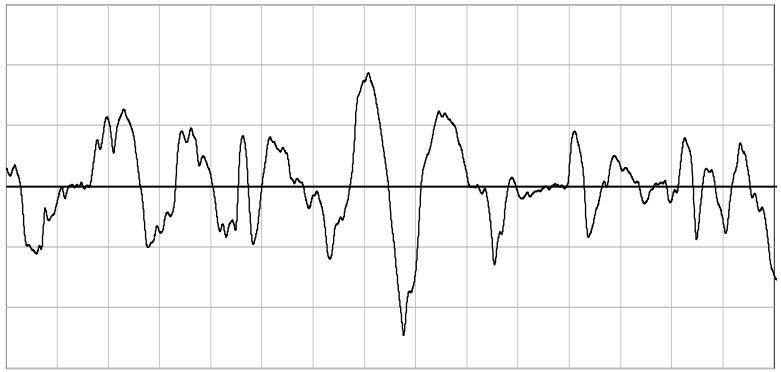
Оптичний безконтактний інтерференційний метод

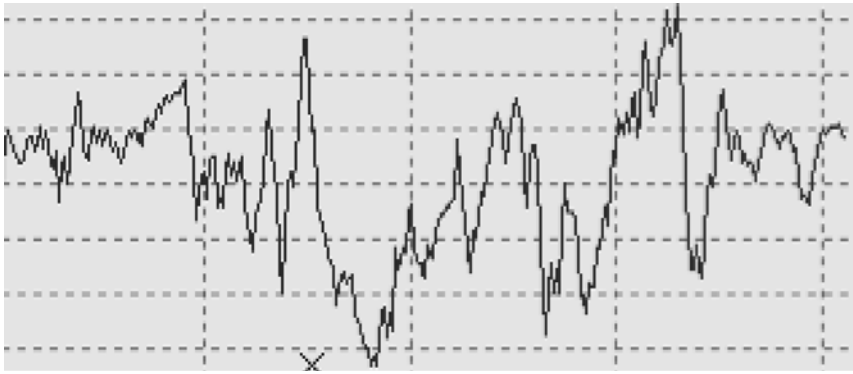
Ділянка без водяного знаку





Ділянка з негативним водяним знаком





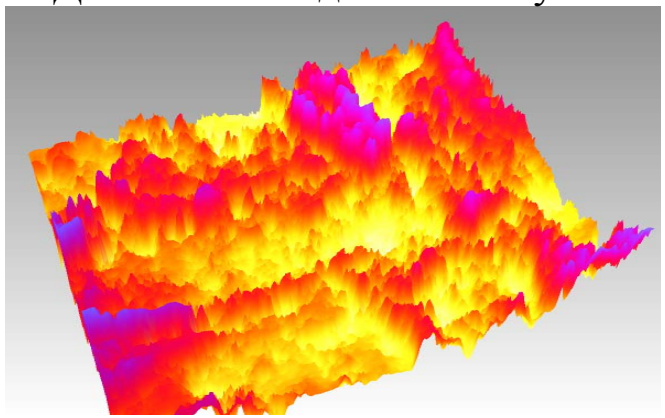
Топографія поверхні різних ділянок незадрукованого та задрукованого паперу Security lune

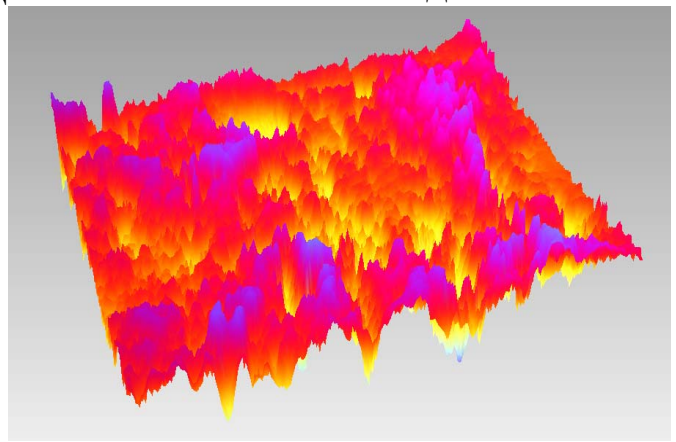
Оптичний безконтактний інтерференційний метод

Ділянка без водяного знаку

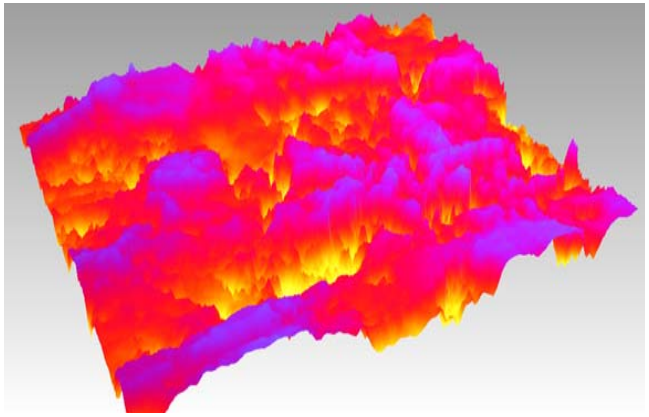
Ділянка з негативним водяним знаком

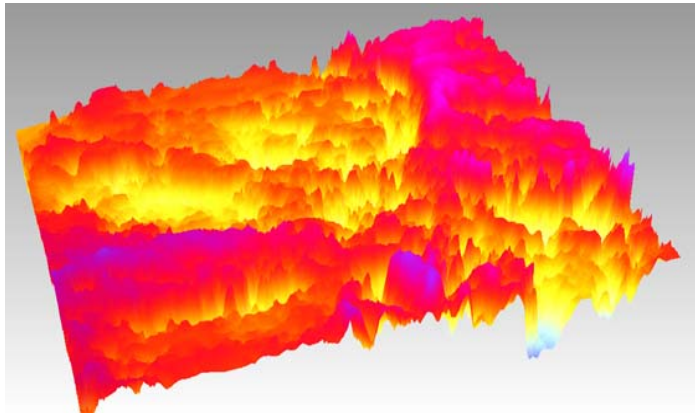
Ділянка без фарби



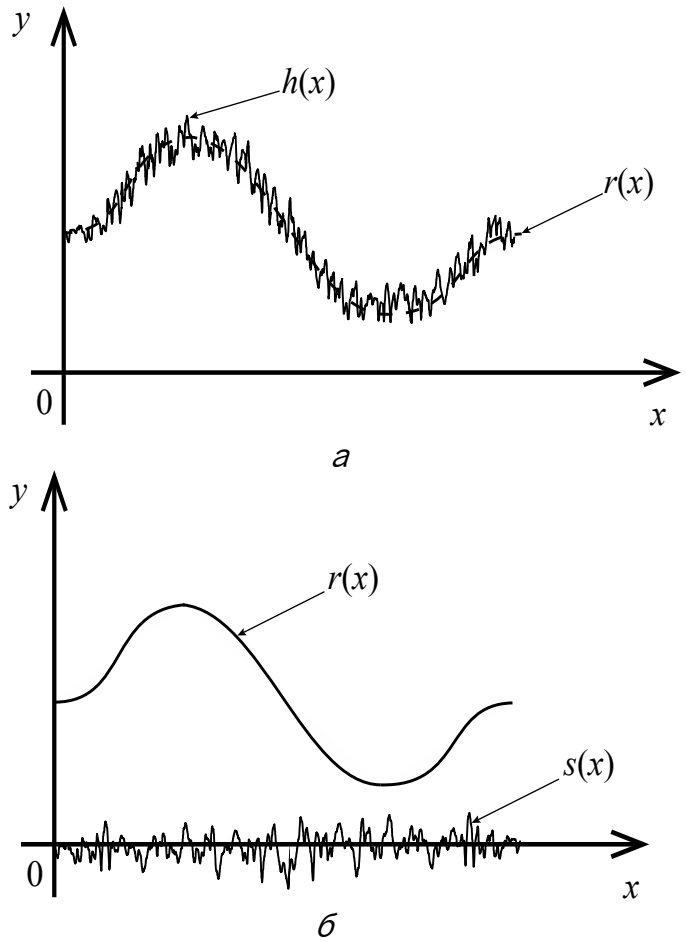


Ділянка зі 100% плашкою фарби Yellow





Фільтрація нерівностей профілю поверхні паперу



Початкова функція $h(x)$ (а), функція профілю $r(x)$ та нерівностей $s(x)$ після фільтрації (б)

Початкова функція

$$h(x) = r(x) + s(x),$$

де $r(x)$ – «рельєфна» складова (*relief*), а $s(x)$ – «шорстка» (*sharp*) складова

$h(x) \to r(x)$ отримаємо, що

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x+t)f(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} r(x+t)f(t)dt + \int_{-\infty}^{\infty} s(x+t)f(t)dt.$$

Фільтрація профілю $h(x)$

$$r(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x+t)f(t)dt.$$

Розрахунок функції профілю після фільтрації

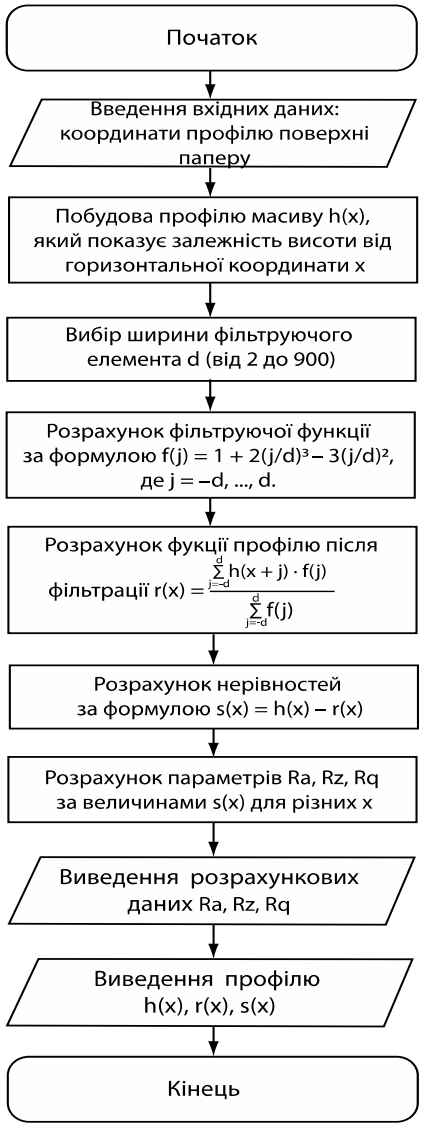
$$r(x) = \frac{\sum_{j=-d}^{d} h(x+j)f(j)}{\sum_{j=-d}^{d} f(j)}.$$

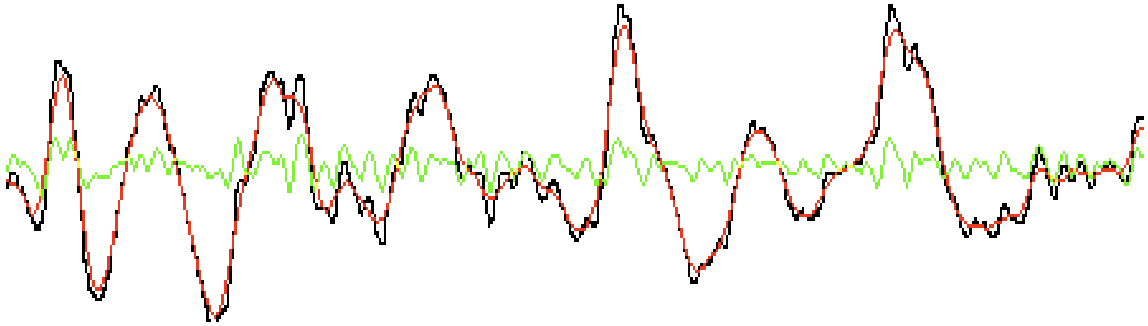
Розрахунок нерівностей профілю після фільтрації

$$s(x) = h(x) - r(x).$$

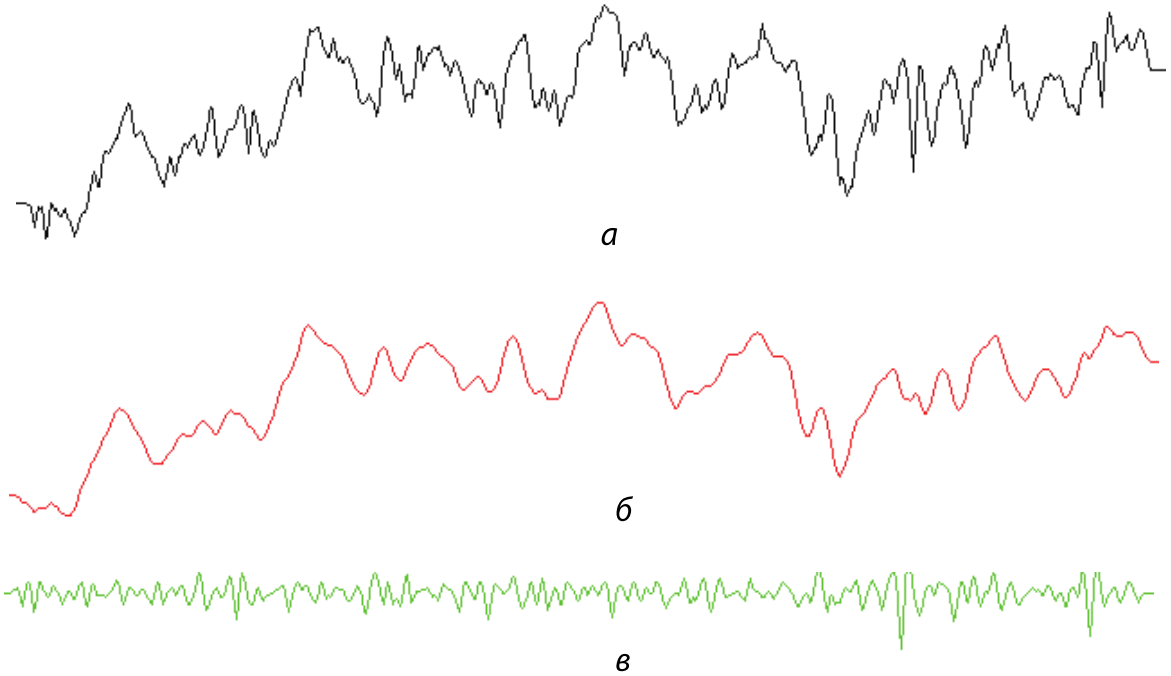
Фільтрація нерівностей профілю поверхні паперу

Алгоритм для фільтрації нерівностей профілю поверхні паперу





Графіки профілю поверхні паперу: 1 – початковий профіль, 2 – профіль, аналітично розрахований після фільтрації, 3 – профіль фільтрації шумів

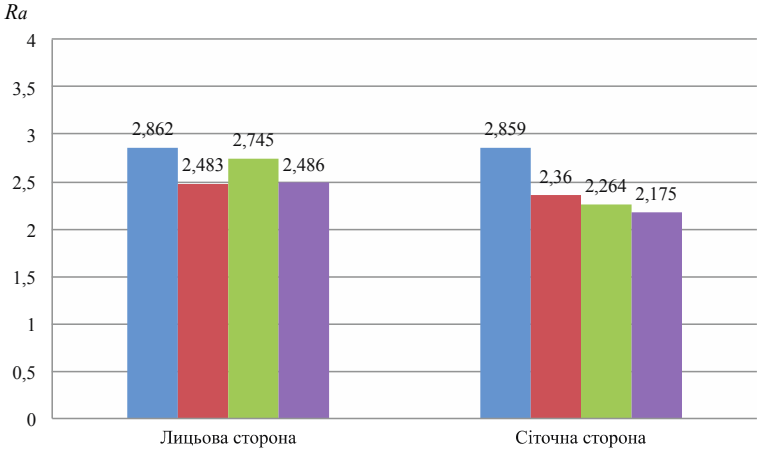


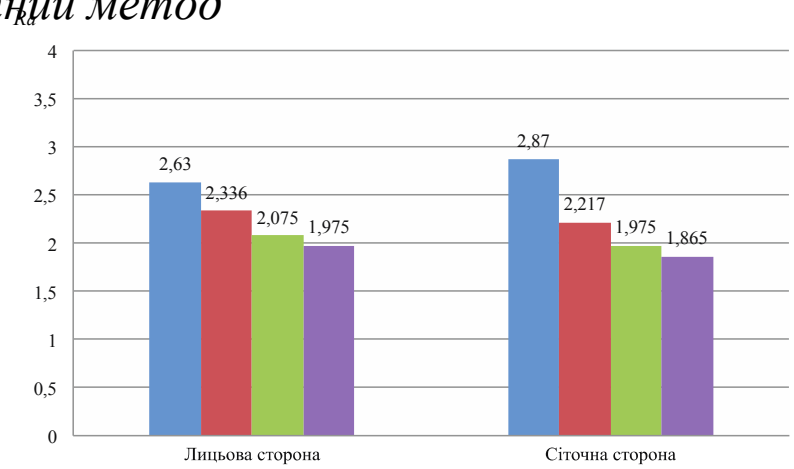
Профіль поверхні банкнотного паперу зразка № 1: *а* – початковий профіль, *б* – профіль, аналітично розрахований після фільтрації, *в* – профіль фільтрації шумів

Діаграми параметрів шорсткості поверхні різних ділянок паперу

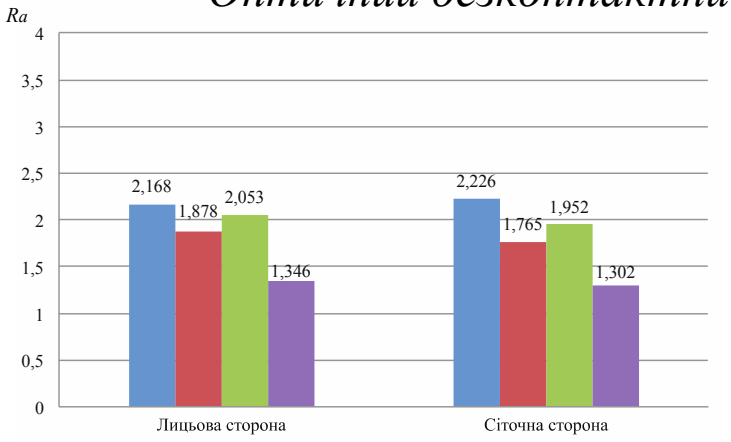
Security lune *Pordenone laid avoiro*

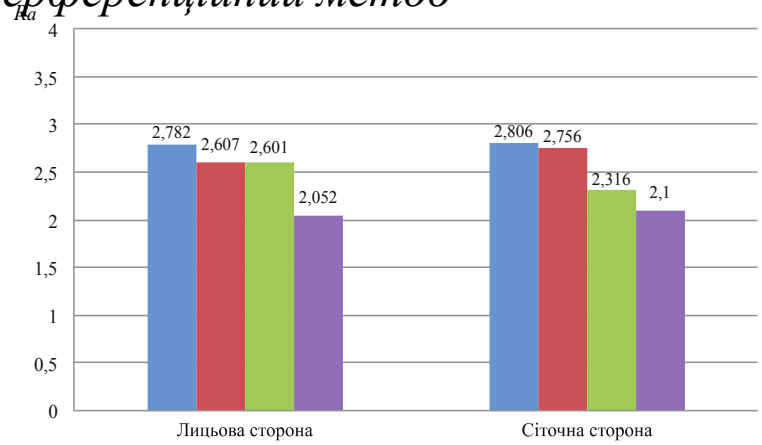
Механічний контактний метод





Оптичний безконтактний інтерференційний метод





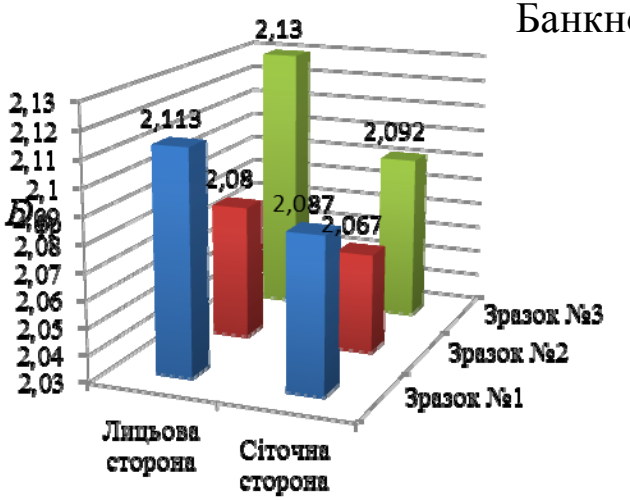
Ділянка з негативним ВЗ, без фарби
Ділянка з негативним ВЗ, з фарбою
Ділянка без ВЗ, без фарби
Ділянка без ВЗ, з фарбою

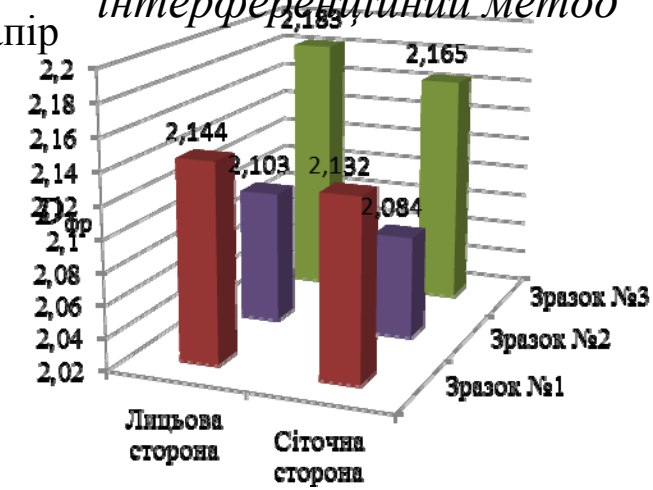
Фрактальні розмірності поверхні різних ділянок незадрукованого та задрукованого паперу отримані різними методами профілометрії

Механічний контактний метод

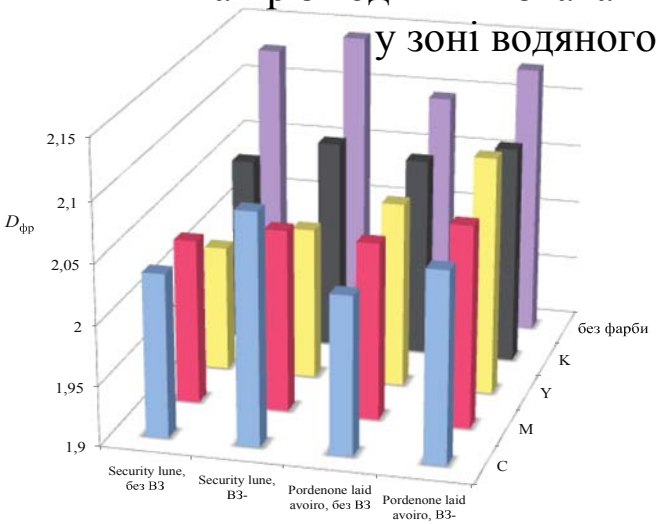
Оптичний безконтактний інтерференційний метод

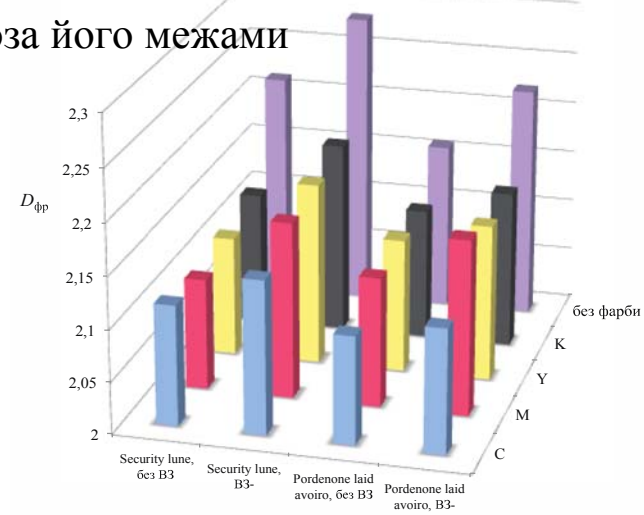
Банкнотний папір



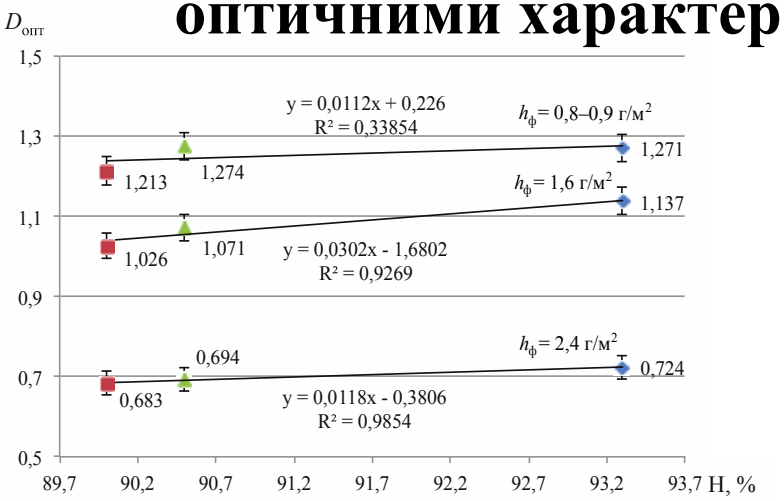


Папір з водяними знаками Security lune та Pordenone laid avoiro у зоні водяного знаку та поза його межами

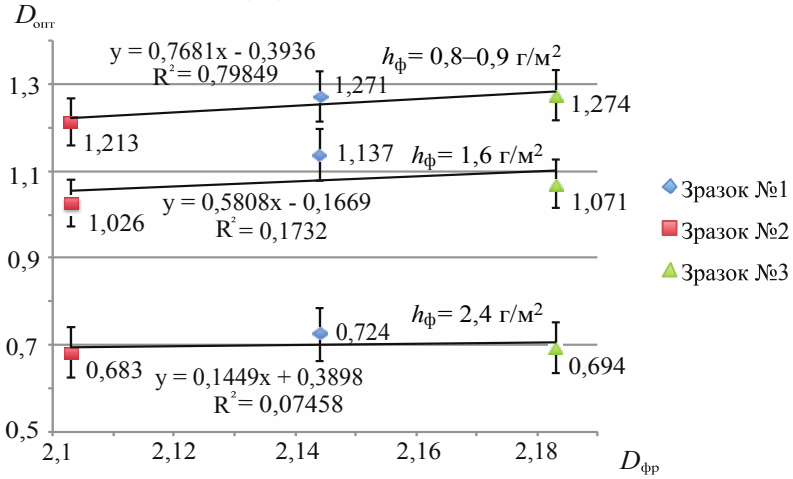




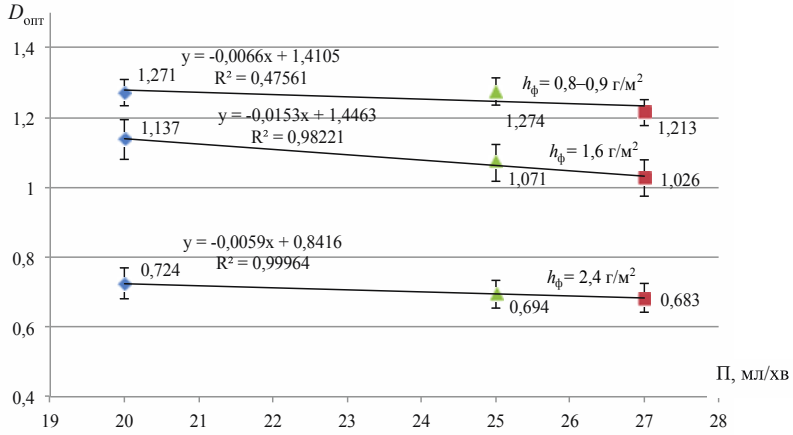
Кореляційний аналіз взаємозв’язку між характеристиками поверхні банкнотного паперу та оптичними характеристиками відбитків



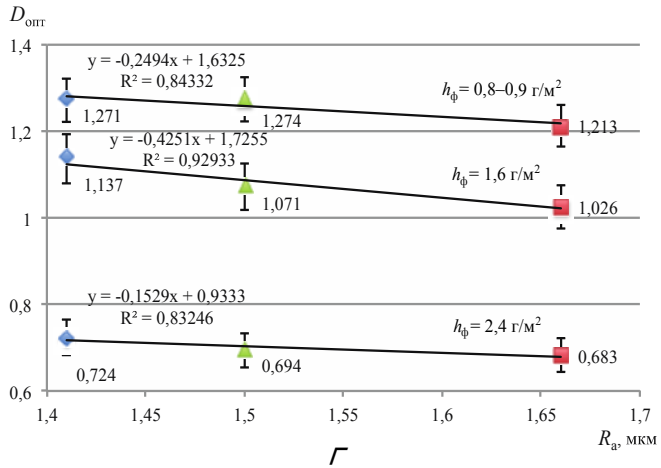
а



б



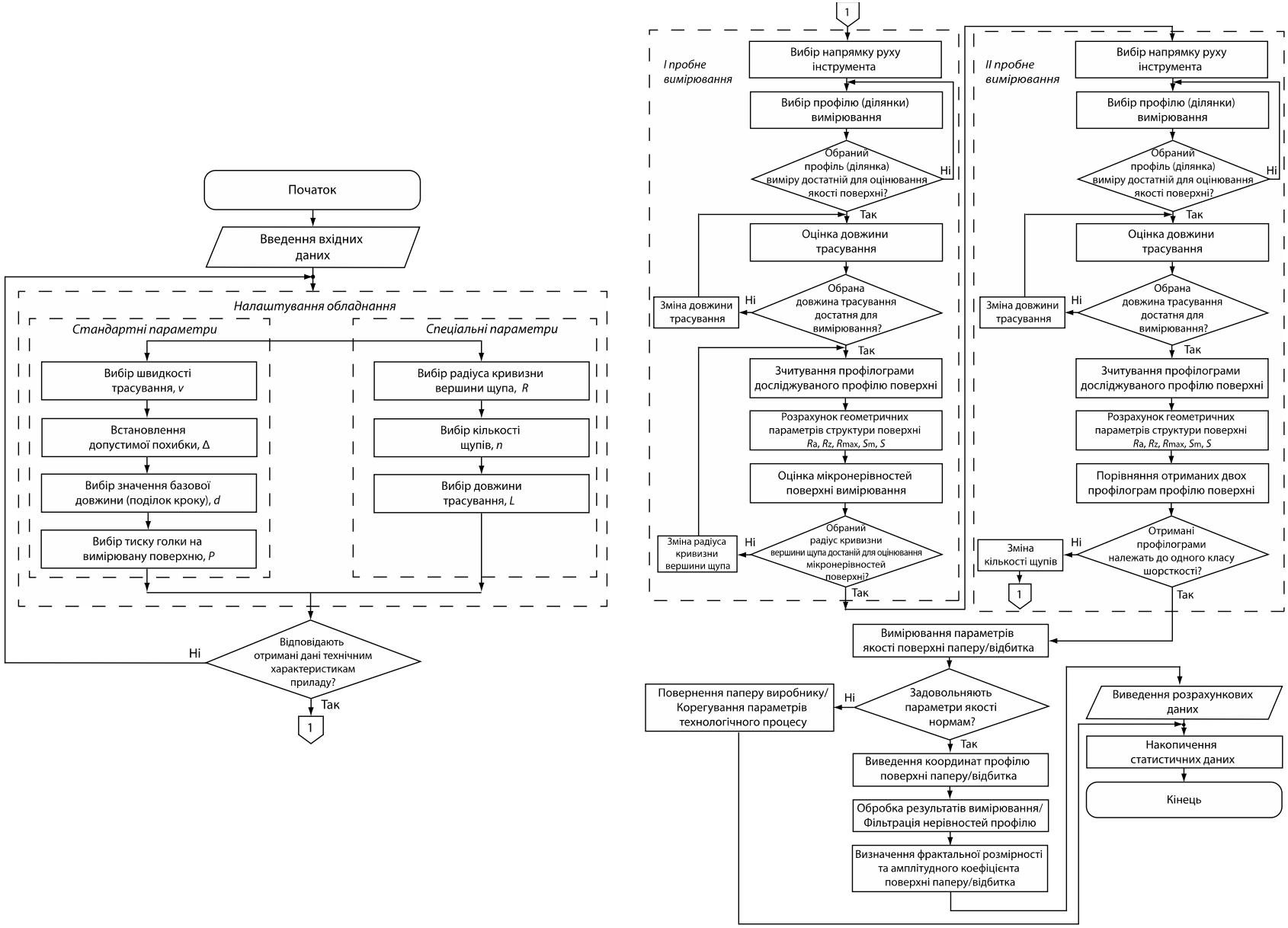
в



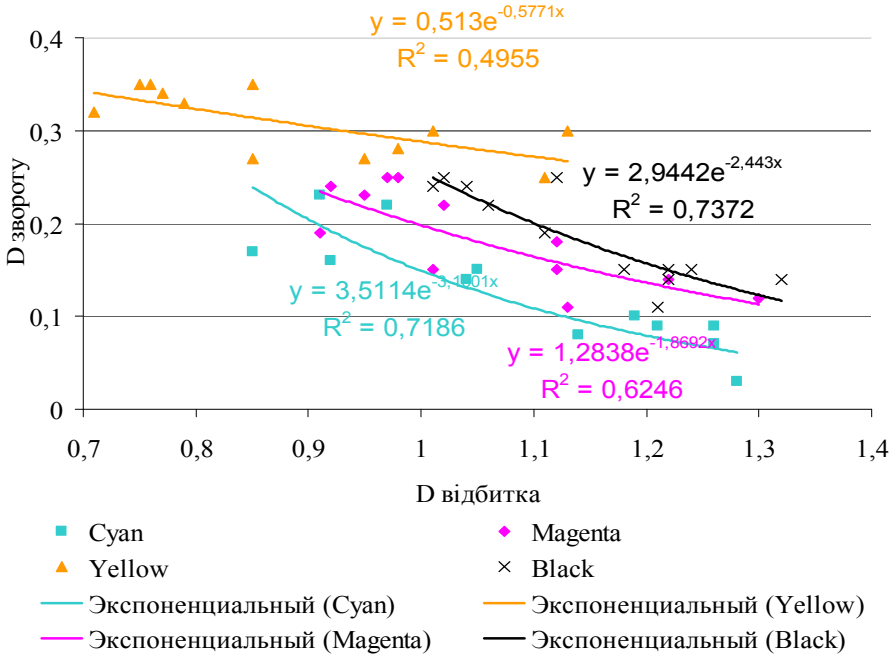
г

Вплив непрозорості (Н), пористості (П), фрактальної розмірності (*D*фр), параметра шорсткості паперу (*R*а) (*а*, *б*, *в*, *г*) на оптичну густину відбитків (*D*опт)

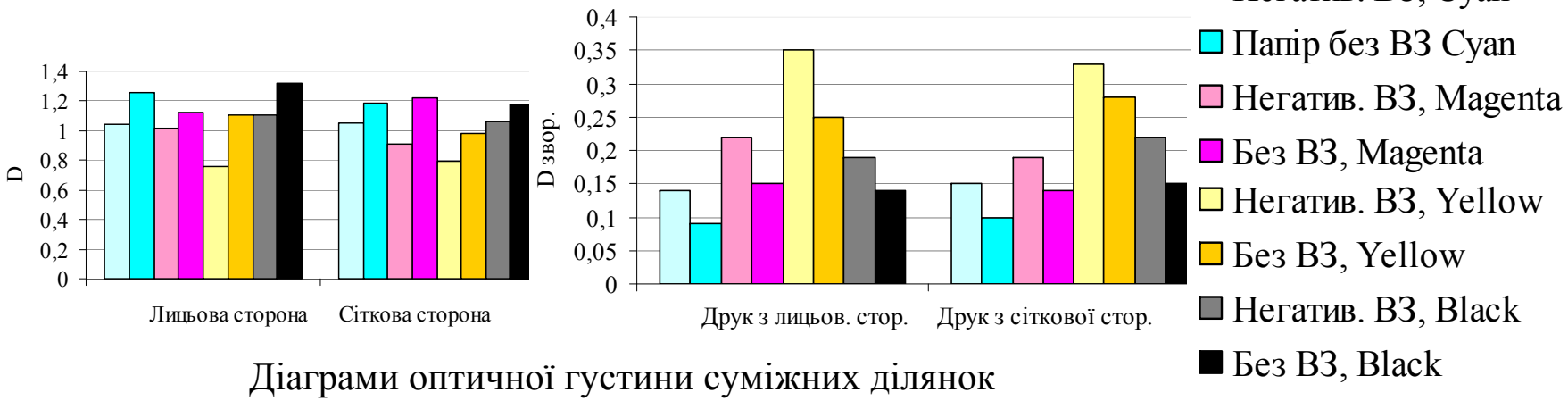
Алгоритм керування технологічним процесом визначення параметрів структури поверхні паперу



Кореляція між оптичною густиною відбитку та його звороту

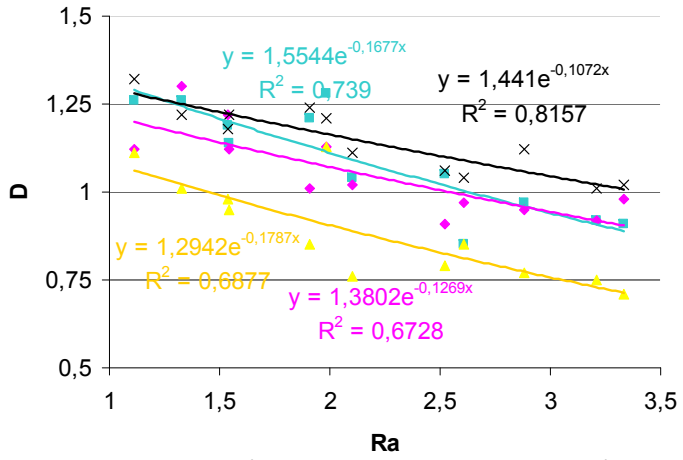


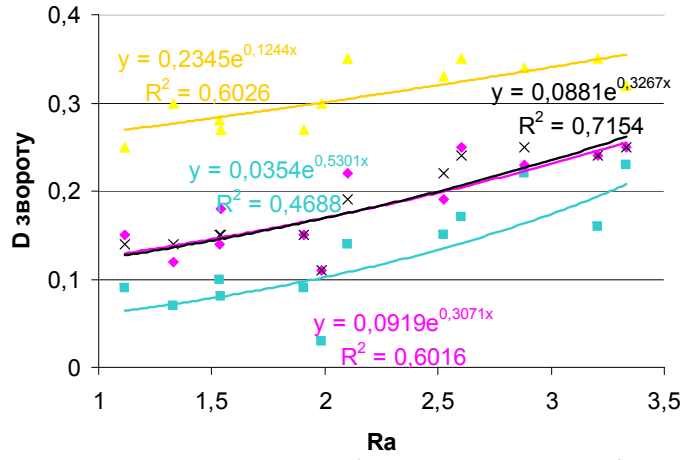
При більшому значенні оптичної густини ділянки відбитка, значення оптичної густини тієї ж ділянки з його звороту є меншою, і навпаки – при меншій оптичній густині відбитка значення оптичної густини звороту збільшується. Це свідчить про більше проникнення фарби на ділянках паперу з меншою щільністю, що призводить до зниження концентрації пігменту на поверхні відбитка та до його проступання на звороті.



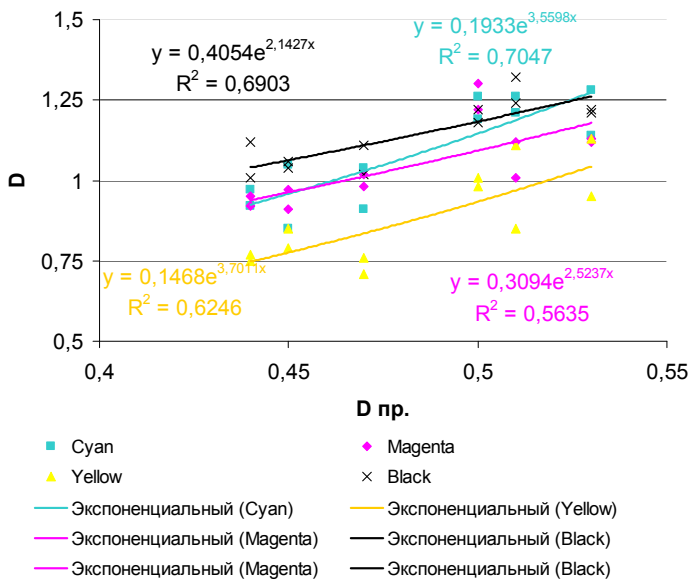
Діаграми оптичної густини суміжних ділянок відбитків (зліва) та їх звороту (справа)

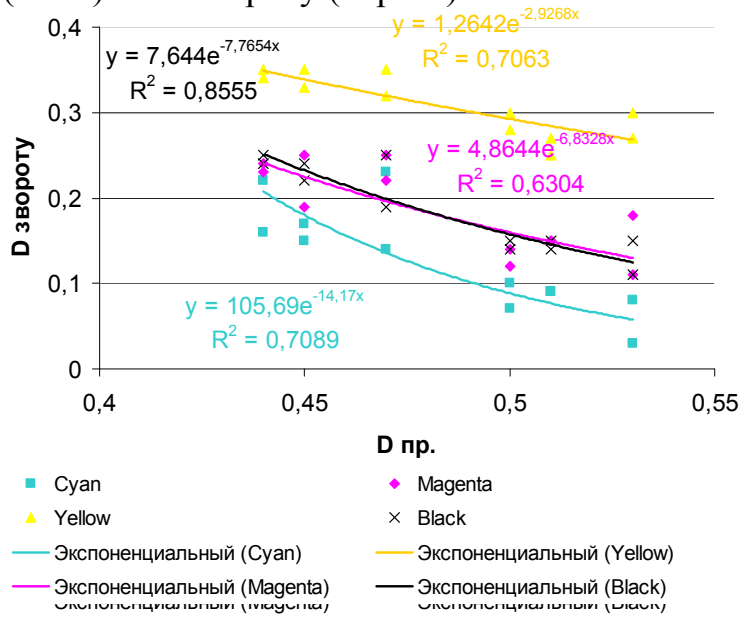
Кореляційний зваємозв’язок між структурними характеристиками паперу та оптичною густиною відбитків та їх звороту





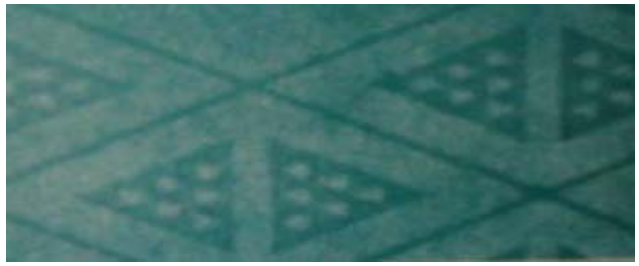
Кореляційний зваємозв’язок між оптичною густиною паперу, виміряною на просвіт та оптичною густиною відбитків (зліва) та їх звороту (справа)

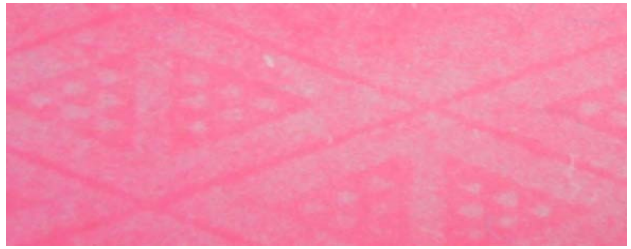


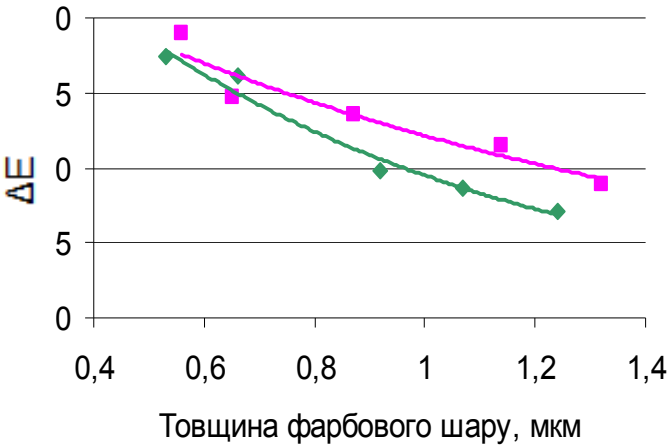


Кореляційний зваємозв’язок між оптичною густиною паперу, виміряною на просвіт та оптичною густиною відбитків (зліва) та їх звороту (справа)

Колірні характеристики відбитків, отриманих на папері з водяними знаками







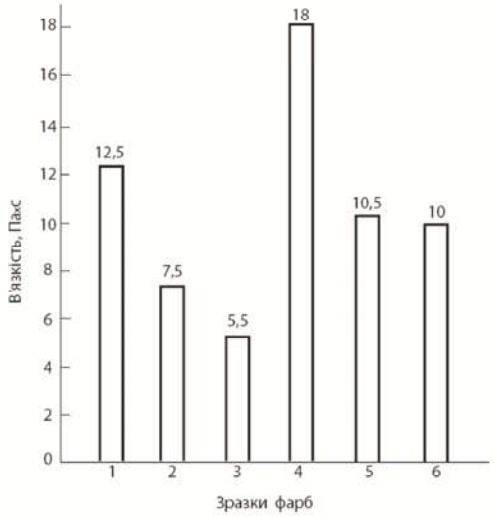
Залежність ΔE суміжних ділянок паперу від кількості фарби на відбитку

	Кільк. фарби, г/м²	Ділянка без вод. знаку (-) або з позитив. вод. знаком (ВЗ+)	L*	a*	b*	ΔE
Фарба №1	0,53	ВЗ+	53,61	-32,48	-3,5	17,47
		-	68,24	-23,02	-2,17	
	0,66	ВЗ+	52,31	-36,83	-3,68	16,07
		-	64,4	-26,29	-2,76	
	0,92	ВЗ+	50,26	-38,31	-3,79	9,74
		-	57,33	-31,64	-3,1	
	1,07	ВЗ+	48,32	-39,51	-3,98	8,62
		-	53,97	-33,02	-3,42	
	1,24	ВЗ+	45,46	-40,74	-4,12	7,12
		-	49,69	-35,03	-3,73	
Фарба №2	0,56	ВЗ+	72,78	40,47	1,49	18,90
		-	81,62	23,76	1,32	
	0,65	ВЗ+	70,34	43,89	1,74	14,70
		-	77,65	31,16	1,00	
	0,87	ВЗ+	68,57	46,11	1,56	13,56
		-	76,04	34,8	1,09	
	1,14	ВЗ+	62,29	50,05	1,64	11,49
		-	68,16	40,17	1,59	
	1,32	ВЗ+	59,84	52,63	2,01	8,96
		-	64,31	44,87	1,84	

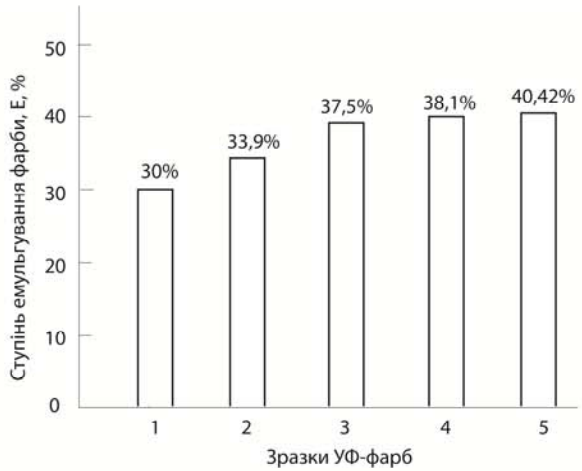
З отриманих значень ΔE видно, що зі збільшенням шару фарби колірні відмінності між ділянкою водяного знака і без нього зменшуються, але все одно значення кольорового зсуву між різними ділянками дуже суттєве.

Оцінка друкарсько-технічних властивостей модельних фарб

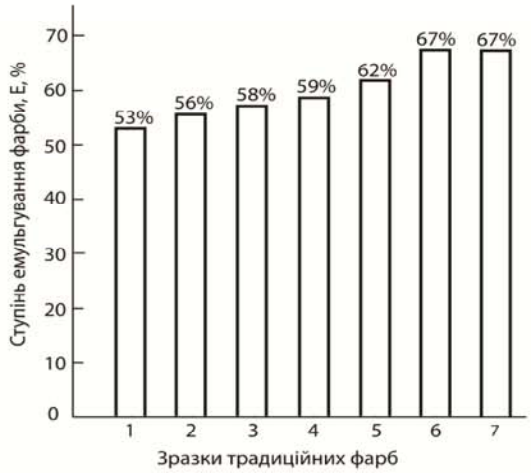
В'язкість модельних зразків фарби:
1 — мф1; 2 — мф2; 3 — мф3; 4 — мф4;
5 — мф5; 6 — мф6



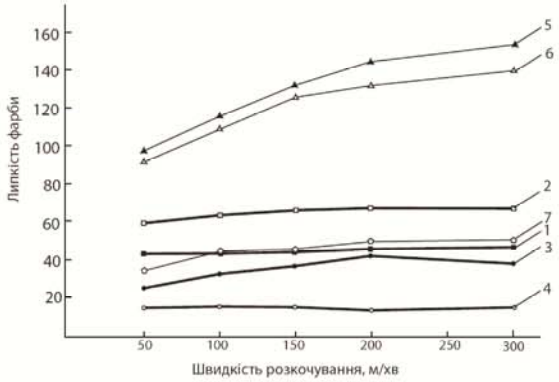
Ступінь емульгування металізованої УФ-фарби
та тріадних УФ-фарб:
1 — мУФф1; 2 — УФф2; 3 — УФф3; 4 — УФф5; 5 — УФф5



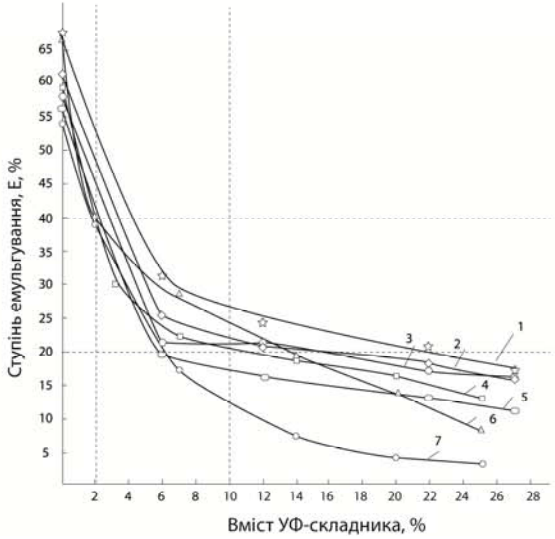
Ступінь емульгування традиційних фарб:
1 — ф1; 2 — ф2; 3 — ф3; 4 — ф4;
5 — ф5; 6 — ф6; 7 — ф7



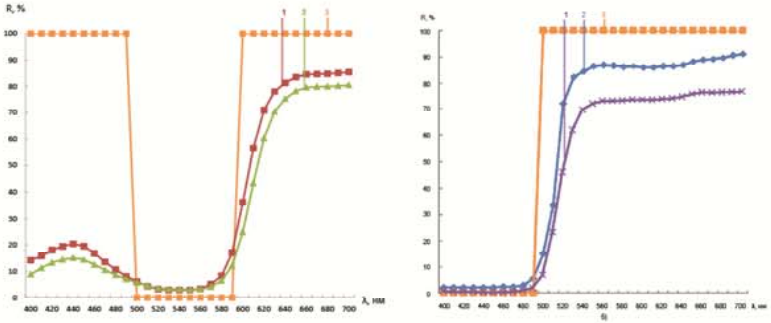
Липкість модельних зразків фарби:
1 — мф1; 2 — мф2; 3 — мф3; 4 — мф4; 5 — мф5; 6 — мф6;
7 — мф7



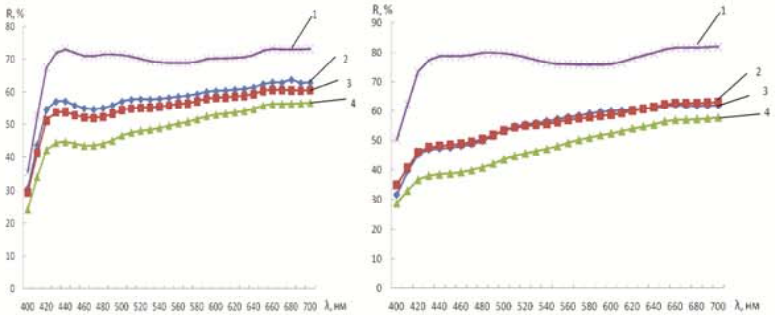
Ступінь емульгування модельних зразків фарби залежно
від вмісту УФ-складника: 1 — мф1; 2 — мф2; 3 — мф3; 4 — мф4; 5 — мф5; 6 — мф6; 7 — мф7



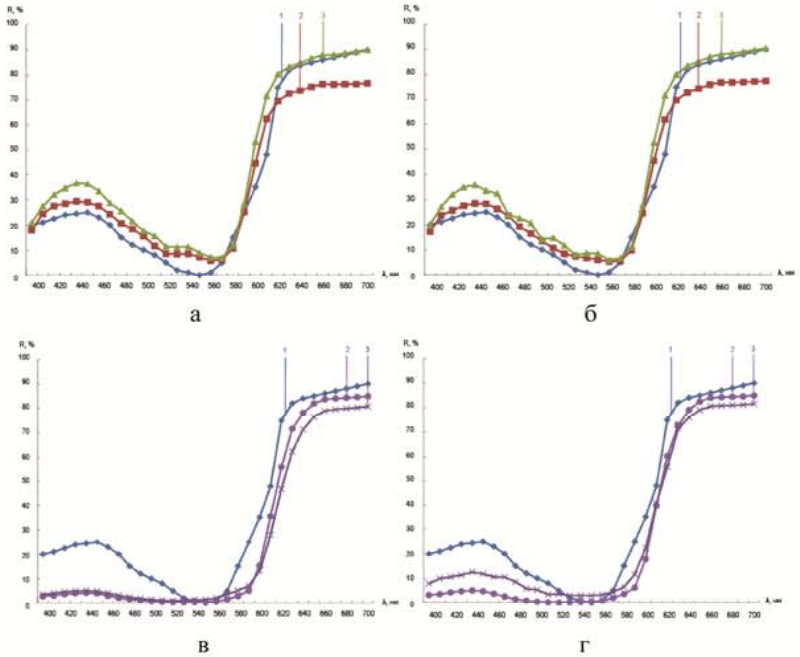
Колірні характеристики відбитків



Криві відбивання під час друкування: а) гібридною пурпурною фарбою,
б) фарбою для друкування на невсотувальних поверхнях;
крива 3 – ІФ, а) крива 1 – РПФ при дуркуванні на невсотувальних поверхнях;
крива 2 - РПФ при дуркуванні на пористих поверхнях
б) крива 1 – РЖФ при дуркуванні на аркушах пластику з ПВХ;
крива 2 - РЖФ при дуркуванні на на аркушах пластику з ПС

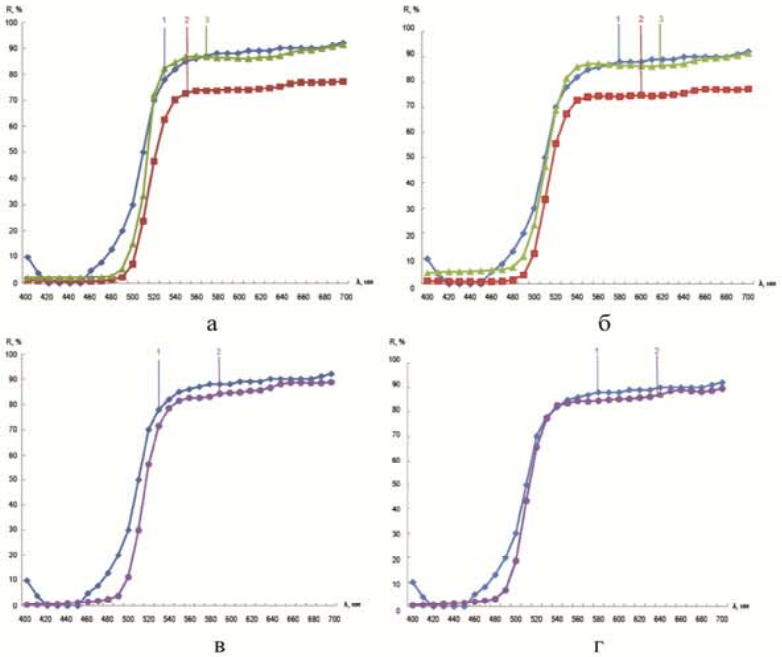


Криві відбивання при друкуванні з переконтактом на папері
а) офсетному, б) крейдованому, фарбами:
а) 1 – УФ-металізована, 2 - традиційна металізована,
3 - гібридна металізована (2% УФ), 4 - гібридна металізована (20 % УФ)
б) 1 – УФ-металізована, 2 - гібридна металізована (2% УФ),
3 - традиційна металізована, 4 - гібридна металізована (20 % УФ)



а б в г

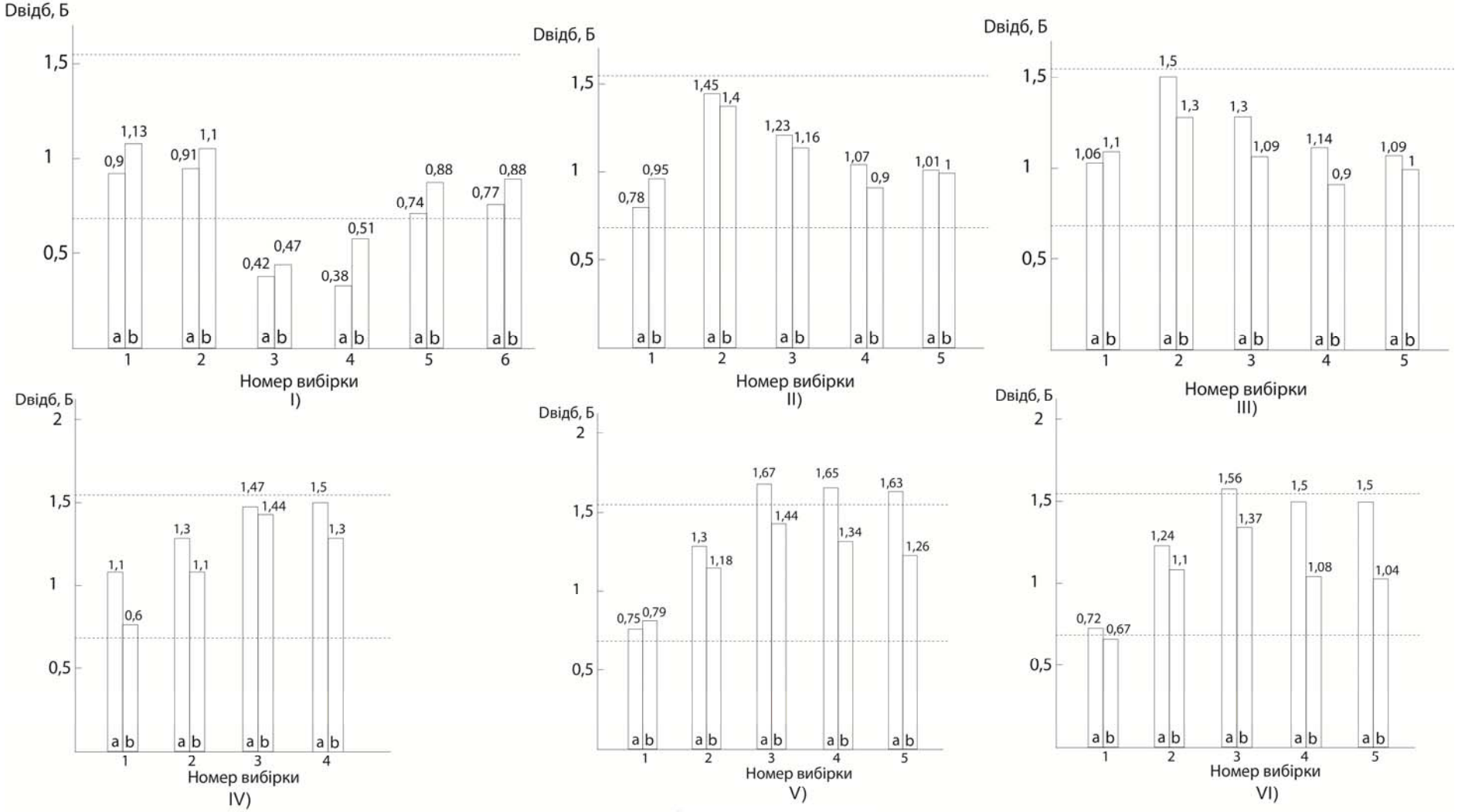
Криві відбивання під час друкування з переконтактом гібридною
пурпурною фарбою на аркушах пластику з ПС (крива 2), ПВХ (крива 3):
реальна пурпурна фарба — а, б (крива 1);
фарба гібридна (2% УФ) — а (криві 2, 3); фарба гібридна (10% УФ) — б (криві 2, 3)



а б в г

Криві відбивання під час друкування з переконтактом на:
а, б) аркушах пластику з ПС (крива 2), ПВХ (крива 3),
в, г) на крейдованому папері (крива 4);
реальна фарба — а-г (крива 1); фолієва фарба — а, в (криві 2, 3);
модельна фарба для невсотувальних поверхонь — б, г (криві 2, 3)

Оптична густина відбитків



Оптична густина плашки:

I) 1, 2 – Magenta; 3, 4 – металізована золота; 5, 6 – Yellow; a – офсетний папір; b – газетний папір

II) фарба гібридна (2% УФ) на аркушах пластику з: a – ПС; b – ПВХ

III) фарба гібридна (10% УФ) на аркушах пластику з: a – ПС; b – ПВХ

IV) на крейдованому папері: a – фолієва фарба; b – фарба для невсотувальних поверхонь

V) фолієвою фарбою на аркушах пластику з: a –ПС; b – ПВХ

VI) модельною фарбою для невсотувальних поверхонь на аркушах пластику з:a –ПС; b – ПВХ

Фарбоперенесення і фарбосприйняття корегованим технологічним середовищем

$y=-13{,}96x^2+37{,}89x+5{,}8$ (1)

$y=-7{,}68x^2+31{,}4x+0{,}42$ (2)

$y = -92{,}35x^2 + 20{,}99x + 52{,}4$ (1)

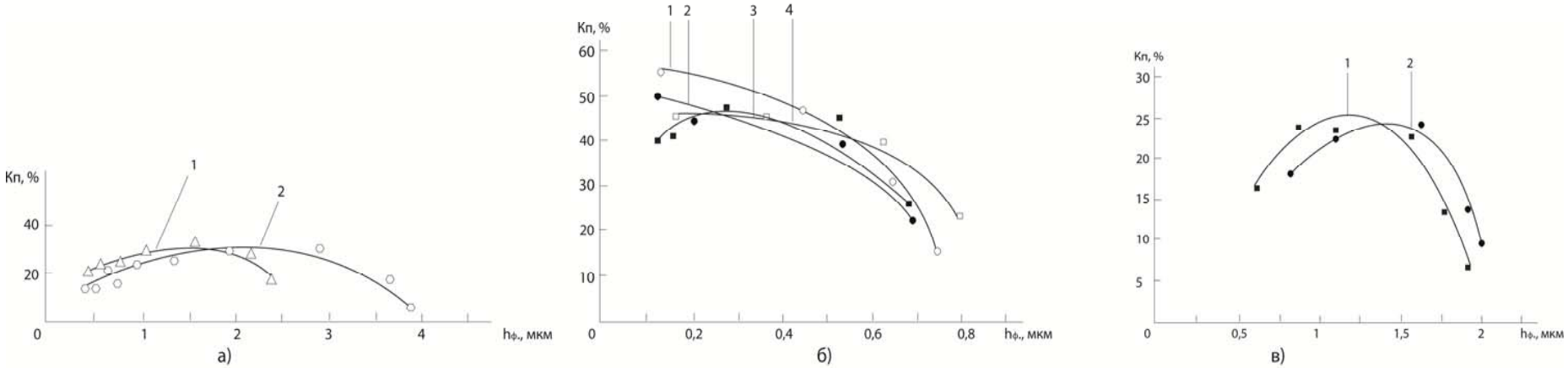
$y = -56{,}87x^2 + 4{,}42x + 48$ (2)

$y = -306{,}07x^2 + 308{,}74x - 29{,}86$ (3)

$y = -302{,}02x^2 + 239{,}01x + 4{,}4$ (4)

$y = -30{,}903x^2 + 69{,}72x - 13{,}784$ (1)

$y = -43{,}031x^2 + 118{,}89x - 56{,}29$ (2)

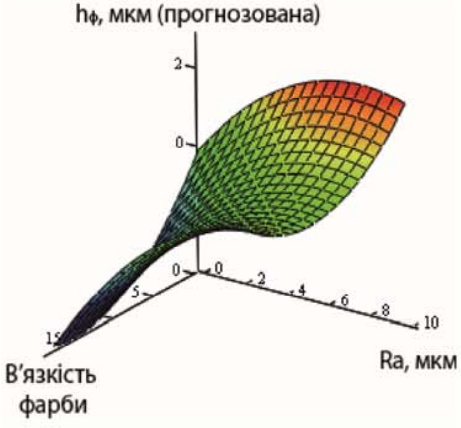


Залежність коефіцієнту фарбоперенесення від товщини шару фарби на формі за постійних швидкості друку V=2,5 м/с і тиску P=1,11 МПа для друкування з переконтактом у парі «форма-ОГТП»:
а) 1 — фарба гібридна (10 % УФ), офсетний папір, 2 — фарба гібридна (10 % УФ), крейдований папір; б) 1, 2 — фарба гібридна (2%УФ), 3, 4 — фарба гібридна (10%УФ), 1, 3 — аркуші пластику з ПС; 2, 4 — аркуші пластику з ПВХ; в) фарба модельна для невсотувальних, 1 — аркуші пластику з ПВХ, 2 — аркуші пластику з ПС

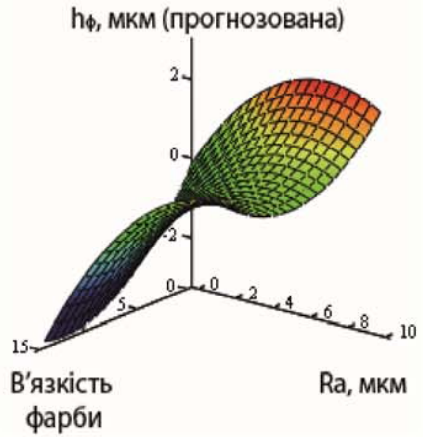
Модель управління процесом формування відбитка у високопродуктивному технологічному процесі

В результаті проведених досліджень отримані математичні моделі залежності у від x_1-x_4 в широкому діапазоні значень факторів. Залежність оптичної густини плашок від факторів описується рівнянням:

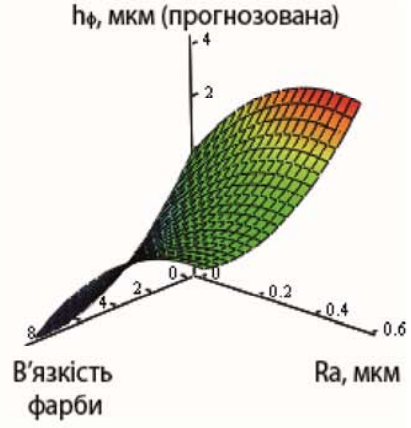
$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 1{,}14 - 0{,}2\,x_1^2 - 0{,}14x_1^2x_2^2 - 0{,}18x_3^2x_4 - 0{,}18x_2^2$$



а)



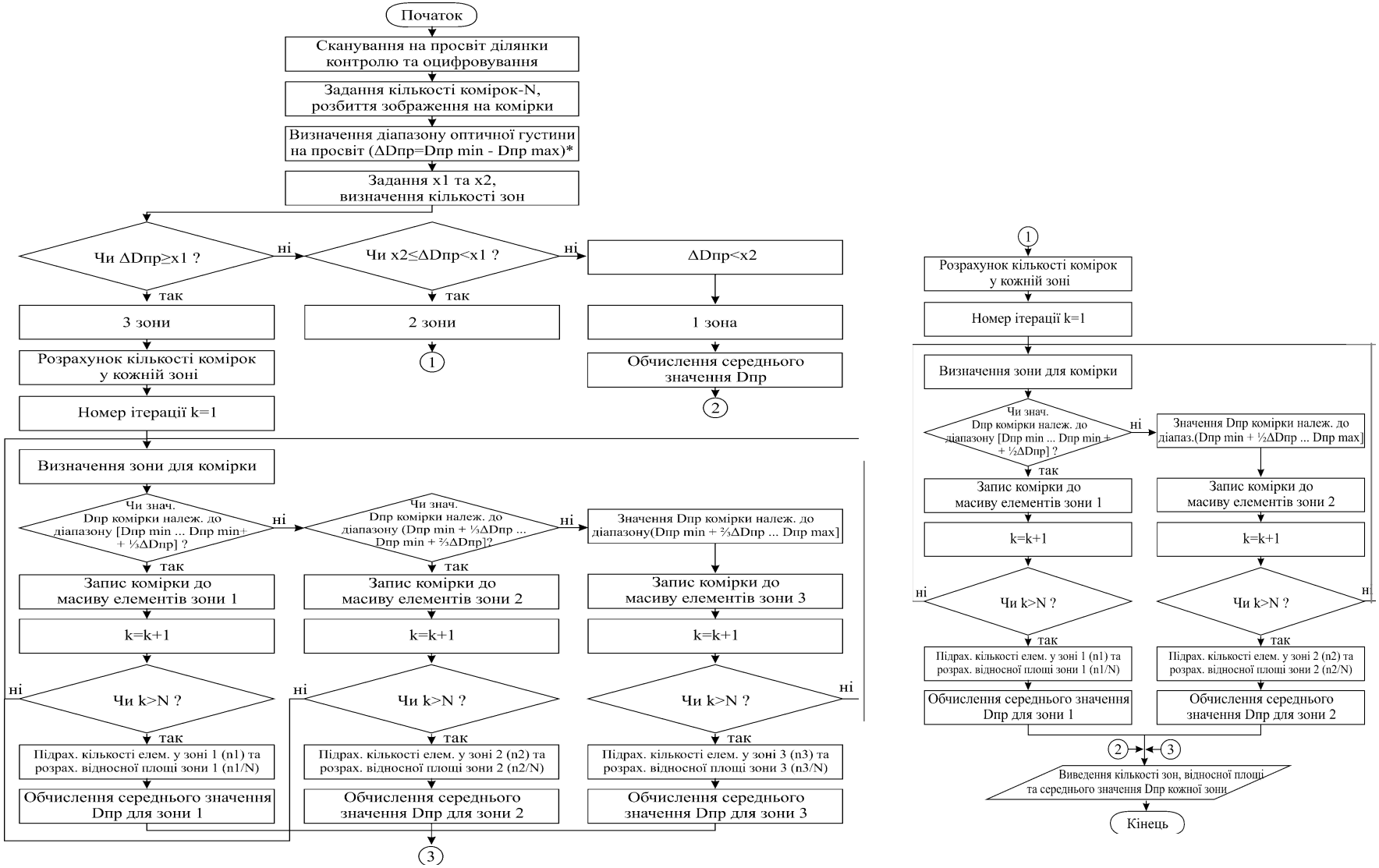
б)



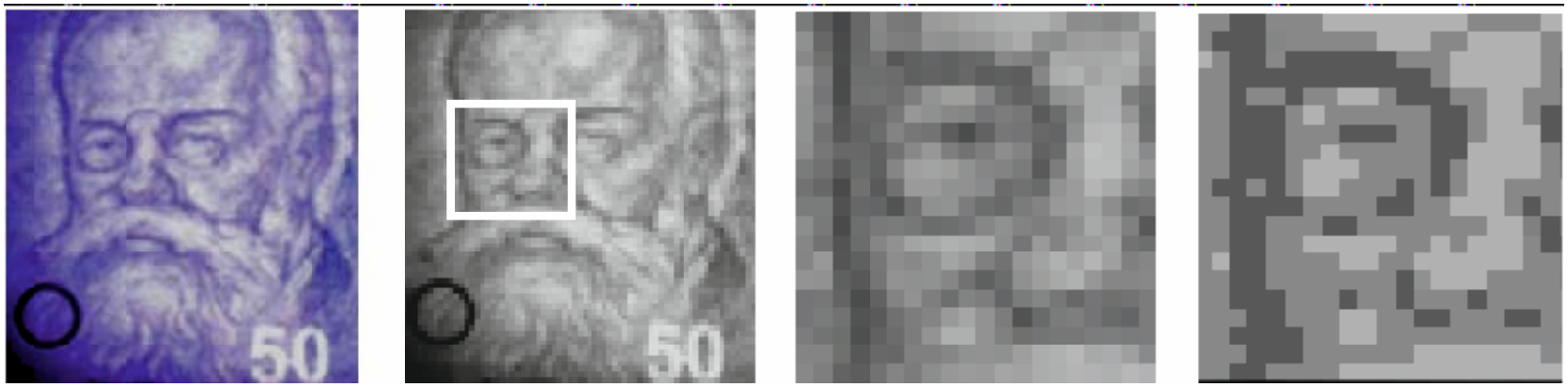
в)

Графічна залежність hф = f(η, Ra) для системи «фарба—відбиток»:
а – невсотувальний задруковуваний матеріал, друкарська фарба для невсотувальних поверхонь (корегована);
б – крейдований папір, гібридна друкарська фарба;
в – синтетичний папір, друкарська фарба для невсотувальних поверхонь (корегована)

Алгоритм визначення оптичної густини паперу на просвіт у зоні контролю



Етапи визначення параметрів просвіту ділянки паперу з півтоновим водяним знаком



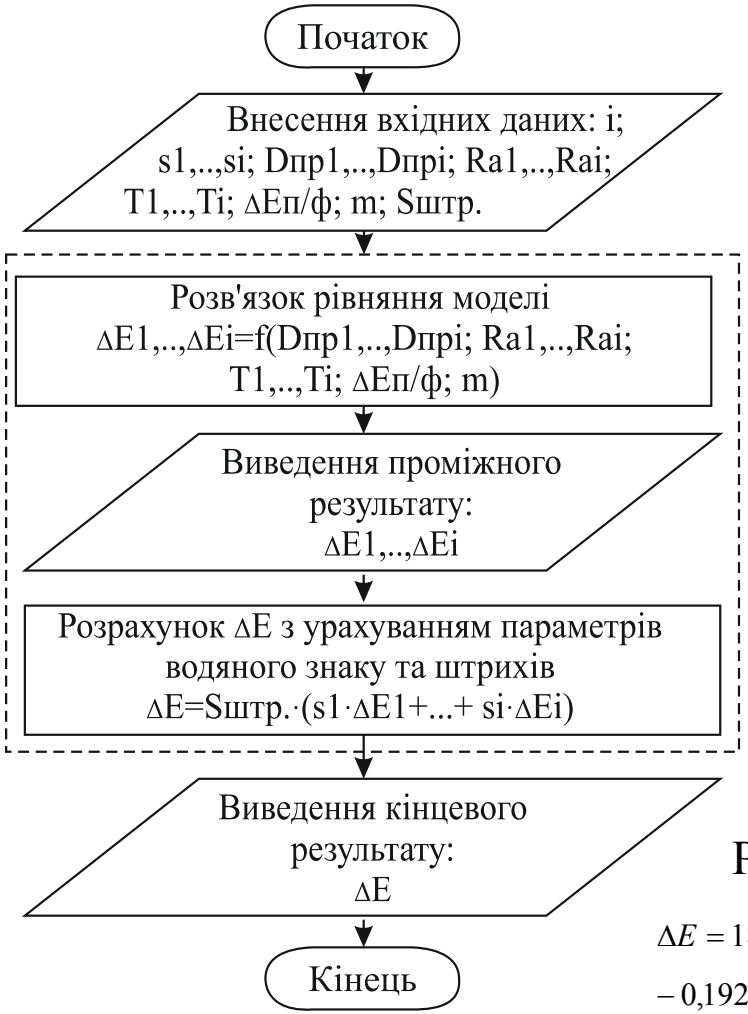
а *б* *в* *г*

а, б – відскановане на просвіт зображення;
в – ділянка зображення, розбита на комірки;
г – ділянка зображ., поділена на умовні зони із середнім знач. оптичної густини

Розраховане значення параметрів просвіту даної ділянки

Зони	Кількість комірок у певній зоні n	Середнє значення коефіцієнтів $r = g = b$	Середнє значення оптичної густини на просвіт $D_{пр}$	Відносна площа комірок певної зони s, %
Зона 1	99	155	0,69	25
Зона 2	205	143	0,81	51
Зона 3	96	111	0,95	24

Алгоритм визначення зміни кольору звороту відбитків внаслідок перебивання фарби



$D_{пр}$ - оптична густина на просвіт незадрукованого паперу;

R_a, мкм - шорсткість незадрукованого паперу;

T, мм - товщина незадрукованого паперу;

i - кількість умовних зон;

$s_1,...,s_i$ - відносна площа кожної зони;

$\Delta E_{п/ф}$ - відмінність між кольором паперу та кольором фарби;

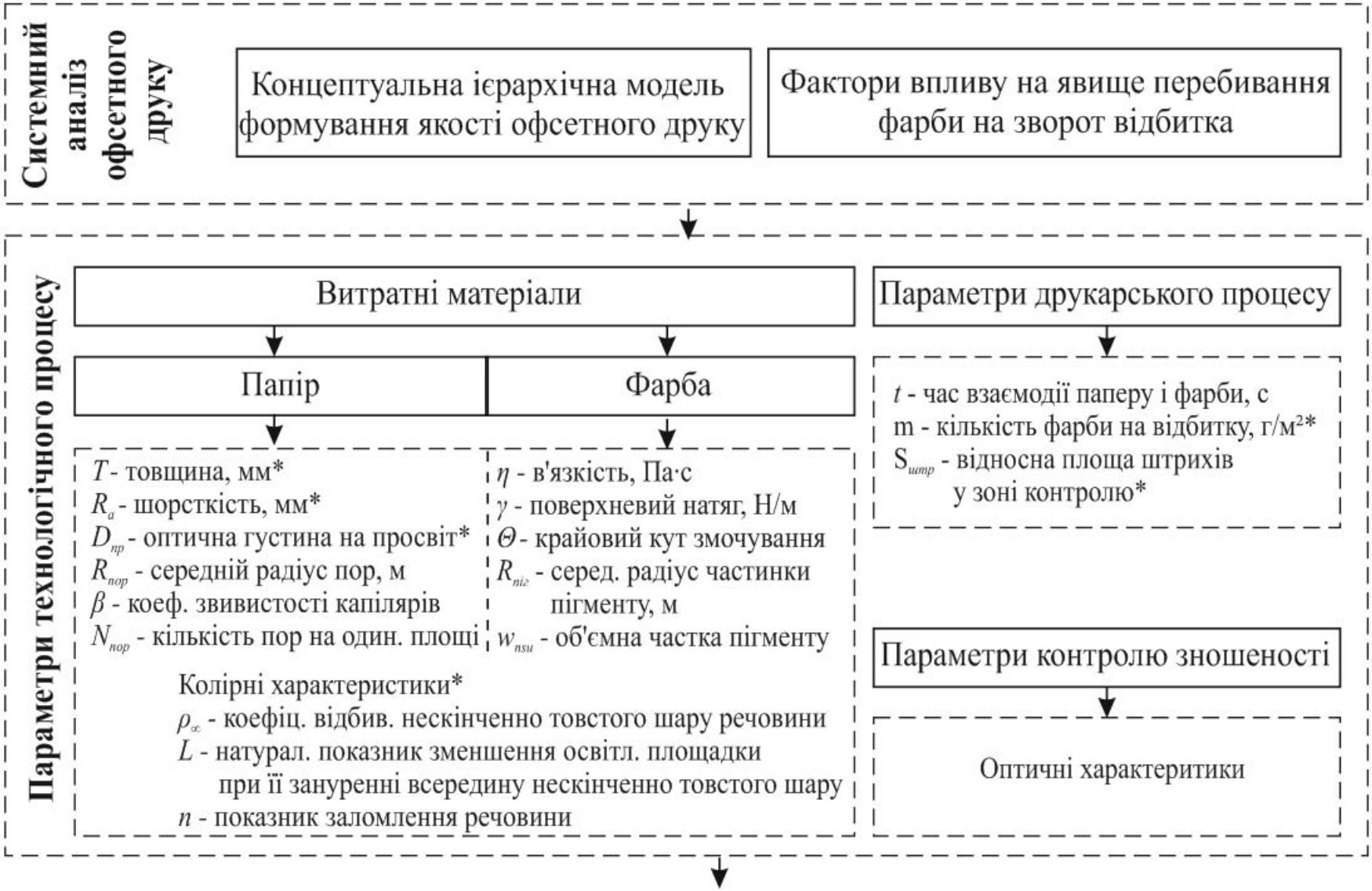
m, г/м² - кількість нанесеної фарби;

$S_{штр.}$) - відносна площа штрихів у зоні контролю

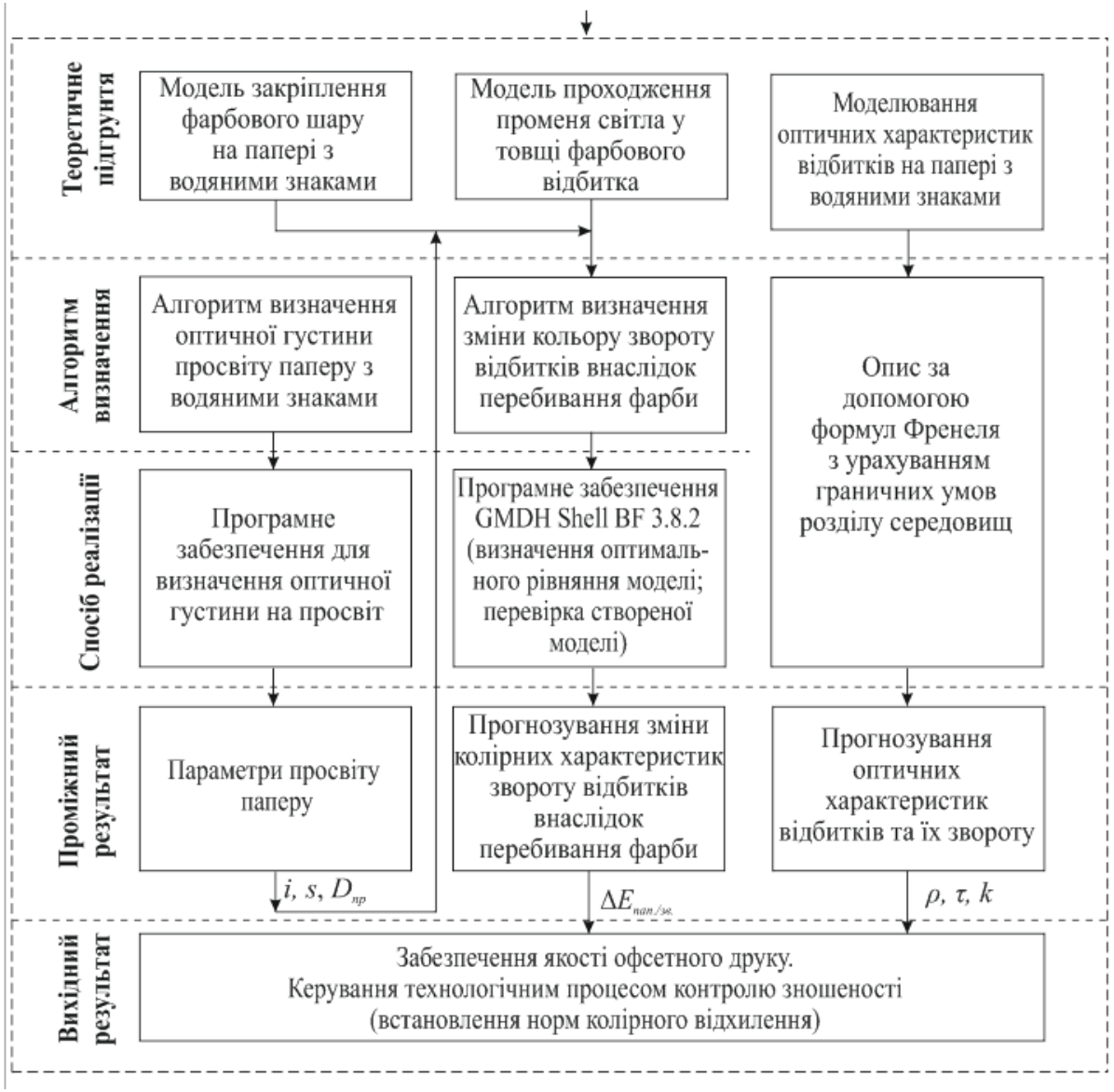
Рівняння моделі зміни кольору звороту відбитка:

$$\Delta E = 189{,}418 - 2{,}1006 \cdot \Delta E_{п/ф} + 2{,}01339 \cdot m - 1974{,}52 \cdot D_{пр.} + 0{,}0123078 \cdot \Delta E_{п/ф}{}^2 -$$
$$- 0{,}192043 \cdot m^2 - 0{,}884714 \cdot R_a{}^2 + 539{,}432 \cdot D_{пр.}{}^2 + 136{,}654 \cdot T^2 + 0{,}664916 \cdot \sin \Delta E_{п/ф} +$$
$$+ 0{,}490147 \cdot \sin m - 0{,}884714 \cdot \sin R_a + 1589{,}25 \cdot \sin D_{пр.}$$

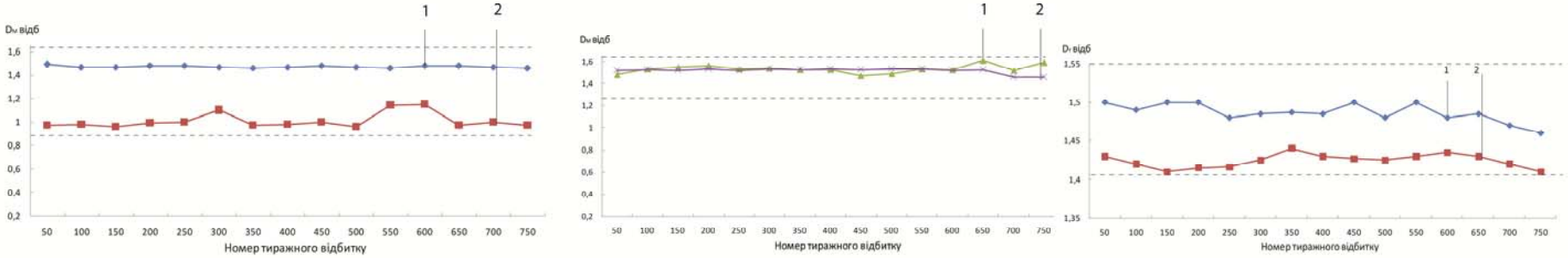
Структурно-логічна схема технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот



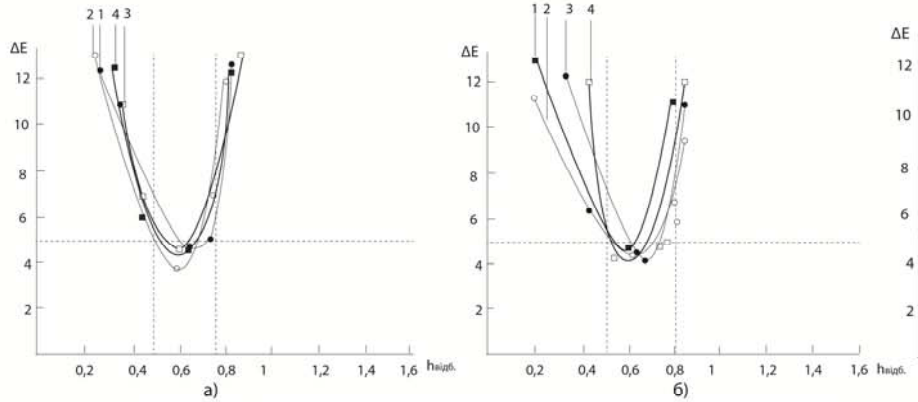
Структурно-логічна схема технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот (продовження)



Виробничі випробування

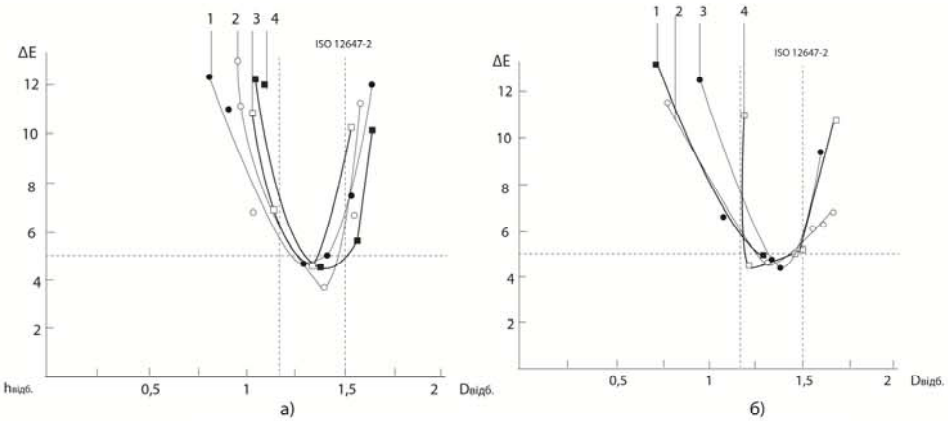


Залежність оптичної густини плашки від номера тиражних відбитків:
а) гібридної фарби: 1 — крейдований папір, 2 — офсетний папір; б) гібридної фарби: 1 — аркуші пластику з ПС, 2 — аркуші пластику з ПВХ;
в) модельної фарби для невсотувальних поверхонь: 1 — аркуші пластику з ПС, 2 — аркуші пластику з ПВХ



Залежність колірних відмінностей від товщини шару фарби на папері:
а) на 1, 4 — аркуші пластику з ПС, 2, 3 — аркуші пластику з ПВХ:
1, 2 — фарба гібридна (2% УФ), 3, 4 — фарба гібридна (10% УФ);
б) на 2, 4 — аркуші пластику з ПС, 1, 3 — аркуші пластику з ПВХ:
1, 4 — модельна фарба для невсотувальних поверхонь,
2, 3 — фолієва фарба

$y = 124{,}37x^2 - 168{,}54x + 61{,}761,\ R^2 = 0{,}8758$
$y = 89{,}976x^2 - 98{,}193x + 31{,}586,\ R^2 = 0{,}9606$
$y = 136{,}1x^2 - 145{,}59x + 42{,}648,\ R^2 = 0{,}957$
$y = 149{,}7x^2 - 163{,}96x + 48{,}257,\ R^2 = 0{,}9656$
$y = 95{,}381x^2 - 97{,}429x + 29{,}388,\ R^2 = 0{,}9837$
$y = 112{,}88x^2 - 101{,}93x + 25{,}358,\ R^2 = 0{,}9863$



Залежність колірних відмінностей від оптичної густини відбитків:
а) на 1, 4 — аркуші пластику з ПС, 2, 3 — аркуші пластику з ПВХ:
1, 2 — фарба гібридна (2% УФ),
3, 4 — фарба гібридна (10% УФ);
б) на 2, 4 — аркуші пластику з ПС, 1, 3 — аркуші пластику з ПВХ:
1, 4 — модельна фарба для невсотувальних поверхонь, 2, 3 — фолієва фарба

$y = 26{,}409x^2 - 65{,}378x + 44{,}815,\ R^2 = 0{,}93,$
$y = 28{,}034x^2 - 70{,}057x + 48{,}567,\ R^2 = 0{,}99,$
$y = 18{,}783x^2 - 50{,}925x + 39{,}329,\ R^2 = 0{,}99,$
$y = 18{,}301x^2 - 53{,}072x + 42{,}893,\ R^2 = 0{,}96.$

Впровадження результатів дослідження та апробація

Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено у виробництво на Банкнотно-монетному дворі Національного банку України та на ТОВ «САЛЮТІС ПРІНТ». Загальний економічний ефект від впровадження розробок становить 645 276,28 грн.

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва та кафедрі репрографії КПІ ім. Ігоря Сікорського під час проведення лекційних, лабораторних та практичних занять з дисциплін «Теорія кольору», «Основи світлотехніки», «Матеріали зі спеціальними властивостями».

Розроблено технологічні інструкції:

— процесу стабілізації кольоровідтворення за параметрами друкування корегованим технологічним середовищем, що підтверджено актами виробничих випробувань на підприємствах галузі: ТПП «Зодіак», ТОВ «Європрінт», ТОВ «Іноє-Прінт», ТОВ «САЛЮТІС ПРІНТ».

За результатами досліджень опубліковано 67 наукових праць, у тому числі 18 статей в наукових фахових виданнях, з них 4 – у закордонних виданнях, з них 1 – в міжнародному фаховому виданні з переліку Scopus, 6 патентів України на корисну модель, 1 свідоцтво на авторське право, 41 теза доповідей на науково-технічних конференціях, 1 методична праця.

Загальні висновки

1. Уперше:

– теоретично обґрунтовано механізм формування оптичних характеристик відбитка, отриманого офсетним друком на папері з водяними знаками;

– здійснено моделювання зміни кольору звороту відбитків унаслідок перебивання фарби, яке враховує взаємозв’язок між структурними властивостями паперу, колірними характеристиками паперу і фарб, кількістю фарби на відбитку, параметрами мікроштрихів та колірними показниками звороту відбитку, що дозволить прогнозувати якість друку й ураховувати колірність звороту під час автоматизованого сортування банкнот;

– розроблено математичну модель на основі рівняння регресії, яка визначає вплив параметрів (товщини шару фарби на формі, мікронерівностей поверхні задруковуваного матеріалу, в’язкості фарби, поглинальної здатності зволожувального розчину фарбою) на стабільність кольоровідтворення за умови мінімізації товщини фарбових шарів на задруковуваних матеріалах;

– встановлено закономірності стабільності водно-фарбового балансу у офсетному друці гібридними фарбами на основі розробленої математичної моделі для прогнозування процесу друкування, що дозволяє визначити оптимальний композиційний склад фарби, при якому ступінь емульгування знаходитиметься в межах 20-40%, а час закріплення відбитків не перевищуватиме 20 с;

– здійснено кореляційний аналіз взаємного зв’язку між характеристиками поверхні задрукованого та незадрукованого паперу (параметрами шорсткості та фрактальною розмірністю і амплітудним коефіцієнтом поверхні) та оптичними характеристиками відбитків (оптичною густиною, колірними відмінностями), що уможливило прогнозування оптичних характеристик відбитків та урахування відмінностей оптичних характеристик у зонах водяних знаків та поза їх межами.

Загальні висновки (продовження)

2. Дістали подальшого розвитку:

– модель закріплення фарбового шару офсетного друку, що враховує особливості формування фарбового шару на папері з водяними знаками, яку підтверджено вперше отриманим комплексом спектрофотометричних та мікроскопічних досліджень зрізів паперу з водяними знаками;

– технологічні основи друкування за встановленими закономірностями зміни колірних характеристик відбитків залежно від властивостей задруковуваних матеріалів і умов формування відбитків, які полягають у забезпеченні мінімізації фарбових шарів та стабільності кольоровідтворення.

3. Удосконалено:

– концептуальну модель формування якості офсетного друку, в якій виділено критерії, що підлягають автоматизованому встановленню під час вихідного контролю готової продукції та визначенню зношеності, що дозволяє цілеспрямовано обирати напрями забезпечення якості офсетного друку, здійснювати вхідний контроль матеріалів, вихідний контроль готової продукції та корегувати процес.

– математичну модель структури поверхні незадрукованого та задрукованого банкнотного паперу, котрі з урахуванням комплексу вперше отриманих на основі контактної та оптичної профілометрії експериментальних даних щодо шорсткості різних ділянок незадрукованого та задрукованого банкнотного паперу та уперше встановлених фрактальних розмірностей та амплітудного коефіцієнту задрукованого паперу з водяними знаками дозволяють описати структуру поверхні паперу для подальшого цілеспрямованого керування показниками якості відбитків.

Дякуємо за увагу!