

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

На правах рукопису

Талімонова Надія Леонідівна

УДК 655.3.066.36

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
БАНКНОТНИХ ВІДБИТКІВ**

Спеціальність 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук,
професор Киричок Т. Ю.

Київ – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЯКОСТІ ДРУКУ ЦІННИХ ПАПЕРІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПАПЕРУ	16
1.1. Особливості захисту та виготовлення захищеного від підробки паперу	16
1.2. Проблеми забезпечення відповідної якості друку банкнот та проблеми автоматизованого сортування банкнот	21
1.3. Способи дослідження структури паперу та їх придатність для визначення структурних характеристик захищеного паперу	24
1.4. Аналіз попередніх досліджень впливу структури паперу на якість друку	30
Висновки до розділу 1	37
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИЩЕНОГО ПАПЕРУ НА ЯКІСТЬ ДРУКУ	39
2.1. Статистичні дослідження щодо виявлення основних дефектів банкотної продукції	39
2.2. Структура захищеного паперу та її вплив на друкарсько- технічні показники	45
2.3. Моделювання проникнення фарби у структуру паперу	52
2.4. Оптичні явища у товщі фарбового шару	59
2.5. Моделювання оптичних характеристик відбитків, отриманих на захищеному папері	64
Висновки до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	73
3.1. Підготовка досліджуваних зразків	73
3.2. Методика дослідження структурних характеристик зразків	75

3.2.1. Дослідження мікрогеометрії поверхні паперу	76
3.2.2. Дослідження просвіту паперу	78
3.2.3. Дослідження товщини паперу	79
3.3. Методика дослідження проникнення фарби в товщу паперу	79
3.4. Методика дослідження оптичних та колірних характеристик відбитків та їх звороту	81
3.5. Методика оброблення експериментальних даних	82
Висновки до розділу 3	85
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	86
4.1. Структурні характеристики зразків	86
4.2. Проникнення фарби у товщу паперу	88
4.3. Оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту	91
4.3.1. Визначення оптичної густини відбитків та їх звороту, отриманих на папері з водяними знаками	91
4.3.2. Визначення колірних характеристик відбитків, отриманих на папері з водяними знаками	93
4.3.3. Визначення колірних характеристик відбитків та їх звороту, отриманих на одно- та двошаровому банкнотному папері	95
4.4. Кореляційний аналіз впливу структурних параметрів паперу на оптичні характеристики відбитків та їх звороту	100
4.5. Кореляційний аналіз впливу структурних параметрів паперу на колірні характеристики звороту відбитків	104
Висновки до розділу 4	104
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОФСЕТНОГО ДРУКУ	107
5.1. Розроблення алгоритму визначення характеристик просвіту банкнотного паперу в зоні контролю	107
5.2. Розроблення алгоритму визначення зміни кольору звороту відбитка, що виникає внаслідок перебивання фарби на зворот та врахування під час автоматизованого сортування банкнот	112

5.3. Методика математичного моделювання технологічних параметрів за допомогою методу групового врахування аргументів	115
5.4 Система технологічного забезпечення якості офсетного друку з урахуванням перебивання на зворот	121
Висновки до розділу 5	124
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	129
ДОДАТКИ	140
Додаток А. Акти впровадження у виробничий та навчальний процес	141
Додаток Б. Патенти	156
Додаток В. Протокол перевірки якості сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2011 року автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000	164
Додаток Г. Параметр шорсткості R_a суміжних ділянках паперу	166
Додаток Д. Оптична густина відбитків та їх звороту	167
Додаток Ж. Експериментальні дані визначення структурних характеристик паперу та колірних характеристик матеріалів та звороту відбитків	168

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

$l_{пор}$ – глибина проникнення фарби в пору;

$R_{пор}$ – середній радіус пор, м;

γ – поверхневий натяг фарби, Н/м;

Θ – крайовий кут змочування;

t – час проникнення, с;

η – в'язкість фарби, Па·с

β – коефіцієнт звивистості капілярів.

V – об'єм поглинутої фарби;

$N_{пор}$ – кількість пор на одиницю площі;

$w_{ніг}$ – об'ємна частка пігменту у фарбі;

S – площа поверхні, покритої шаром відфільтрованих пігментів;

$l_{ф}$ – глибина проникнення фарбової системи;

$l_{рід}$ – глибина проникнення рідкої складової фарби;

$l_{ніг}$ – товщину шару відфільтрованого пігменту;

ρ – коефіцієнт розсіювання;

τ – коефіцієнт пропускання;

k – коефіцієнт поглинання;

ρ_{∞} – коефіцієнт відбивання нескінченно товстого шару речовини;

L – натуральний показник зменшення освітленості площадки при її зануренні всередину нескінченно товстого шару;

$n_0, n_{фар.}, n_{пап.}, n_{піг.}, n_{зв.}$ – показники заломлення повітря, фарби, паперу, пігменту та зв'язуючого відповідно;

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю;

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

D – оптична густина відбитка;

$D_{звор}$ – оптична густина звороту відбитка;

T – товщина незадрукованого паперу, мкм;

i – кількість умовних зон водяного знаку;

s_i – відносна площа i -ої умовної зони водяного знаку;

$\Delta E_{n/\phi}$ – відмінність між кольором паперу та кольором фарби;

m – кількість нанесеної фарби, г/м²;

$S_{\text{штр}}$ – відносна площа штрихів у зоні контролю.

ΔE – колірні відмінності;

МГУА – метод групового урахування аргументів.

ВСТУП

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

Основними факторами, що впливають на якість поліграфічної продукції, є характеристики застосовуваних матеріалів та параметри налаштування друкарського обладнання. Оскільки технологія виготовлення захищеного паперу має особливості, які визначають його структурні та фізико-механічні властивості, це може вплинути на якість поліграфічного відтворення на цьому виді паперу. Для забезпечення чіткості та однорідності відбитка необхідною умовою є не лише досягнення повного контакту всіх елементів зображення на контактувальних поверхнях у зоні друкарського контакту, а й рівномірне поглинання фарби структурними елементами паперу. Зважаючи на це, необхідним є врахування як характеристик мікрогеометрії поверхні паперу, так і макронерівностей, пов'язаних з неоднорідністю об'єму на ділянках водяних знаків.

Наразі вчені виокремлюють застосування двох підходів для визначення структурних характеристик паперу, один з яких ґрунтується на вивченні структурних неоднорідностей його поверхні, а другий – на вивченні рівномірності паперу в товщі, тобто рівномірності просвіту. Результати досліджень структурних неоднорідностей поверхні паперу та їх вплив на якість друку висвітлено в роботах Л. Г. Варєпо, А. В. Голунова, А. С. Борисової, Т. Ю. Киричок, О. М. Величко, С. Ф. Гавенко, Б. Н. Шахкельдяна, М. Фарелла, М. Меттанен та інших учених. Вплив характеристик просвіту паперу на якість поліграфічного відтворення подано в роботах Л. А. Козаровицького, В. Н. Леонтьєва, Д. В. Дунаєва, А. К. Хмельницького. Показники кореляції результатів цих досліджень свідчать, що для більш достовірного прогнозування якості друку слід застосовувати обидва підходи у комплексі.

Варто зазначити, 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. Отже, для об'єктивного оцінювання структури паперу з водяними знаками має бути розроблено спеціальну методику.

Оскільки вплив структури паперу на якість відбитків більшою мірою визначається нерівномірним поглинанням фарби, зі збільшенням неоднорідності структури на ділянках водяних знаків змінюється й відповідність колірних характеристик на відбитку оригіналу, а також нерівномірне перебивання фарби на зворот відбитка. Останнє може спричинити необґрунтоване вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених через перевищення допусків за показниками забруднення. Тому для забезпечення належної якості автоматизованого сортування банкнот має бути розроблено систему норм та допусків, яка б враховувала структурні особливості паперу на ділянці контролю.

У зв'язку із зазначеними недоліками наявних теоретичних і практичних підходів до оцінювання структурних характеристик паперу актуальним є розроблення методології визначення структурних неоднорідностей товщі захищеного паперу, моделювання оптичних і колірних характеристик відбитків та їх звороту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» і є складовою досліджень за господарськими договорами:

№ 08-12-301 від 28.07.2008 р. «Дослідження впливу параметрів паперу та офсетних фарб на колірні характеристики та насиченість банкнотних відбитків» (номер державної реєстрації 0109 U 005818), в якому автор дисертації брала

участь у розробленні методики проведення експериментальних, теоретичних досліджень та обробки й аналізу отриманих експериментальних даних;

№ 10-12-215 від 25.08.2010 р. «Дослідження впливу структури, фізико-механічних і колірних характеристик нового двошарового банкнотного паперу на друкарсько-технічні властивості та якість банкнотних відбитків» (номер державної реєстрації 0111 U 008780), в якому автором дисертації встановлено залежність якості кольоровідтворення від кількості нанесеної фарби, колірних та структурних характеристик паперу (дод. А).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є розроблення технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням його структурних характеристик.

Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати основні види браку банкнотної продукції та їх питому вагу і встановити напрями підвищення якості банкнотних відбитків.

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.

4. Розробити модель формування оптичних характеристик відбитків та їх звороту для паперу з водяними знаками, яка б ураховувала глибину проникнення та розподіл компонентів фарби в папері.

5. Провести кореляційний аналіз взаємного зв'язку між структурними характеристиками паперу, зокрема у зоні водяного знака, та оптичними параметрами відбитка та його звороту.

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

7. 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 банкнот.

8. Розробити систему технологічного забезпечення визначення показників якості відбитків, отриманих офсетним способом друку на папері з водяними знаками.

Об'єктом дослідження є технологічний процес офсетного друку на папері з водяними знаками.

Предметом дослідження є взаємозв'язок між показниками якості відбитків, отриманих офсетним друком на папері з водяними знаками, та структурними і колірними характеристиками паперу, а також параметрами технологічного процесу.

Методи дослідження

Поставлені задачі вирішувалися комплексно, через проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження виконувалися на сучасному технологічному устаткуванні в лабораторних умовах і на поліграфічному виробництві. Під час вирішення поставлених задач використовувались методи математичного моделювання, контактної профілометрії, світлової мікроскопії, спектрофотометрії.

У роботі використовувалося метрологічно каліброване обладнання та прилади: лабораторний друкарський прилад IGT Reptest B.V.C1, офсетна машина Heidelberg Printmaster GTO 52-2, профілометр із цифровим відліком та індуктивним пристроєм моделі 296 заводу «Калібр», світловий мікроскоп

Axiostar Imager, спектрофотометр Gretag Macbeth SpectroEye, денситометр GretagMacbeth QUIKDence 200, денситометр на просвіт Gretag D300.

Наукова новизна отриманих результатів

Уперше:

– теоретично обґрунтовано механізм формування оптичних характеристик відбитка, отриманого офсетним друком на папері з водяними знаками, виявлено та класифіковано фактори впливу на явище перебивання фарби на зворот, що дозволяє разом із розробленою структурно-логічною схемою технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот цілеспрямовано обрати вхідні параметри для наступного моделювання якості банкнотних відбитків та керування якістю банкнотної продукції на етапі офсетного друку;

– здійснено моделювання зміни кольору звороту відбитків внаслідок перебивання фарби, котре враховує взаємозв'язок між структурними властивостями паперу, колірними характеристиками паперу і фарб, кількістю фарби на відбитку, параметрами мікроштрихів та колірними показниками звороту відбитка, що дозволить прогнозувати якість друку та урахувувати колірність звороту відбитка під час автоматизованого сортування банкнот.

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, а також розвинутими аналітичними залежностями глибини проникнення та розподілу компонентів фарби у структурі паперу від загальної кількості та характеру пор паперу, дисперсності фарби та її реологічних властивостей, що у поєднанні з розвинутою імовірнісною моделлю взаємодії променя світла та фарбового відбитка уможливило подальше моделювання оптичних характеристик лиця і звороту відбитків та їх цілеспрямоване корегування;

– модель формування оптичних характеристик відбитків та їх звороту, яка враховує відмінності глибини проникнення та розподілу компонентів фарби у папері з різними структурними характеристиками суміжних ділянок, зокрема в папері з водяними знаками, і дозволяє прогнозувати якість друку та оптичні характеристики лиця та звороту відбитка.

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 визначення зношеності банкнот.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблена узагальнена класифікація дефектів банкотної продукції та отримані статистичні дані щодо кількості й розподілу дефектів банкнот української гривні на етапі вихідного контролю та післяопераційного контролю офсетного друку дозволяють обрати напрями забезпечення якості банкотної продукції на певних технологічних процесах, розвинути систему вихідного контролю та обґрунтовано встановлювати вагомість показників якості офсетного друку в банкнотному виробництві.

2. Здійснено кореляційний аналіз взаємного зв'язку між структурними характеристиками паперу, зокрема в зоні водяного знака, та оптичними характеристиками відбитка та його звороту, результати якого стали підтвердженням коректності розробленої моделі закріплення фарби на відбитку та підґрунтям для розроблення технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот.

3. Запропоновано методику визначення кількісних показників характеристик просвіту паперу для об'єктивного оцінювання структури паперу з півтоновими водяними знаками, котра у поєднанні з алгоритмом визначення

зміни кольору звороту відбитків й адаптованим програмним забезпеченням відповідно до розробленої структурно-логічної схеми технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот дозволить цілеспрямовано корегувати технологічний процес офсетного друку, прогнозуючи за результатами вхідного контролю оптичні характеристики відбитків та їх звороту та здійснюючи цілеспрямоване керування ними варіюванням параметрів технологічного процесу, а також на етапі контролю зношеності банкнот, встановлюючи обґрунтовані порогові значення оптичних показників загального забруднення та зношення під час налагодження сортувального обладнання. Застосування технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот дозволить на 7–12 % скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу через невідповідність оптичних показників зони контролю зношеності.

4. Розроблено захисну стрічку змінної ширини, найбільш вузька частина якої міститься на крайках банкноти та перпендикулярна їм, що дозволяє підвищити зносостійкість банкотної продукції, новизну якої захищено патентом на корисну модель України № 56679 (дод. Б).

5. Розроблено пристрій, призначений для перевірки достовірності банкнот та цінних паперів, новизну якого захищено патентом на корисну модель України № 70071 (дод. Б).

6. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено у виробництво на Банкотно-монетному дворі Національного банку України. Економічний ефект від впровадження розробок становить 322 598,04 грн.

7. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва НТУУ «КПІ» під час проведення лекційних, лабораторних та практичних занять з дисципліни «Теорія кольору» (дод. А).

Особистий внесок здобувача

Внесок здобувача полягає у безпосередній участі на всіх етапах процесу, в безпосередній підготовці та проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі їх результатів, постановці конкретних задач досліджень та обґрунтуванні висновків і практичних рекомендацій із застосуванням розробленої комплексної технології, оформленні результатів досліджень у вигляді патентів, публікацій у фахових виданнях і доповідей на конференціях. Основні результати роботи отримано самостійно. У публікаціях у співавторстві здобувачу належить: [7, 99–101] – експериментальні дослідження, аналіз, розрахунки даних, висновки; [102] – встановлення закономірності між якістю кольоровідтворення та кількістю нанесеної фарби, колірними та структурними характеристиками паперу; [67, 68] – розробка концептуальної моделі проникнення фарби у структуру паперу з водяними знаками, проведення спектрофотометричних вимірювань, аналіз результатів.

У двох патентах на корисні моделі, отриманих у співавторстві, частка дисертанта становить 50 та 35 %. В опублікованих у співавторстві працях дисертанту належать основні ідеї проведених досліджень і наукове обґрунтування основних теоретичних положень.

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи доповідалися на засіданнях кафедри технології поліграфічного виробництва та науково-практичних семінарах Видавничо-поліграфічного інституту НТУУ «КПІ», а також на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях: ІХ Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2009 р.); Х Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2010); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2010 р.); Pross. of the 42th Conference of international Circle of Educational Institutes for Grafic Arts, Technology and Management (Росія,

м. Москва, 2010 р.); XI Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка і технологія – 2010» (м. Київ, 2010 р.); XI Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2011 р.); XII Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2012 р.); XIV Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2014 р.); XV Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2015 р.);

Публікації

За результатами досліджень опубліковано 19 наукових праць, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях, із них 1 – у міжнародному фаховому виданні з переліку Scopus, 2 патенти України на корисну модель, 10 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЯКОСТІ ДРУКУ ЦІННИХ ПАПЕРІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПАПЕРУ

1.1. Особливості захисту та виготовлення захищеного від підробки паперу

Більшість цінних паперів виготовляють на паперових носіях інформації, тому значна кількість наявних методів захисту функціонує саме у цій галузі. Вимоги до захищених паперів можуть змінюватись відповідно до виду документа чи цінного паперу, який друкується на ньому. Для забезпечення надійного захисту від підробок основа для друку цінних паперів має відповідати таким вимогам [1–3]:

- папір має містити захисні волокна або інші включення, що контролюються у видимій або інших частинах спектра;
- папір не має містити оптичних відбілювачів (вимога визначена застосуванням захисних волокон та фарб, що проявляються в УФ-діапазоні);
- наявність водяних знаків;
- папір має бути придатний для задруковування кількома способами друку.

Включення у папір захисних ниток, волокон та конфеті є важливим засобом захисту. Захисна нитка, уведена в папір, буває прихованою – без відкритих ділянок на поверхні паперу або виробу, і віконною – частково видимою на поверхні. За візуальними і різними фізико-хімічними властивостями розрізняють нитки з голографічними ефектами; зображенням, видимим при звичайному світлі або на просвіт, в ультрафіолетовій або іншій області спектра; з магнітними чи іншими кодами; з металізованими і деметалізованими ділянками.

Захисні волокна та конфеті можуть бути видимі неозброєним оком або за допомогою спеціальної апаратури, мати інші хімічні, фізико-хімічні та фізичні властивості [1].

Як один з елементів захисту застосовують тонування паперу, що полягає у використанні фарбувальних речовин, які мають звичайні або специфічні зони поглинання електромагнітного спектра в різних умовах [1, 4].

Найдавнішим традиційним та надійним методом захисту паперового полотна є застосування водяних знаків. Водяний знак – це малюнки в паперовій масі, видимі на просвіт, що не тільки виконують захисні функції, а також підвищують загальний художній рівень цінних паперів [1]. Водяні знаки формуються переважно у процесі виготовлення паперу, проте є способи нанесення штучних водяних знаків на готовий папір, що використовується як допоміжний захист певної поліграфічної продукції [3].

На основі джерел [1, 5–11] було розроблено класифікацію водяних знаків, подану на рис. 1.1. Українська гривня має багатотоновий (портрет) та однотоновий водяний знак (номінал), що розміщуються в точно заданому місці на готовому виробі.

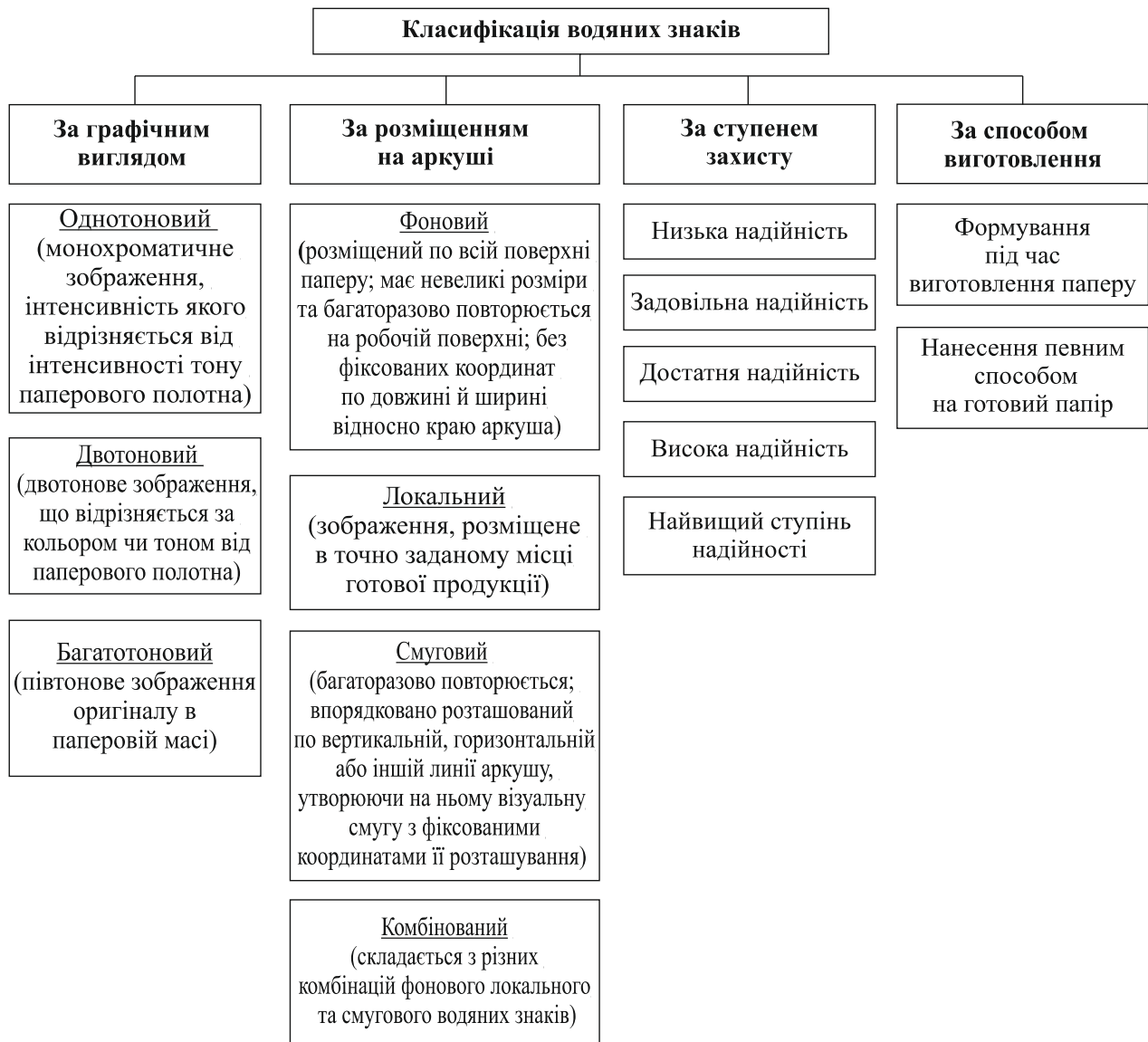


Рис. 1.1. Класифікація водяних знаків

Папір з однотонним водяним знаком можна отримати на плоскітковій папероробній машині, де для формування водяного знака використовується рівняльний вал, що має рельєф, який відповідає водяному знаку [12]. Таку технологію використовують для документів та цінних паперів із середнім ступенем захисту.

Формувати багаторівневі водяні знаки можна на круглосіткових папероробних машинах. Водяний знак формується за рахунок різного розміру комірок сітки: чим менший розмір комірки, тим темнішим на просвіт буде водяний знак. Двоциліндрові папероробні машини дозволяють формувати двошарове паперове полотно, причому властивості одного та другого шарів

можна дещо корегувати, вводячи певні допоміжні речовини в суспензію. Якщо у такий папір вводити захисну стрічку, вона буде рівномірно покрита волокнами паперу з обох боків [13].

Така технологія дозволяє отримати папір з багатотоновими водяними знаками, що використовуються для продукції з найвищим ступенем захисту, зокрема для банкнот.

У свою чергу, окрім наявних елементів захисту, папір повинен мати належні друкарсько-технічні та експлуатаційні властивості. Під час виготовлення основи для друку цінних паперів потрібно суміщати обидва цих фактори та забезпечувати такі характеристики [1–4, 12]:

- високе значення фізико-механічних показників паперу за потреби використання для його відливу і формування водяного знака паперової маси масного помелу і максимально однорідного фракційного складу;
- обмеження щодо зольності (контрастність водяного знака знижується з підвищенням зольності, падають міцнісні показники) та забезпечення високих друкарських характеристик паперу та його міцності;
- висока білизна паперу при забороні застосування оптичних відбілювачів;
- добре сприйняття папером кількох способів друку та можливість застосовувати ламінування голограмами, тиснення, перфорацію;
- забезпечення утримання у структурі паперу захисних елементів (волокон, конфеті) з розмірами, які значно перевищують розміри целюлозних волокон, при високих друкарських властивостях паперу;
- уведення у склад для поверхневого проклеювання паперу засобів, що забезпечують хімічний захист, які не завжди розчиняються у розчині для проклеювання [6].

На підставі аналізу джерел [1–6, 12–4] виявлено суперечності впливу параметрів технологічного процесу виготовлення захищеного паперу на його властивості. Цей вплив показано в табл. 1.1, де стрілки вказують тенденції до збільшення (↑) чи зменшення (↓) параметрів технологічного процесу та властивостей паперу.

Вплив деяких технологічних факторів на властивості захищеного паперу

Властивості паперу	Параметри технологічного процесу			
	Зольність↑	Довжина волокна↑	Ступінь помолу↑	Ступінь проклеювання↑
Міцність паперу	↓	↑	↓	↑
Пористість	↑	↓	↓	↓
Однорідність структури	↑	↓	-	—
Непрозорість	↑	—	↓	↓
Контрастність водяного знака	↓	—	↑	—
Яскравість паперу	↑	—	—	↓
Утримання захисних елементів у структурі паперу	—	↑	↓	↑

Зі збільшенням довжини волокна у паперовій масі міцнісні властивості паперу підвищуються, забезпечується краще утримання захисних елементів у структурі паперу, але друкарські властивості погіршуються, оскільки зменшується однорідність структури паперового аркуша. Зі збільшенням наповнювачів у папері його друкарські властивості підвищуються, але зменшується міцність та контрастність водяного знака на просвіт. Зміна ступеня помелу та проклеювання також неоднозначно впливають на кінцеві властивості паперу.

Отже, технологія виготовлення захищеного паперу має свої особливості, які визначають його структурні та фізико-механічні властивості. У свою чергу, відмінність деяких характеристик захищеного паперу від звичайного друкарського може спричинити різну якість поліграфічного відтворення.

1.2. Проблеми забезпечення відповідної якості друку банкнот та проблеми автоматизованого сортування банкнот

Виготовлення банкотної продукції вимагає водночас враховувати такі вимоги: забезпечення відповідного рівня захисту від фальсифікації, високої якості поліграфічного відтворення та забезпечення зносостійкості, що перешкоджає швидкому зношуванню банкнот у процесі обігу. Найбільш складними проблемами виготовлення банкотної продукції є високі вимоги до точності відтворення дрібних елементів зображення та колірності. Під час розроблення встановлюються мінімальні допуски на відхилення від оригіналу всіх параметрів. Для забезпечення належної якості кінцевого продукту технологічний процес виготовлення банкнот організовано таким чином, що на кожному етапі виробництва контролюється дотримання заданих параметрів якості продукції [15].

У роботі [16] визначено критерії якості виробництва банкотної продукції та напрями її забезпечення. Невідповідність якості банкнот встановленим критеріям може бути виявлена у процесі контролю на банкнотному виробництві. На підставі аналізу джерел [1–7] виявлено, що брак продукції може виникнути через низку показників: неналежна якість одного або кількох видів друку, несуміщення офсетного та інтаглідруку, перебивання фарби, невідповідне розміщення водяного знака чи захисної стрічки, невідповідність машинозчитуваних характеристик банкноти встановленим вимогам тощо. На рис. 1.2 показано класифікацію основних дефектів банкотної продукції, узагальнену нами. Актуальним є визначення відсоткового співвідношення основних видів браку банкотної продукції, що дозволить виявити напрями для забезпечення кращої якості на певних етапах технологічного процесу.

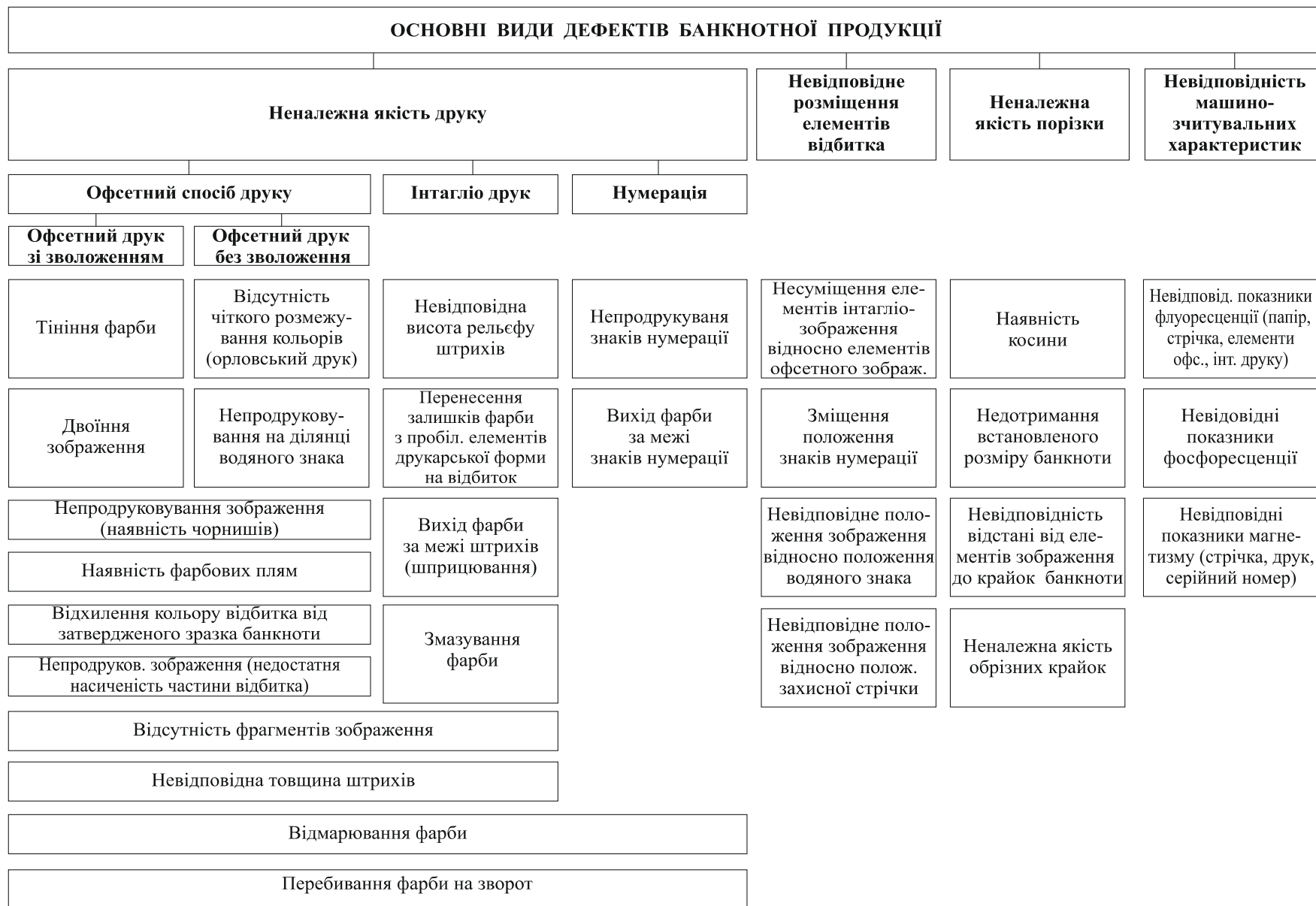


Рис. 1.2. Узагальнена класифікація дефектів банкотної продукції

Однією з проблем автоматизованого сортування банкнот є як необґрунтоване повернення в обіг зношених банкнот, так і вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених. Основними показниками зношеності банкнот є порушення структурної цілісності, геометричної форми виробу та ступінь забруднення. До причин необ'єктивного аналізу зношеності банкнот можна віднести неідентичні умови оцінювання певних характеристик виробу під час розробки специфікації та в процесі автоматизованого сортування, неврахування можливих розбіжностей друкарських та колірних характеристик паперу з різних партій, що може призводити до відмінних показників колірності друку, неврахування структурних особливостей паперу на ділянці водяного знака, де може спостерігатись різна глибина проникнення фарби, унаслідок чого можлива зміна колірності звороту через перебивання фарби [17, 18]. У табл. 1.2 наведено причини вилучення та повернення в обіг банкнот та напрями, що підвищують достовірність сортування та дозволяють уникнути необ'єктивного вилучення чи повернення банкнот.

Отже, для забезпечення належної якості автоматизованого сортування банкнот має бути розроблено систему норм та допусків, яка б враховувала як одночасну наявність багатьох видів механічних пошкоджень передкритичного рівня, так і можливу розбіжність друкарських та колірних характеристик паперу з різних партій та структурні особливості паперу на ділянці контролю.

Причини вилучення та повернення в обіг банкнот [17]

Критерій	Участь банкноти	Причина об'єктивного вилучення/повернення	Причина необ'єктивного вилучення/повернення	Напрями підвищення достовірності сортування
Перевищення відхилення за колірністю та яскравістю	Вилучення з обігу	Відхилення, викликані локальним або загальним забрудненням	Перевищення допустимих норм, викликане неврахуванням можливих відхилень колірності паперу з різних партій та його структурних особливостей у зоні контролю	Забезпечення ідентичних умов оцінювання характеристик виробу під час розроблення специфікації та у процесі автоматизованого сортування; урахування відхилення друкарських та колірних характеристик паперу з різних партій; урахування структурних особливостей паперу на ділянці контролю
Відсутність критичних порушень структури	Повернення в обіг	Відсутність або незначна кількість пошкоджень із передкритичним рівнем	Наявний передкритичний рівень водночас багатьох видів пошкоджень	Врахування одночасної наявності багатьох видів пошкоджень або великої кількості однотипних пошкоджень передкритичного рівня як критичного порушення структурної цілісності банкноти

1.3. Способи дослідження структури паперу та їх придатність для визначення структурних характеристик захищеного паперу

Для дослідження неоднорідності структури паперу застосовують два різні підходи, один з яких ґрунтується на вивченні рівномірності паперу в товщі, тобто рівномірності просвіту, а другий – на вивченні структурних неоднорідностей його поверхні [19]. На підставі джерел [19–29] нами було узагальнено основні способи дослідження структури паперу, що подані на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Узагальнена класифікація способів дослідження структури паперу

Рівномірність просвіту паперу характеризує ступінь однорідності його структури, тобто ступінь рівномірності розподілу в ньому волокон. На практиці для вивчення макронеоднорідності паперу застосовують чимало способів. Через відсутність інструментального контролю досить часто використовують експертний спосіб оцінювання, оснований на візуальному сприйнятті неоднорідності просвіту аркуша групою осіб із застосуванням ранжування об'єктів. Також відомий гравіметричний метод, який полягає у зважуванні зразків паперу площею 1 см^2 й обчисленні середньоквадратичного відхилення: чим більше ця величина, тим більша структурна неоднорідність паперу. Проте за допомогою таких методів неможливо отримати розмірні показники неоднорідностей [26].

Починаючи з 60-х років ХХ століття було розроблено різні прилади для об'єктивного кількісного оцінювання просвіту паперу. У наш час нерівномірність структури паперового аркуша досліджують із застосуванням

різних джерел випромінювання у широких хвильових та енергетичних діапазонах.

Найбільшого поширення для лабораторних досліджень та оперативного on-line контролю набули пристрої оптичного сканування із застосуванням світла, що проходить або відбивається. Сучасні прилади дозволяють дати кількісну оцінку макроструктури паперу щодо оптичних характеристик, замінюючи візуальний якісний аналіз формування на просвіт (хмарність) [27].

Гладкість паперу – одна з його найважливіших друкарських властивостей, яка залежить від мікрогеометрії поверхні паперу, тобто від рельєфу, утвореного виступами і впадинами між рослинними волокнами і частинками наповнювача. Гладкість паперу визначають за допомогою пневматичних приладів, що ґрунтуються на пропусканні повітря між папером та гладенькою поверхнею, або за допомогою профілограм, що дають наочне уявлення про характер поверхні паперу [19].

До першого способу належить метод Бекка, що полягає у визначенні часу, необхідного для проходження певного обсягу повітря між поверхнями паперу й скляної пластинки під певним постійним тиском. Подібними є методи Бендтсена, Шеффілда та Паркера [29].

Шорсткість за допомогою приладів можна виміряти контактним і безконтактним способами. Принцип дії контактних профілометрів ґрунтується на прощупуванні поверхні, яка підлягає контролюванню, алмазною голкою. Вертикальні переміщення голки, які відповідають висоті мікронерівностей, збільшується, і за допомогою індуктивного або електронного перетворювача перетворюються у сигнали й реєструються відліковими пристроями [30]. До безконтактних належать оптичні профілометри, що відтворюють у збільшеному масштабі профіль поверхні на екрані, інтерфренційні тривимірні та лазерні сканувальні, що дозволяють будувати дво- та тривимірне зображення поверхні, отримувати кількісні характеристики рельєфу поверхні.

Метод профілометрії дає змогу визначати декілька параметрів шорсткості. Найчастіше для характеризовання нерівності профілю поверхні використовують середнє арифметичне відхилення профілю R_a – середнє

арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю у межах базової довжини [31].

Методи обробки результатів оптичного сканування, номенклатура характеристик просвіту паперу і способи візуалізації нерівномірності макроструктури суттєво різняться.

Для оцінювання масштабу неоднорідностей часто використовують питомий периметр. Зображення просвіченого аркуша паперу, отримане зі сканера або за допомогою ПЗЗ-камери, можна оцінити, якщо його бінаризувати за пороговим значенням, тобто присвоїти градації яскравості: менші від порогового значення – градаціям чорного кольору, а більші від порогового значення – градаціям білого кольору. Як величину порогового значення зазвичай беруть середнє арифметичне значення яскравості зразка паперу під дією світла, що проходить. Масштаб неоднорідності такого бінаризованого зображення оцінюють питомим периметром і питомою площею. Питомий периметр розраховують як відношення сумарного периметра всіх флокул у паперовому аркуші до площі оброблюваного зображення. Такий спосіб оцінювання не можна назвати високоінформативним, оскільки він не несе інформації про характер структури неоднорідності [32].

Як оцінку інтенсивності неоднорідності можна використовувати індекс формування, який визначають за формулою

$$I = N_c / (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}), \quad (1.1)$$

де N_c – число точок зразка паперу, що мають яскравість рівну середньоарифметичній яскравості всіх точок Φ_{cp} ; Φ_{\max} і Φ_{\min} – максимальні й мінімальні значення яскравості точок зразка паперу відповідно.

Для вивчення структури паперу використовують частотний метод. Згідно з перетворенням Фур'є будь-який сигнал можна розкласти на синусоїдальні складові різних частот. Сукупність цих складових – частотний спектр – слугує для оцінювання якості формування паперового полотна. Для кількісного

оцінювання ступеня неоднорідності паперу у такому методі використовують величину $Lin-C$, яку знаходять за формулою

$$Lin - C = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\sum_{w=0}^n A_w^2}, \quad (1.2)$$

де A_w – амплітуда спектра Фур'є функції яскравості паперу у світлі, що проходить; w – частота [32].

До відомих методів оцінювання макронеоднорідності належить підхід, оснований на застосуванні теорії фракталів. Метод передбачає отримання електронного образу досліджуваного об'єкта, очищення його від шумів і бінаризація відтінків сірого. Потім на зображення накладають сітку й підраховують клітинки, які покривають його темні й світлі частини. Хоча фрактальні оцінки складні та неоднозначні в інтерпретації, результати дослідів, які висвітлені в роботі [33], свідчать про те, що фрактальну розмірність можна використовувати як оцінку неоднорідності просвіту паперу.

У роботі [34] зроблено висновок щодо можливості застосування методу дослідження на основі теорії фракталів для описання структури паперу з водяними знаками як контактним, так і оптичним способом. Але, використовуючи оптичний метод, слід враховувати наявність кольорових захисних волокон у папері та їх вплив на оптичну щільність паперу і на кінцевий результат.

У роботах [35, 36] подано фрактальне описання мікроструктури основних видів друкарського паперу. Отримані фрактальні розмірності мікропрофілю паперу виявились досить неоднозначними. Так, для зразків паперу із суттєво різними профілограмами (Рис. 1.4, *а*, *б*), значення фрактальної розмірності мікропрофілю виявилось досить близьким.

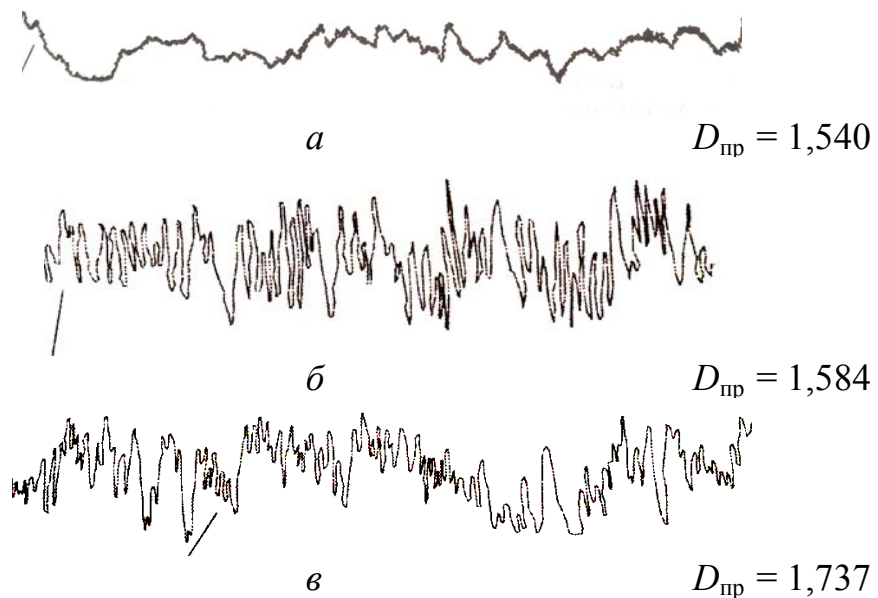


Рис. 1.4. Профілограми зразків паперу [36]:

a – гляцевий крейдований папір; *б* – газетний папір; *в* – офсетний папір;

$D_{\text{пр}}$ – фрактальна розмірність мікропрофілю паперу

Отже, використання теорії фракталів для описання структури паперового полотна потребує подальшого вивчення.

Проаналізувавши способи дослідження неоднорідності структури паперу можна стверджувати, що наразі застосовують два різні підходи, один з яких ґрунтується на вивченні рівномірності паперу в товщі, тобто рівномірності просвіту, а другий – на вивченні структурних неоднорідностей його поверхні. Більшість видів оцінок структурних характеристик паперу демонструють середнє значення неоднорідності для всього аркуша, тому вони не можуть бути застосовані для характеристики паперу з макронерівностями системного порядку. Отже, щоб об’єктивно оцінити структуру паперу з водяними знаками, потрібно розробити спеціальну методику.

1.4. Аналіз попередніх досліджень впливу структури паперу на якість друку

Фундаментальні роботи з дослідження неоднорідності структури паперу та її впливу на якість друку проводили В. Н. Леонтьєв, Л. Г. Варєпо та їх учні, а також іноземні вчені: І. Каджанто, М. Фарел, М. Меттанен.

У роботах В. Н. Леонтьєва [37, 38] досліджено вплив неоднорідності паперу на розтискування растрової точки та усереднене значення відмінності кольору ΔE . Неоднорідність паперу характеризувалася індексом формування, який знаходять за формулою (1.1). Якість просвіту паперу було визначено пристроєм АНФОР-02-2. Папір з визначеним індексом формування задруковували фарбою з різною відносною площею растрових елементів та визначали значення розтискування растрової точки та відмінності кольору ΔE . Було встановлено, що на папері з меншим індексом формування спостерігається суттєве коливання значення розтискування та ΔE . Колірні відмінності ΔE , викликані неоднорідністю паперу, найбільші для 100-відсоткової плашки.

У роботі [39] визначено моделі, що описують вплив неоднорідності поверхні паперу на якісні показники відбитка. Методами математичної статистики досліджено щільність лінійного зв'язку між такими характеристиками відбитків, як оптична щільність і шорсткість, фарбосприйняття і шорсткість, розтискування і шорсткість. Шорсткість паперу визначалася за допомогою безконтактного профілографа та характеризувалася середньоарифметичним відхиленням профілю R_a . Експериментально було визначено, що між оптичною щільністю і шорсткістю спостерігається зворотний лінійний зв'язок (коефіцієнт кореляції $r = -0,791$), тобто зі збільшенням параметра шорсткості зменшується значення оптичної щільності. Між значеннями фарбосприйняття та шорсткості є прямий лінійний зв'язок (коефіцієнт кореляції $r = 0,670$), тобто зі збільшенням шорсткості збільшується

фарбосприйняття. Залежність розтискування від шорсткості має низький коефіцієнт кореляції $r = 0,282$, що свідчить про слабку лінійну залежність цих показників.

У роботі Л. Г. Варепо та А. В. Голунова [40] описано вплив структури матеріалу на повноту колірного охоплення. Для оцінювання якості кольоровідтворення та його залежності від показників рельєфу паперу було визначено характеристики мікрогеометрії поверхні паперу та колірні характеристики відбитків, отриманих на цьому матеріалі. Отримані в результаті проведених досліджень значення показників мікропрофілю і мікрогеометрії поверхневого шару паперу та координати кольору $L^*a^*b^*$, отримані на ньому, дозволили оцінити якість відбитків та кольоровідтворення відносно структури паперу. Було побудовано моделі залежності об'єму тіла колірного охоплення від показників мікрогеометрії R_a ; R_q ; R_z . Отримані графічні моделі мають таку апроксимації $R^2 = 0,39$; $R^2 = 0,43$; $R^2 = 0,5$ відповідно. Для отримання залежності з більш сильним зв'язком між параметрами побудовано поліноміальні графічні залежності. Величина достовірності апроксимації збільшилась, однак не досягла тих значень, за яких була б можливість використовувати отримані моделі на практиці. Відповідно для визначення кольоровідтворення на папері не достатньо враховувати лише показники якості його структури. Отримані графічні моделі дають змогу наочно визначити характер взаємозалежності шорсткості й колірного охоплення друкарської системи. Таким чином, під час розроблення комплексного показника якості поверхні паперу слід враховувати параметри структури поверхні, яка сприймає фарбу.

Залежність кольоровідтворення від властивостей поверхні матеріалу та його оптичних характеристик було встановлено у роботі [41]. Для отримання комплексного показника якості поверхні матеріалів для офсетного друку використовувався метод вимірювання. Комплексний показник якості поверхні паперу було розраховано за формулою

$$K_0 = 100 / Б \cdot m_1 + R_a / R_{em} \cdot m_2 + 1 / K_{однор} \cdot m_3, \quad (1.4)$$

де K_0 – комплексний показник якості поверхні матеріалу; R_a – шорсткість поверхні паперу; Б – білизна паперу; $K_{однор}$ – коефіцієнт однорідності поверхні; m_1, m_2, m_3 – коефіцієнти вагомості одиничного показника якості поверхні матеріалу. У цьому показнику якості поверхні поліграфічного матеріалу враховуються оптичні властивості матеріалу (білизна), структурні (мікронерівності поверхні), а також коефіцієнт однорідності поверхні $K_{однор}$. Характеристика однорідності поверхні паперу отримана співвідношенням об'єму матеріалу до загального об'єму поверхневого шару:

$$K_{однор} = V_{матеріалу} / V_{заг}. \quad (1.5)$$

У роботі застосовувалися аналітичні методи оцінювання коефіцієнтів вагомості одиничних властивостей, зокрема метод граничних і номінальних значень. Коефіцієнти вагомості для білизни, шорсткості та коефіцієнта однорідності поверхні склали 0,324; 0,482; 0,194 відповідно. Найгірша якість кольоровідтворення спостерігалася на папері зі значенням шорсткості $R_a = 3,75$ мкм і білизни 93,33 %. Зі зменшенням шорсткості від значення $R_a = 3,75$ до $R_a = 0,44$ мкм і збільшенням білизни до 95 %, відбувалося збільшення колірної охоплення відбитка. Згідно з експериментальними даними мікрогеометрія поверхні матеріалу впливає на колориметричну точність офсетного друку, а також на загальний діапазон кольорів, відтворюваних в межах обраної друкарської системи.

Оцінювання впливу неоднорідності паперу на неоднорідність оптичної густини відбитків висвітлено в роботах Д. В. Дунаєва [42, 43]. Автор використав кілька зразків офісного паперу марки «С», який було проскановано на просвіт. Зразки задруковували на струминному принтері заливками від 10 до 100 % з інтервалом 10 %. Отримані відбитки було проскановано у режимі

відбитого світла. Тонові рівні пікселів, отриманих під час сканування, відображають оптичну густину відбитків. Далі кожен пункт відбитка було програмно зіставлено з точкою підкладки. За отриманими даними було побудовано діаграми залежності тонових рівнів точок відбитків від тонових рівнів тих самих точок незадрукованого паперу. Отримані лінійні регресійні моделі мали високе значення коефіцієнта достовірності апроксимації ($R^2 > 0,9$). За 100-відсоткової плашки оптична густина відбитка на промоїнах була більша ніж на флокулах. Це пов'язано із надлишковим нанесенням фарби, що спричинило її перебивання на зворотній бік аркуша і накопичення на його поверхні. Якщо заливка менша ніж 90 %, уся фарба проникає вглиб аркуша; при цьому оптична густина відбитків на флокулах більша.

Іско Каджанто [44] встановив, що механізм формування паперового полотна на 25 % впливає на коливання оптичної густини і нерівномірності відбитка на некаландрованих сортах паперу. Каландрування збільшило вплив формування на неоднорідність паперу із коефіцієнтом кореляції до 0,6.

М. Фарелл, Дж. Чен та Д. Лаубер [45] встановили, що довжина волокна та ступінь помелу впливають на структурні показники паперу: пористість та гладкість. Було виявлено, що залежність однорідності друку від пористості та шорсткості паперу має коефіцієнт кореляції $-0,45$ та $-0,68$ відповідно, тобто на більш гладкому папері із меншою пористістю можна отримати більш рівномірний відбиток. Вплив шорсткості на розтискування растрової точки отримав низький коефіцієнт кореляції.

У роботі [46] досліджено зв'язок між поверхневими нерівностями паперу та якістю відтворення растрової точки на ньому. Було використано три види паперу з різним значенням шорсткості, які задруковувались на прободрукарському верстаті під різним тиском. Зразки паперу до та після задруковування були сфотографовані та попільсьельно зіставлені. Було виявлено, що на папері із значними нерівностями поверхні високоякісно відтворюється лише 30–40 % растрових точок. Зі зміною тиску друкування кількість

непродрукованих точок дещо змінювалась, проте на цей показник більшою мірою вплинула однорідність поверхні паперу. На папері із шорсткістю 1,11 мкм кількість непродрукованих растрових точок становила 4–7 % залежно від тиску друкування, тоді як на папері із шорсткістю 1,24 мкм цей показник становив 9–15 %.

Як видно, дослідження щодо впливу структури паперу на якість відтворення розвивались у двох напрямках: один передбачає вивчення впливу макронеоднорідності паперу на неоднорідність друку, а другий – вивчення впливу мікронерівності паперу на певні показники якості друку на ньому (табл. 1.3).

Вплив неоднорідності структури паперу на якість друку

№ з/п	Вхідні параметри	Вихідні параметри	Коефіцієнт кореляції
З урахуванням макронеоднорідності паперу			
1	Індекс формовання, $I = N_c / (\Phi_{\max} - \Phi_{\min})$, де N_c – кількість точок зразка паперу, що мають яскравість, рівну середньоарифметичній яскравості всіх точок $\Phi_{\text{ср}}$, Φ_{\max} та Φ_{\min} – відповідно максимальні й мінімальні значення яскравості точок зразка паперу	Відмінності кольору ΔE на суміжних ділянках	Високий
		Різниця у значеннях розтискування растрової точки на суміжних ділянках	Високий
2	Неоднорідність оптичної густини паперу	Неоднорідність оптичної густини відбитків	Високий
З урахуванням мікронерівності паперу			
3	Шорсткість поверхні паперу R_a	Оптична густина відбитка	Високий
		Фарбосприйняття	Високий
		Розтискування	Низький
4	Параметри шорсткості поверхні паперу: R_a, R_q, R_z	Повнота колірного охоплення відбитка	Низький
5	Комплексний показник якості поверхні паперу: $K_o = 100 / B \cdot m_1 + R_a / R_{\text{ет}} \cdot m_2 + 1 / K_{\text{однор}} \cdot m_3$, де R_a – шорсткість поверхні паперу; B – білизна паперу; $K_{\text{однор}}$ – коефіцієнт однорідності поверхні; m_1, m_2, m_3 – коефіцієнти вагомості одиничного показника якості поверхні матеріалу. $K_{\text{однор}}$, отриманий співвідношенням об'єму матеріалу до загального об'єму поверхневого шару: $K_{\text{однор}} = V_{\text{матеріалу}} / V_{\text{заг}}$.	Повнота колірного охоплення відбитка	Високий
6	Шорсткість поверхні паперу R_a	Відтворення растрових елементів	Високий

Результати проведених досліджень показали сильну кореляцію між значеннями макронеоднорідності структури паперу та однорідністю друку на ньому; шорсткістю паперу та фарбосприйняттям; шорсткістю та оптичною щільністю відбитка (рис. 1.5). Низький коефіцієнт кореляції між значенням шорсткості та повнотою колірного охоплення відбитка свідчить про те, що для визначення кольоровідтворення на папері треба враховувати не лише

показники якості його структури, а й оптичні характеристики. Вплив неоднорідності паперу в товщі та неоднорідності його поверхні на розтискування растрових елементів показав розбіжну кореляцію. Це свідчить про те, що для більш достовірного прогнозування якості друку слід враховувати обидва види неоднорідностей.



Рис. 1.5. Кореляція впливу структурних показників паперу на якість друку

Висновки до розділу 1

Було проведено аналіз проблем забезпечення відповідної якості друку банкнот та проблем, пов'язаних з їх автоматичним сортуванням, проаналізовано способи дослідження структури паперу, види оцінок неоднорідності та можливість їх застосування для захищеного паперу. Виявлено такі проблеми:

1. У процесі контролю на банкнотному виробництві виявляється невідповідність якості деякої частини віддрукованих банкнот встановленим критеріям. Визначення відсоткового співвідношення основних видів браку банкнотної продукції дозволить виявити напрями для забезпечення кращої якості на певних технологічних процесах.

2. Необґрунтоване повернення в обіг зношених банкнот та вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених. Причиною останнього є помилкове сприйняття перебивання фарби на зворот як забруднення банкноти.

3. Більшість видів оцінок структурних характеристик паперу демонструють середнє значення неоднорідності для всього аркуша, тому вони не можуть бути застосовані для характеристики паперу з макронерівностями системного порядку.

4. Відсутність об'єктивного оцінювання структурних характеристик паперу робить неможливим прогнозування оптичних та колірних характеристик відбитків, отриманих на ньому.

Враховуючи наявні проблеми, було поставлено такі задачі:

1. Проаналізувати основні види браку банкнотної продукції та їх відсоткове співвідношення і встановити напрями підвищення якості банкнотних відбитків.

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. Розробити модель закріплення фарбового шару офсетного друку з урахуванням структурних характеристик паперу з водяними знаками.

4. Розробити модель формування оптичних характеристик відбитків та їх звороту для паперу з водяними знаками, яка б урахувала глибину проникнення та розподіл компонентів фарби у папері.

5. Розробити методологію та алгоритм визначення параметрів просвіту захищеного паперу.

6. Розробити алгоритм та моделювання для визначення зміни кольору звороту відбитків, що виникає внаслідок перебивання фарби на зворот.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИЩЕНОГО ПАПЕРУ НА ЯКІСТЬ ДРУКУ

2.1. Статистичні дослідження щодо виявлення основних дефектів банкотної продукції

Для проведення цього дослідження було використано дані, одержані під час інспектування якості сортування банкнот української гривні автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000 фірми Giesecke & Devrient. Ця автоматизована лінія здійснює попримірниковий контроль зі швидкістю до 40 банкнот за секунду та контролює відповідність виробу таким показникам [47]:

- зображення банкноти у видимому та ІЧ-спектрах випромінювання (лице і зворот);
- взаємне розміщення елементів зображення на виробі;
- лінійні розміри;
- сила сигналу машинозчитуваних ознак: магнетизм, флюоресценція, фосфоресценція.

Для ведення суворої звітності відбувається автоматичне розпізнавання та запис усіх серійних номерів банкнот у процесі контролювання. Придатні банкноти автоматично обандеролюються паперовою стрічкою (по 100 штук) та формуються і пакуються у пачки по 1000 штук. Банкноти з наявними дефектами піддаються автоматичному знищенню через подрібнення [47]. На рис. 2.1 показано основні етапи технологічного процесу виготовлення та контролювання якості української гривні.

Для перевірки було відібрано 225 000 банкнот з масиву «DN» (масив, що не проходив контролювання після друкування). Швидкість обробки – 100 000 банкнот за годину. З метою проведення оцінювання якості сортування під час

роботи системи кожна сота придатна банкнота масиву направлялася до спеціального укладальника, усі непридатні банкноти – до аудитного укладальника та кишені повернення.

Після закінчення робіт було проведене оцінювання адаптації системи до сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2011 року. На ділянці був проведений додатковий візуальний контроль масиву придатних банкнот зі спеціального укладальника та банкнот, визначених системою непридатними.

Перевірка якості банкнот вибірки з масиву придатних показала, що всі ці банкноти за показниками якості відповідають вимогам, встановленим ТУУ 22.2-21575489-003:2008 «Банкноти. Технічні вимоги до виконання».

Перевірка непридатних банкнот на відповідність вимогам вищезазначеного ТУ показала, що в цьому масиві наявні такі відхилення від встановлених показників якості (дод. В):

- невідповідна якість інтагліодруку – 21,14 %;
- невідповідна якість нумерації – 3,36 %;
- несуміщення офсету та інтагліо – 2,35 %;
- перебивання інтагліо – 11,74 %;
- перебивання нумерації – 0,67 %;
- зміщення нумерації – 1,68 %;
- невідповідність положення водяного знака – 1,01 %;
- невідповідність положення стрічки – 12,08 %;
- невідповідна якість порізки – 10,40 %;
- перевищення допустимої норми сторонніх включень у папері – 14,09 %;
- виміряні значення машинозчитуваних характеристик нижчі за встановлені у конфігурації – 4,03 %;
- непродрукування офсетного зображення – 4,07 %;
- відхилення кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти – 3,74 %;
- тініння фарби – 1,89 %;
- фарбові плями – 0,43 %;
- невідповідність товщини ліній – 3,01 %;

- двоїння офсетного зображення – 0,93 %;
- нечітке розмежування кольорів (орловський друк) – 1,36 %;
- непродруковування на ділянці водяного знака – 1,69 %;
- перебивання фарби на зворот – 0,36 %.

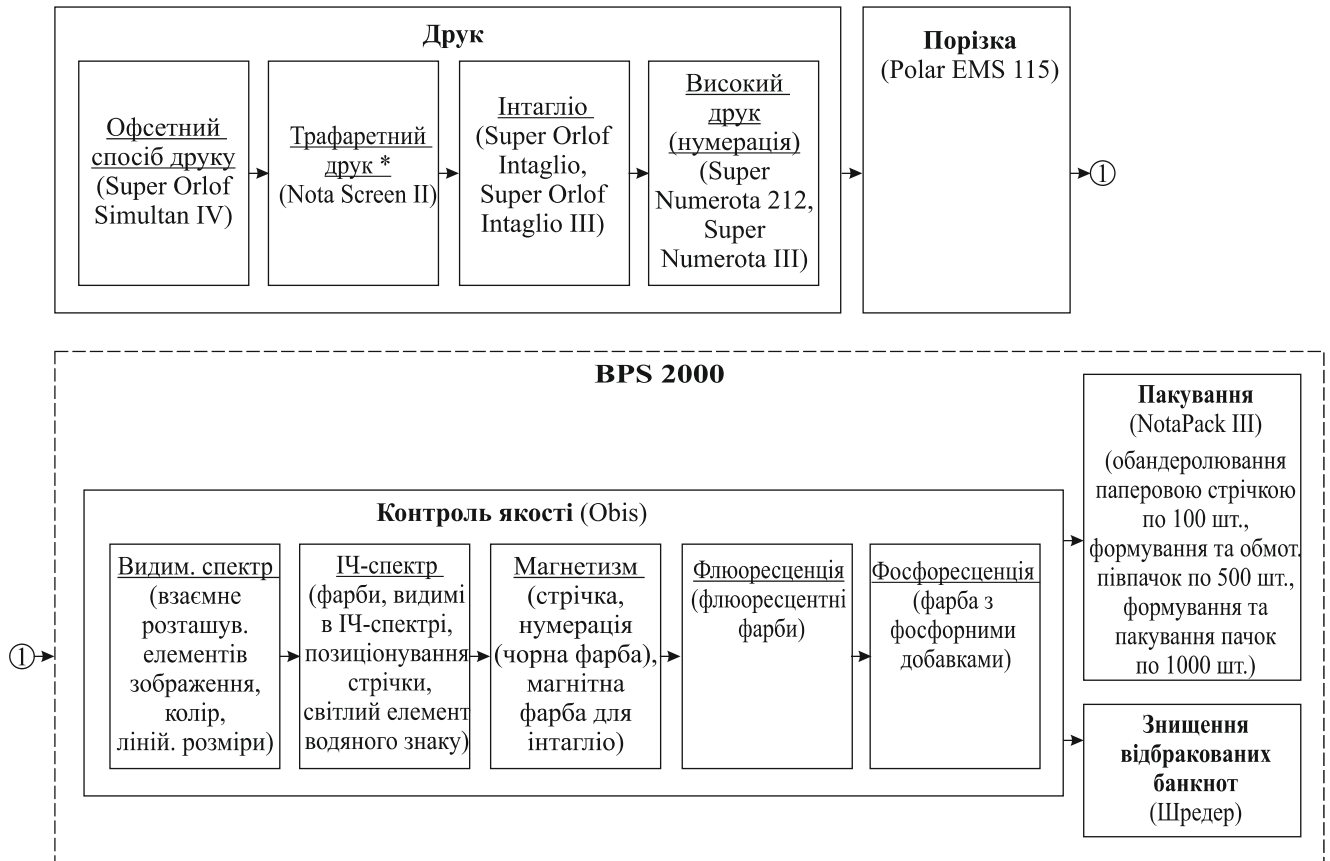


Рис. 2.1. Процес виготовлення та контролю якості української гривні
 (* Застосовується для друку банкнот номіналом 100 грн зразка 2014 року та 500 грн зразка 2015 року)

На рис. 2.2 показано відсоткове співвідношення видів браку готової банкотної продукції, виявлених під час цього дослідження. Найбільша кількість дефектів банкнот пов'язана з невідповідною якістю інтагліо (21,14 %) та офсетного (17,45 %) видів друку. Для друку банкнот використовують офсетний спосіб друку зі зволоженням та без; офсетним способом друку зображення наносять на лице та на зворот виробу [1, 9]. На рис. 2.3 подано відсоткове співвідношення видів браку, що виник під час офсетного способу друку; на рис. 1.5 – дефекти, пов'язані з якістю офсетного виду друку на

банкнотах номіналом 5 гривень. Найчастіше виникають проблеми з непродрукуванням зображення за рахунок чорнишів (рис. 2.4, б, з) та недостатньої насиченості частин відбитка (рис. 2.4, ж) – 23,3 %, відхиленням кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти – 21,44 %, невідповідністю товщини ліній – 17,27 %, тінінням фарби (рис. 2.4, є, д) – 10,67 %, непродрукуванням на ділянці водяного знака (рис. 2.4, е) – 9,71 %.

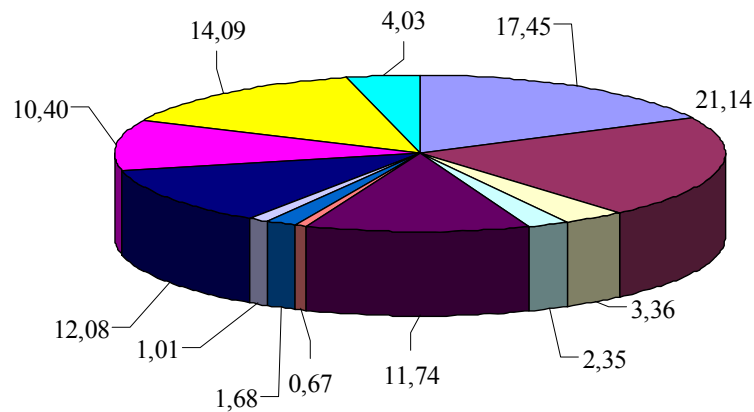


Рис. 2.2. Види браку готової банкнотної продукції

- Невідповідна якість офсетного друку
- Невідповідна якість інтагліо друку
- Невідповідна якість нумерації
- Несуміщення офсету та інтагліо
- Перебивання інтагліо
- Перебивання нумерації
- Зміщення нумерації
- Невідповідність положення водяного знака
- Невідповідність положення стрічки
- Невідповідна якість порізки
- Перевищення допустимої норми сторонніх включень в папері
- Невідповідність машино-зчитуваних характеристик

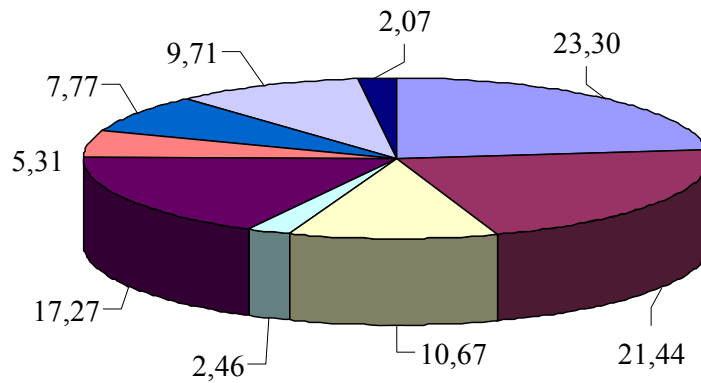


Рис 2.3. Види браку готової банкотної продукції, що виникли у процесі офсетного способу друку

- Непродрукування зображення
- Відхилення кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти
- Тініння фарби
- Фарбові плями
- Невідповідність товщини ліній
- Двоїння зображення
- Відсутність чіткого розмежування кольорів
- Непродрукування на ділянці водяного знаку
- Перебивання фарби на зворот

Причин виникнення подібних дефектів досить багато – від підбирання матеріалів до забруднення друкарської машини [48]. Чорниші виникають унаслідок потрапляння частинок бруду з поверхні паперу на офсетну гуму; недостатня насиченість частин відбитка може бути викликана подаванням недостатньої кількості фарби у фарбову систему і на друкарську форму або слабким тиском між друкарським і офсетним циліндрами, емульгуванням фарби (для офсетного способу друку зі зволоженням); відхилення кольору відбитка можуть спричинити невідповідності колірних характеристик фарби або паперу; тініння фарби може бути викликане дефектами друкарської форми, надлишком подаваної фарби або її недостатньою в'язкістю, недостатньою кількістю подаваного зволожувального розчину (для офсетного способу друку зі зволоженням); непродрукування на ділянці водяного знаку може бути спричинене неоднорідністю паперу й невідрегульованим подаванням фарби та тиском між друкарським і офсетним циліндрами [49–51].

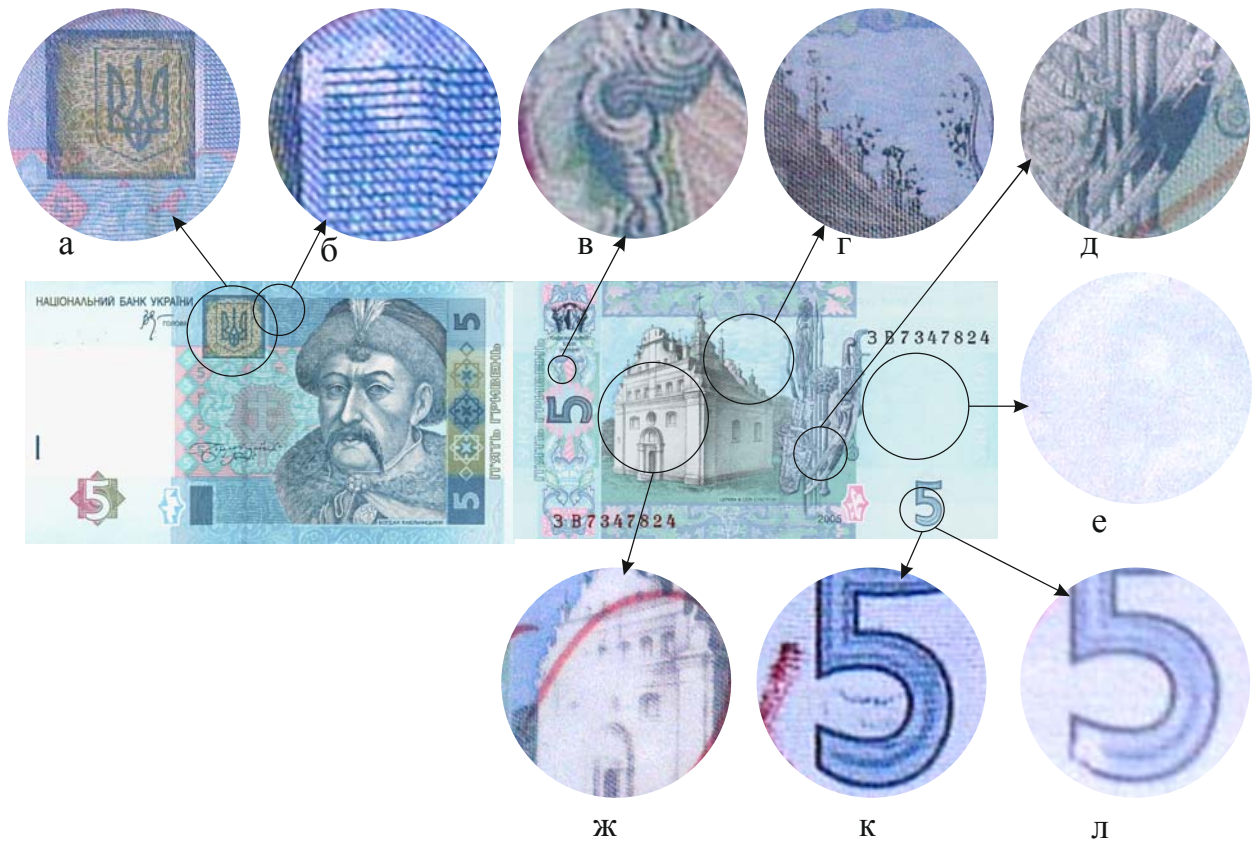


Рис. 2.4. Дефекти, пов'язані з якістю офсетного способу друку на банкнотах номіналом 5 грн: *а* – несуміщення елементів офсетного зображення відносно елементів інтагліозображення; *б, л* – непродрукування офсетного зображення чорнищ; *в* – фарбова пляма; *г, д* – тініння офсетної фарби; *е* – непродрукування на ділянці водяного знака; *ж* – непродрукування офсетного зображення (недостатня насиченість частини відбитка); *к* – двоїння офсетного зображення

Оскільки специфічними та притаманними лише для продукції спеціального призначення є дефекти, пов'язані із непродрукуванням на ділянці водяного знака та відхиленням кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти, варто приділити увагу якості друку на ділянках водяних знаків та якості кольоровідтворення.

2.2. Структура захищеного паперу та її вплив на друкарсько-технічні показники

Структура паперу визначається особливостями морфології, властивостями та взаємозв'язками його структурних елементів: волокон, наповнювачів, проклеювальних та фарбувальних речовин. [12]

Можна виділити три основні фактори, від яких насамперед залежать всі властивості паперу: композиційний та фракційний склад паперу в різних точках по товщині; орієнтація волокон у площині аркуша; розподіл компонентів на площі аркуша [50].

Особливостями структури паперу є [12, 53]:

- складний гетерогенний склад елементів структури, що характеризується наявністю у композиції паперу як довгих, так і коротких волокон, а також наповнювачів, проклеювальних та фарбувальних речовин;

- анізотропне розміщення елементів структури за трьома її взаємно перпендикулярними напрямками, що характеризується розбіжностями в орієнтації волокон, у розміщенні їх згідно з розмірами, а також у розподілі наповнювачів, проклеювальних, фарбувальних речовин та включень повітря;

- капілярно-пористий колоїдний характер структури, що визначає такі властивості паперу, як поглинальну здатність, повітропроникність, гігроскопічність, деформацію паперу зі зміною його вологості;

- наявність сил зв'язку між елементами структури паперу, що визначає механічну міцність та інші властивості паперу [12].

Характерною особливістю структури захищеного від підробки паперу є наявність у ньому водяних знаків, а також додаткових захисних елементів, зокрема металізованих стрічок. Уведення металізованої стрічки порушує цілісність паперової структури, що часто спричиняє надриви на краях банкноти. Для української національної валюти у процесі обігу подібні дефекти становлять 16,8 % від інших видів порушень структурної цілісності банкноти. Під час розроблення дизайну можна оптимізувати розміщення та вид захисної стрічки, оскільки зміщення її від середини дозволяє знизити

кількість надривів [17]. Стрічка змінної ширини, найбільш вузька частина якої припадає на крайки цінного документа та перпендикулярна їм, також дозволяє знизити появу таких пошкоджень [54].

Водяні знаки являють собою макронерівності систематичного порядку. Утворення макронерівностей пов'язане з неоднорідністю об'єму (товщиною аркуша), місцевим скупченням волокон (ущільненням) і місцевими розрідженими ділянками. Вони порушують загальний рівень поверхні, роблячи її нерівною.

Мікронерівності – це нерівності поверхні, пов'язані з первинними елементами структури: нещільним приляганням структурних елементів паперу (волокон, частинок наповнювача), розмірами самих волокон. Мікронерівності з малим кроком не порушують рівності паперу, але роблять його поверхню шорсткою.

Макро- і мікронерівності по-різному впливають на процес друкування. Якщо макронерівності утруднюють процес друкування, то мікронерівності, у разі досить малих відстаней, менших за розміри друкувальних елементів, не перешкоджають друкуванню.

Для характеристики поверхні паперу Л. А. Козаровицький [19] пропонує розглядати дві категорії нерівностей, що включають шорсткість (гладкість) поверхні та її рівність (нерівність). Л. А. Загаринська та Б. Н. Шахкельдян [55] застосовують такі види нерівностей поверхні паперу: шорстка рівна поверхня, гладенька рівна, шорстка нерівна, гладенька нерівна поверхня (рис. 2.5).

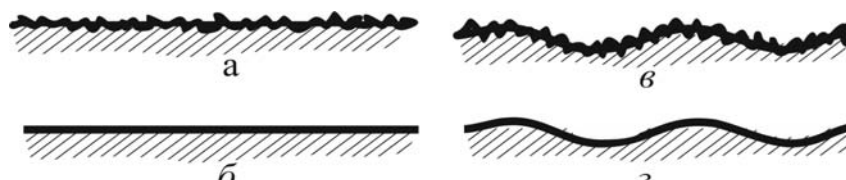


Рис. 2.5. Види нерівності поверхні паперу:

a – шорстка рівна поверхня; *б* – гладка рівна поверхня; *в* – шорстка нерівна поверхня;
г – гладка нерівна поверхня

Така класифікація нерівностей поверхні паперу є досить спірною, оскільки вплив різних факторів під час виготовлення паперу не дозволяє отримати одну з наведених моделей поверхні. На практиці можна отримати папір з комбінацією кількох видів нерівностей.

Наприклад, поверхня паперу може бути шорсткою нерівною (рис. 2.5, в) на проміжній стадії виробництва паперу, а саме до проходження через машинний каландр. Під час каландрування відбувається ущільнення ділянок, які виступають, що приводить до вирівнювання товщини паперу і до підвищення гладкості поверхні ущільнених ділянок. Отже, готовий папір матиме одночасно більш та менш шорсткі ділянки (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Поверхня паперу:

a – до каландрування; *б* – після проходження через машинний каландр

Нами припущено, що поверхня паперу з водяними знаками також має подібні характеристики. На ділянці позитивного водяного знака, де наявне ущільнення волокон, поверхня паперу після каландрування буде більш гладенька, а на негативних водяних знаках – більш шорстка (рис. 2.7).

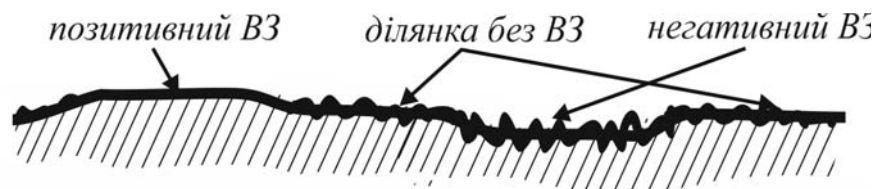


Рис. 2.7. Поверхня паперу з водяними знаками

Для некрейдованого паперу існує триваріантна взаємозалежність між граматурою, товщиною та ступенем каландрування (табл. 2.1). Жодна з цих властивостей не може бути змінена без зміни однієї чи двох інших. Наприклад,

якщо граматура зменшується, а товщина зберігається без змін, тоді волокниста структура має вийти більш пористою, оскільки менша кількість волокон міститься в тій самій товщині на одиницю площі; через це папір виходить більш шорстким [13]. Тоді папір з водяними знаками можна розглядати як положення 1 в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Взаємозалежність між масою, товщиною та ступенем каландрування паперу

1. Товщина постійна; маса змінюється			
<i>Маса, м²</i>	<i>Ступінь каландрування</i>	<i>Пористість</i>	<i>Абсорбція фарби</i>
Збільшується	Поверхня стає більш гладкою	Зменшується	Зменшується
Зменшується	Поверхня стає більш шорсткою	Збільшується	Збільшується
2. Маса постійна; товщина змінюється			
<i>Товщина</i>	<i>Ступінь каландрування</i>	<i>Пористість</i>	<i>Абсорбція фарби</i>
Збільшується	Поверхня стає більш шорсткою	Збільшується	Збільшується
Зменшується	Поверхня стає більш гладкою	Зменшується	Зменшується
3. Ступінь каландрування постійний, маса змінюється			
<i>Маса, м²</i>	<i>Товщина</i>	<i>Пористість</i>	<i>Абсорбція фарби</i>
Збільшується	Збільшується	Відносно незмінна	Відносно незмінна
Зменшується	Зменшується	Відносно незмінна	Відносно незмінна

Неоднорідність структури паперу на ділянках водяних знаків впливає на різний характер поглинання фарби, що може привести до відмінних оптичних та колірних характеристик суміжних ділянок відбитка та його звороту. Так, ступінь перебивання та вплив цього явища на колір звороту відбитка залежить від низки факторів. На рис. 2.8 показано визначені нами найбільш значущі фактори впливу на явище перебивання фарби на зворот відбитка. Ступінь проникнення фарби на зворот залежить як від фізико-хімічних властивостей паперу, так і від фарб [12, 19]. На зміну кольору звороту впливає як глибина

проникнення фарби, так і відмінність її кольору від кольору паперу та характеру оригіналу. Чим менше відрізняється колір фарби від кольору паперу (світла фарба) і чим меншою буде частка друкарських елементів на відбитку, тим менш помітним буде перебивання на зворот.

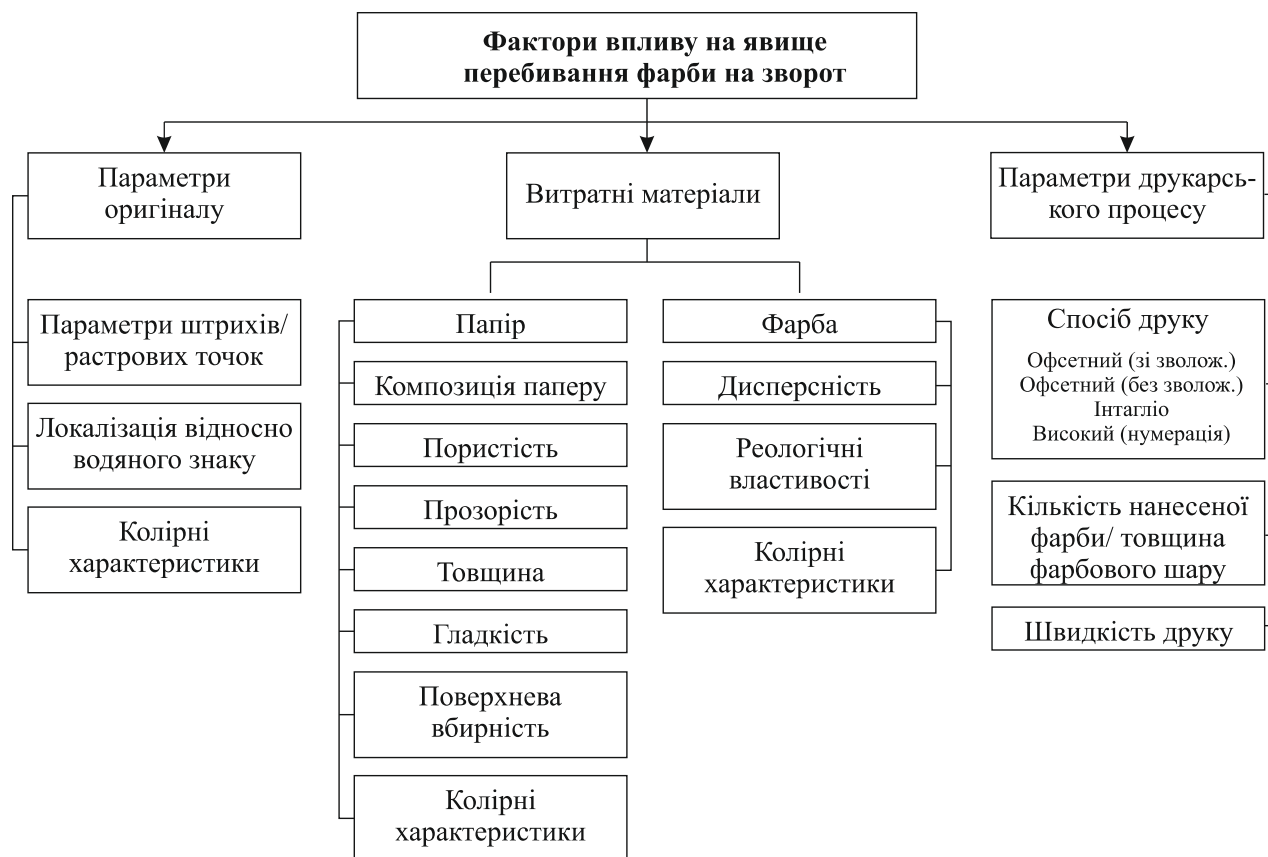


Рис. 2.8. Фактори впливу на явище перебивання фарби на зворот відбитка

На основі отриманих статистичних даних щодо кількості й розподілу дефектів банкнот української гривні на етапі післяопераційного контролю офсетного друку та виявлених факторів впливу на явище перебивання, використовуючи підхід, висвітлений у роботі [16], було удосконалено концептуальну ієрархічну модель формування якості офсетного друку (рис. 2.9). Удосконалення цієї моделі полягало у забезпеченні точності контролю зношеності банкнот та можливості керування цим процесом через встановлення допустимих норм показників зношеності та налаштування сортувального обладнання.

У пропонованій нами моделі виділено критерії якості, що підлягають автоматизованому контролю під час вихідного контролю готової продукції та контролю зношеності, що дозволяє цілеспрямовано встановлювати напрями забезпечення якості офсетного друку, здійснювати вхідний контроль матеріалів, вихідний контроль готової продукції та корегувати процес контролю зношеності банкнот.

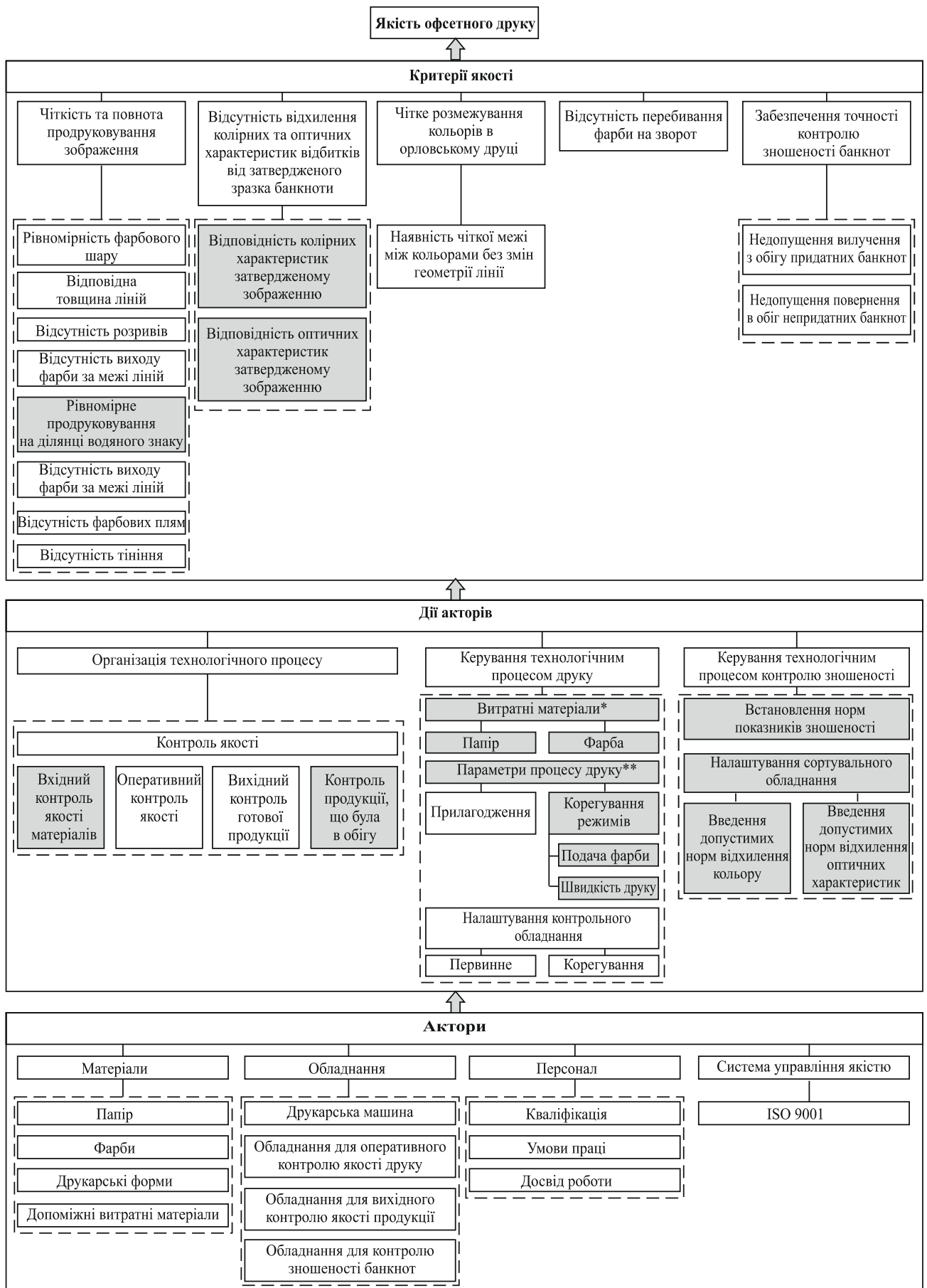


Рис. 2.9. Концептуальна ієрархічна модель формування якості офсетного друку банкнот

Оскільки папір виготовляють із гідрофільних целюлозних волокон, він легко поглинає вологу з навколишнього середовища. Як капілярно-пористе тіло папір механічно утримує у порах вологу, що потрапила внаслідок капілярної конденсації парів або у разі безпосереднього контакту з водою.

Неоднорідність структури паперу й орієнтація волокон є причинами його деформації у різних напрямках. Деформація має більшу величину в поперечному напрямку, ніж у машинному, оскільки, набрякаючи, кожне волокно більше розширюється, ніж видовжується. Найбільшої деформації зазнає папір зі щільною структурою, меншої – пористий, в якому через значну кількість пор набрякання менше впливає на розмір аркуша [55, 56].

Відпрацьовуючи технологічні режими виготовлення цінних паперів на папері з водяними знаками, потрібно вирішувати ряд технологічних питань. Так, у разі використання локального водяного знака передбачається його розміщення на паперовому полотні таким чином, щоб на готовому поліграфічному виробі він розміщувався однократно і в заданому місці виробу. Зазвичай цей знак розміщують у зоні, вільній від надрукованого зображення. Це значно полегшує ідентифікацію та дозволяє у процесі друкування зображення забезпечити збіг водяного знака із надрукованим малюнком. Враховуючи, що під впливом кліматичних умов можуть змінюватись лінійні розміри аркуша паперу, гострою проблемою стає збереження паперу з водяними знаками в умовах стабільної температури та вологості як на складі, так і в цехових умовах безпосередньо перед друкуванням.

2.3. Моделювання проникнення фарби у структуру паперу

Здатність паперу вбирати фарбу залежить, насамперед, від його капілярних властивостей. Макропористий папір настільки швидко вбирає фарбу, що вона може просочитися на зворотний бік аркуша. У цьому випадку може виникнути дефект друкування, який називають осипанням. Причиною цього є те, що пігмент лишається на поверхні паперу без достатньої кількості зв'язувального

для утворення плівки. У випадку мікропористого (капілярного) паперу фарба погано проникає всередину паперу [57, 58].

Спостерігається різні швидкість та характер поглинання фарби на суміжних ділянках паперу. Така нерівномірність обумовлена неоднорідністю макроструктури паперового аркуша, яку називають хмарністю (подібну неоднорідність можна порівняти зі структурою водяного знака).

Л. А. Козаровицький досліджував зв'язок між відмінністю оптичної густини на провіт, граничною товщиною суміжних ділянок аркуша кількох видів паперу та швидкістю поглинання краплі масла на цих ділянках. Він з'ясував, що чим більша оптична щільність ділянки паперу у прохідному світлі, тим повільніше відбувається поглинання масла. Зі збільшенням різниць оптичної густини та товщини суміжних ділянок збільшується різниця швидкості поглинання масла у папір [19, 59–61].

Досить важливим є розподіл складових частин фарби у поверхневих та об'ємних шарах паперу. Глибина проникнення всієї фарбової системи для різних видів паперу різняться не істотно, але глибина проникнення зв'язувального та пігменту відрізняється суттєво. У матові папери пігмент проникає вдвічі глибше, ніж у каландровані. Різний характер проникнення окремих компонентів суттєво впливає на оптичні характеристики відбитка і на характер закріплення фарби.

Спостерігається різне закріплення фарбового шару на різних видах паперу. Так, під час друку на глянцевого крейдованому папері малов'язке зв'язувальне всотується в пори крейдованого покриття, а високов'язке зв'язувальне, змішане з пігментом, лишається на поверхні паперу і через деякий час висихає, створюючи досить еластичну плівку, яка добре утримується на поверхні паперу. Під час друку на некрейдованому папері значна частина зв'язувального, частково з пігментом, проникає у структуру паперу, оскільки між фарбою і папером немає крейдованого шару.

Рівна поверхня паперу з тонкими капілярами сприяє збільшенню концентрації пігмента у верхньому шарі паперу внаслідок часткової фільтрації зв'язувальної речовини. Таке підвищення концентрації за наявності сольватної масляної плівки плівкоутворювача підвищує інтенсивність відбитка, міцність тонкого шару на зсув, тобто закріплення, і разом з тим не викликає осипання пігменту, з'єданого сольватними оболонками і накопиченого в ультрамікронерівностях поверхні.

Крупнопориста структура поверхні сприяє більш глибокому проникненню фарби в цілому та зниженню поверхневої концентрації пігмента, а отже, приводить до зниження оптичної густини відбитка.

На рис. 2.10 показано взаємозв'язок між пористістю паперу та глибиною проникнення складових частин фарби [19].

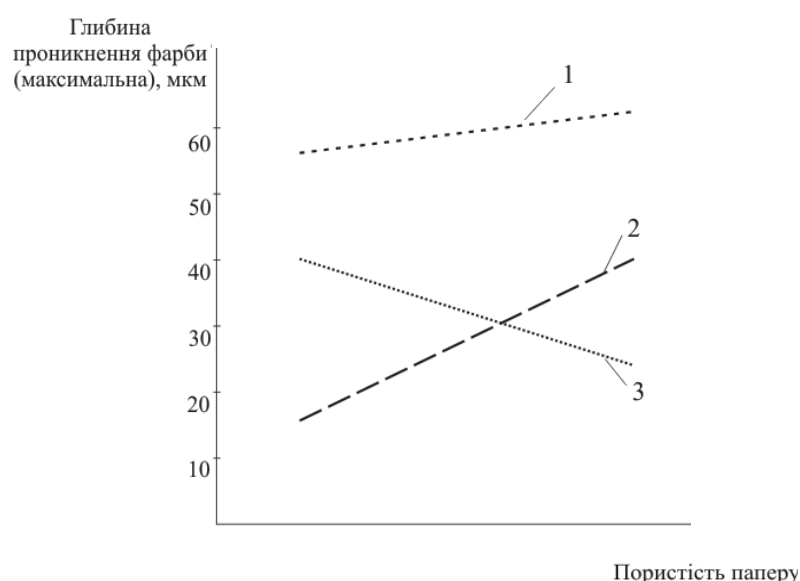


Рис. 2.10. Розподіл складових частин фарби в об'ємних шарах паперу [19]:

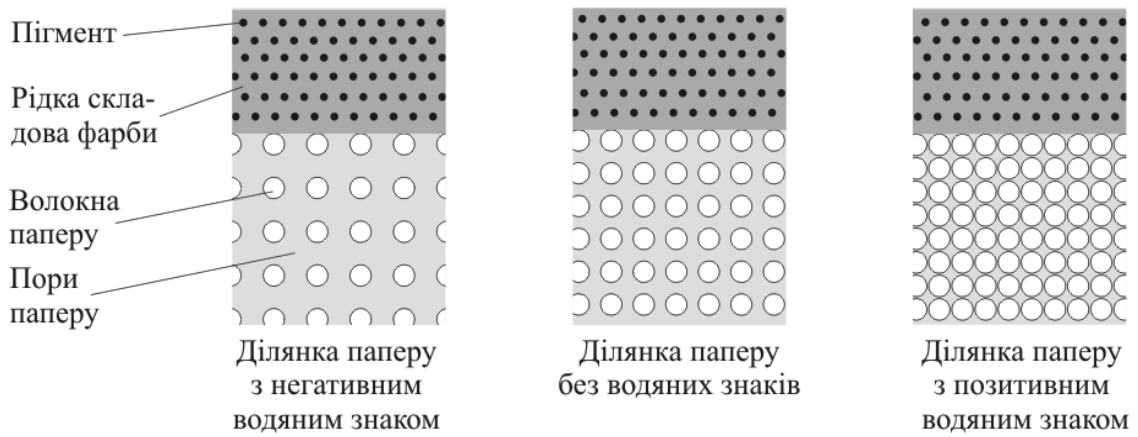
1 – пігмент зі зв'язувальним; 2 – пігмент зі зв'язувальним та відфільтроване зв'язувальне; 3 – відфільтроване зв'язувальне

Подібне явище спостерігається і для паперів з водяними знаками, оскільки під час формування водяного знака на папероробній машині змінюється товщина паперу, а каландрування неоднаково впливає на різні

ділянки аркуша. Каландри викликають найбільший тиск на позитивні водяні знаки, і мінімальний – на негативні. Каландрування різко зменшує розміри пор і збільшує їх загальну кількість, тому ділянки з позитивними водяними знаками матимуть властивості, подібні до висококаландрованих паперів, а негативні водяні знаки – до друкарських паперів машинної гладкості. Тоді на ділянках позитивних водяних знаків пігмент більшою мірою лишатиметься на поверхні, а на негативних – проникатиме глибше у товщу паперу [62, 63]

На основі викладеного, застосувавши підхід, висвітлений в роботі [60], було розроблено концептуальну модель закріплення фарбового шару на папері з водяними знаками (рис. 2.11). Можна припустити, що на негативних водяних знаках оптична густина відбитка буде нижчою, ніж на позитивних, тобто, чим темніший водяний знак на просвіт – тим більшої насиченості кольору можна на ньому досягти.

Шар фарби відразу після нанесення



Шар фарби після поглинання її папером

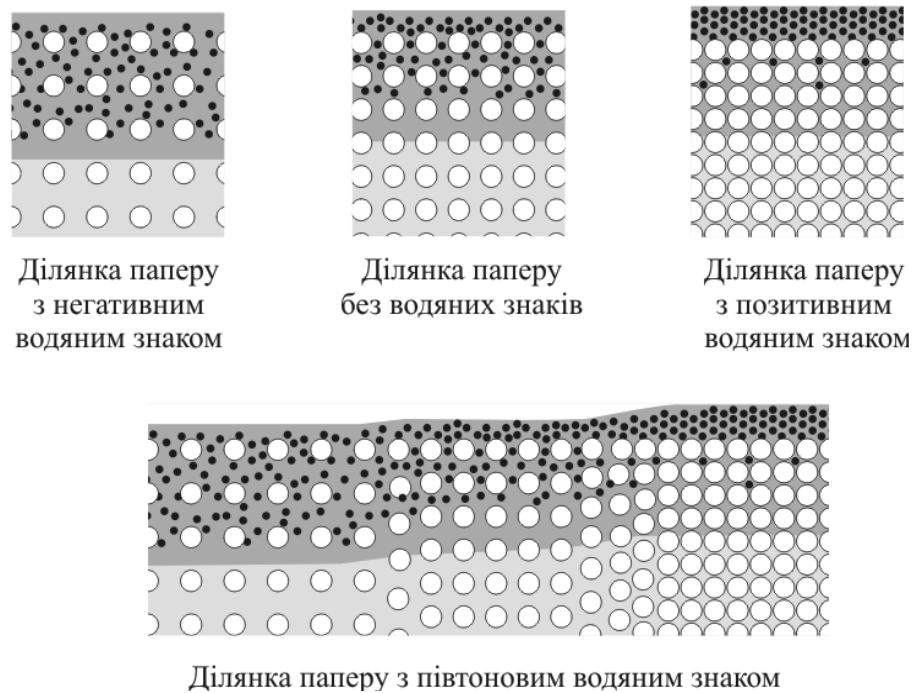


Рис 2.11. Концептуальна модель закріплення фарбового шару на папері, захищеному водяними знаками

Для визначення глибини проникнення фарби в пори паперу може бути застосоване рівняння Лукаса–Уошборна [64]:

$$l_{пор} = \sqrt{\frac{R_{пор} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta}}, \quad (2.1)$$

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.

Механізм процесу проникнення фарби у волокнисте середовище паперу визначається фактором анізотропії та стохастичним характером структури паперу. Загальна глибина проникнення фарби у товщу паперу пов'язана з глибиною її проникнення у капіляр та з коефіцієнтом звивистості капілярів [65, 66]:

$$l = \frac{l_{\text{пор}}}{\beta} = \sqrt{\frac{R_{\text{пор}} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}}, \quad (2.2)$$

де β – коефіцієнт звивистості капілярів.

Об'єм поглинутої фарби становитиме

$$V = N_{\text{пор}} \cdot \Pi \cdot R_{\text{пор}}^2 \cdot l_{\text{пор}}, \quad (2.3)$$

де $N_{\text{пор}}$ – кількість пор на одиницю площі.

Таке проникнення справедливе лише за умови, що розмір частинок дисперсної фарбової системи не більший, ніж розмір пор (рис. 2.12, а). Якщо розмір пігменту більший, ніж пори паперу, то він відфільтровується, залишаючись на поверхні, а рідка складова фарби *просочується* вглиб пор (рис. 2.12, б). Тоді глибина проникнення рідкої складової фарби та товщина шару, що складається з відфільтрованого пігменту, може бути визначена так:

$$l_{\text{рід}} = l \cdot (1 - w_{\text{піг}}); \quad (2.4)$$

$$l_{\text{піг}} = (V \cdot w_{\text{піг}}) / S, \quad (2.5)$$

де $w_{\text{піг}}$ – об'ємна частка пігменту у фарбі;

S – площа поверхні, покритої шаром відфільтрованих пігментів;

l та V – глибина проникнення та об'єм фарби, що просочилася б з урахуванням $R_{\text{пор}} \geq R_{\text{піг}}$ (розраховані за формулами (2.2) і (2.3)).

У реальних умовах повне проникнення фарбової системи без утворення поверхневого шару, або повне відфільтрування пігменту, можливо лише в окремих випадках. Під час проникнення фарби в папір з різною структурою спостерігається як поглинання фарби в цілому, так і поглинання та фільтрація окремих її складових (рис. 2.12, *в*). Співвідношення міри поглинання всієї фарбової системи та її рідкої складової здебільшого визначається морфологією паперу, яка передбачає наявність у ньому різних за розмірами пор, що пов'язано з його багатокомпонентним складом.

Результати попередніх досліджень дають підстави стверджувати, що ділянки з негативними водяними знаками мають більші пори, ніж основний папір, натомість на позитивних водних знаках спостерігається підвищення кількості пор з одночасним зменшенням їх розмірів [67, 68].

Умовно розділимо пори паперу за розмірами: $R_{\text{пор } 1} \geq R_{\text{піг}} > R_{\text{пор } 2}$, де $R_{\text{пор } 1}$ – середній радіус пор, більших за розмір пігменту, $R_{\text{пор } 2}$ – середній радіус пор, менших за розмір пігменту. Для негативних водяних знаків відносна частка пор з радіусом $R_{\text{пор } 1}$ буде більшою за частку пор з радіусом $R_{\text{пор } 2}$, для позитивних водяних знаків – навпаки. Можна визначити глибину проникнення фарбової системи l_{ϕ} , її рідкої складової $l_{\text{рід}}$ та товщину шару відфільтрованого пігменту $l_{\text{піг}}$:

$$l_{\phi} = \sqrt{\frac{R_{\text{пор } 1} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}}, \quad (2.6)$$

$$l_{\text{рід}} = \sqrt{\frac{R_{\text{пор } 2} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}} \cdot (1 - w_{\text{піг}}), \quad (2.7)$$

$$l_{\text{піг}} = V_{\text{рід}} \cdot w_{\text{піг}} / S = w_{\text{пор } 2} \cdot N_{\text{пор}} \cdot \Pi \cdot R_{\text{пор } 2}^2 \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{пор } 2} \cdot \gamma \cdot \cos\Theta \cdot t}{\eta \cdot \beta^2}} \cdot w_{\text{піг}} / S, \quad (2.8)$$

де $w_{\text{пор } 1}$, $w_{\text{пор } 2}$ – відсоткова частка пор із середнім радіусом $R_{\text{пор } 1}$ та $R_{\text{пор } 2}$ відповідно.

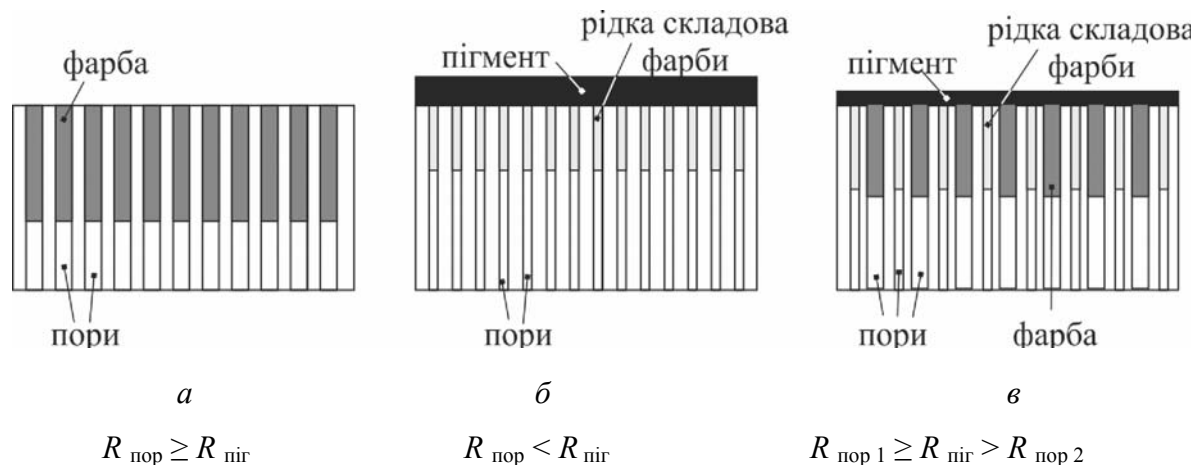


Рис. 2.12. Проникнення фарби в пористу структуру паперу

Таким чином, знаючи розмір, загальну кількість та характер розподілу пор паперу, дисперсність фарби та її реологічні показники, можна визначити глибину проникнення компонентів фарбової системи.

2.4. Оптичні явища у товщі фарбового шару

Поліграфічна фарба являє собою суспензію пігментів у зв'язувальній речовині, які працюють не лише на пропускання, а й на відбивання, маючи інший показник заломлення, ніж зв'язувальне. Під час проходження променів світла через фарбовий шар відбувається їх відбивання, заломлення, розсіювання чи вибіркове поглинання; у результаті виникає відчуття кольору, прозорості чи непрозорості, глянцевої чи матовості відбитка [69–71]. На рис. 2.13 показано процес розсіювання світла у товщі відбитка з лиця та звороту.

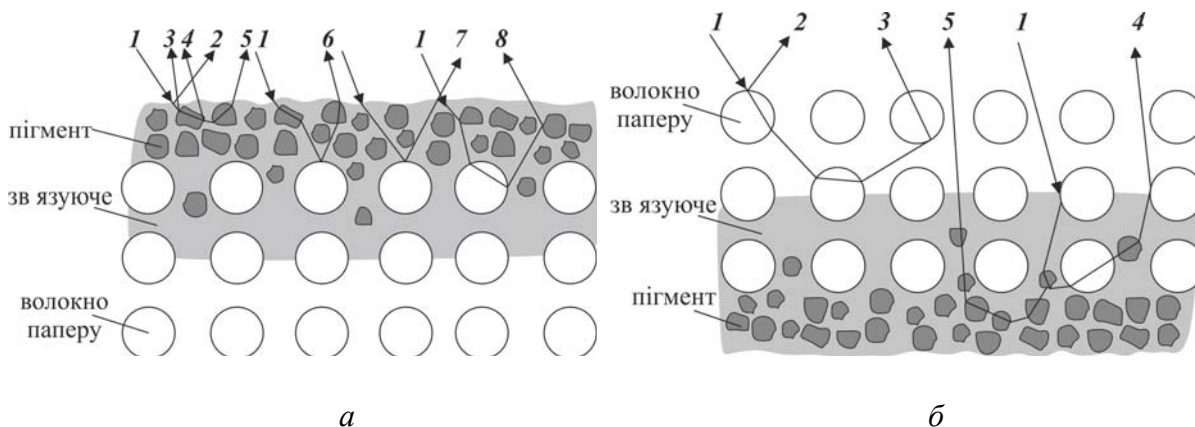


Рис. 2.13. Розсіювання світла у товщі відбитка:

a – лицьовий бік; *б* – зворот

Спрямувавши на фарбовий відбиток промінь світла *1* (рис. 2.13, *a*), його складова *2* дзеркально відіб'ється від поверхні, складові *3* і *7* відбиваються від поверхні фарбового шару, від поверхні частинки пігменту та волокна паперу відповідно, тому вони безбарвні. Від внутрішньої поверхні частинки пігменту відбивається складова *4*, яка внаслідок проходження через пігмент набуває слабого забарвлення пігменту. Складові *5* та *6* мають більш інтенсивне забарвлення, оскільки пройшли через кілька частинок пігменту. Складова *8* набуває забарвлення паперу, оскільки пройшла крізь його волокно і пружно відбилася від поверхні частинок пігменту.

Під час падіння світла на зворот відбитка (рис. 2.13, *б*), промінь так само буде частково відбиватися і заломлюватися. Складова променя *2* буде безбарвною, складова *3* матиме колір паперу, *4* – комбіноване забарвлення як паперу, так і пігменту, *5* – забарвлення пігменту. Забарвлення відбитого променя у колір пігменту можна спостерігати при явищі перебивання фарби на зворот відбитка, що може бути викликано як глибиною її проникнення, так і недостатньою щільністю волокон паперу в зоні спостереження.

На рис. 2.14 показана розроблена нами імовірнісна модель взаємодії променя світла та фарбового відбитка.

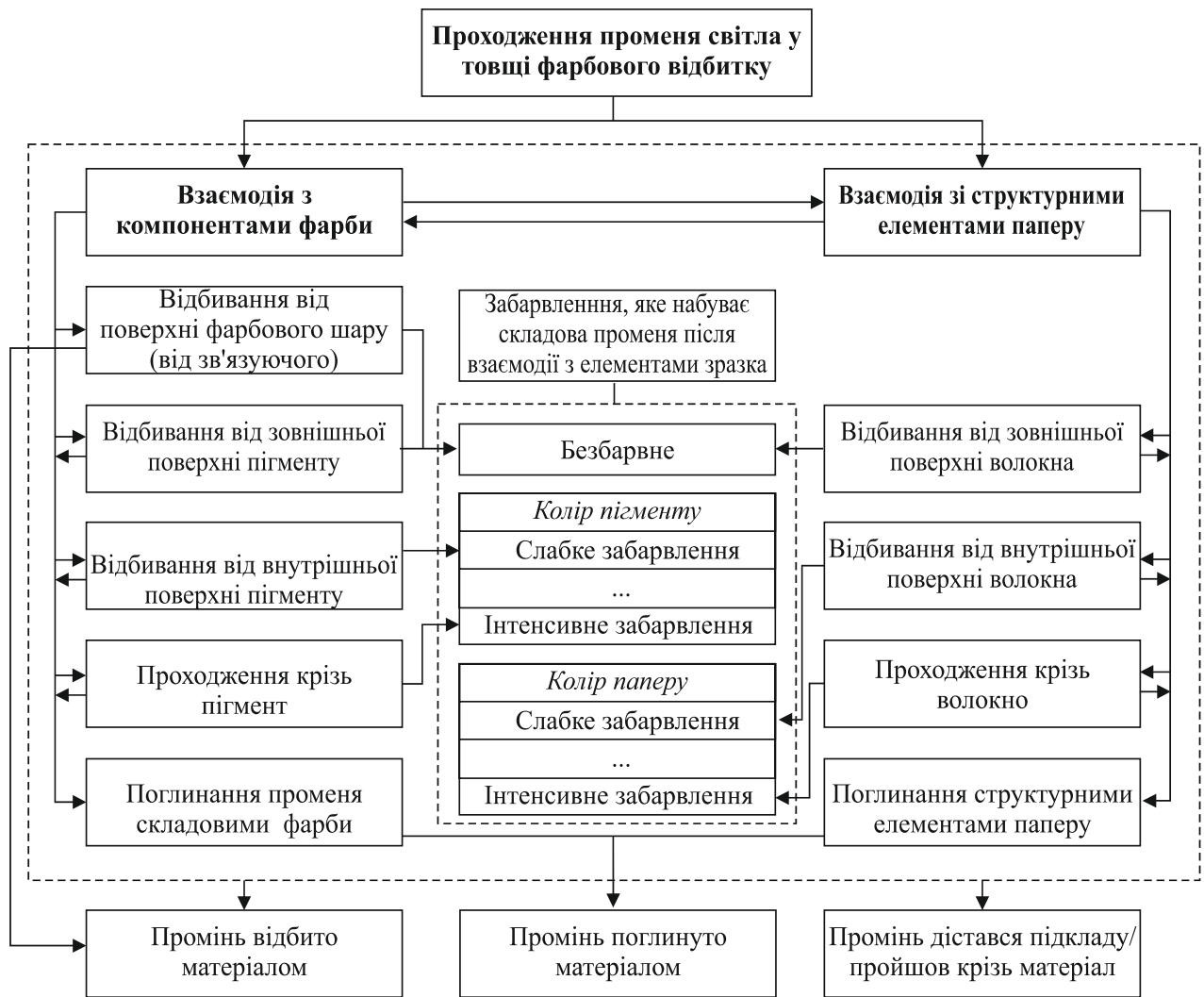


Рис. 2.14. Імовірна модель взаємодії променя світла та фарбового відбитка

Елементарними подіями взаємодії променя світла та фарбового відбитка E_i є група подій, пов'язаних складовими фарби E_i^{ink} та група подій, пов'язаних зі структурними елементами паперу E_i^{paper} . Елементарні події є незалежними.

До першої групи подій E_i^{ink} належать: відбивання від поверхні фарбового шару (від зв'язувального); відбивання від зовнішньої поверхні пігменту; відбивання від внутрішньої поверхні пігменту; проходження крізь пігмент; поглинання складовими фарби.

До другої групи подій E_i^{paper} належать: відбивання від зовнішньої поверхні волокна; відбивання від внутрішньої поверхні волокна; проходження крізь волокно; поглинання структурними складовими паперу.

Ймовірність вказаних елементарних подій $P\{E_i\}$ визначається параметрами фарбового шару, особливості формування якого залежать від властивостей фарби, паперу та технологічного процесу [72].

Унаслідок настання елементарних подій E_i промінь світла може бути поглинутий матеріалом (складовими паперу або фарби), пройти крізь матеріал та бути відбитим. При цьому пропущений та відбитий промені можуть залишитися безбарвними (не змінити кольору), або набути забарвлення, ступінь якого визначається тривалістю взаємодії з пігментом фарби або волокном паперу і може коливатися від низької до максимальної світлоти.

Крім того, можуть послідовно відбуватися декілька однакових або різних елементарних подій, що викликає послідовну зміну кольору променя.

Спираючись на розроблені моделі закріплення фарбового шару на папері з водяними знаками та імовірнісну модель взаємодії променя світла та фарбового відбитка, є підстави стверджувати, що характер розсіювання світла різними ділянками відбитка буде відрізнятися. На ділянках негативних водяних знаків (рис. 2.15, *a*), де наявна менша скупченість паперових волокон та більша глибина проникнення фарби, спостерігатиметься розсіювання світла як складовими фарби, так і, меншою мірою, волокнами паперу. Це приводить до сприйняття відбитка як недостатньо насиченого через те, що, окрім кольору фарби, наявний і колір паперу. На позитивних водяних знаках (рис. 2.15, *б*), де велика частина пігменту утримується на поверхні, розсіювання світла здебільшого відбувається частинками пігменту, у результаті колір відбитка сприймається насиченим.

Зі звороту відбитка характер розсіювання світла також відрізнятиметься. На негативних водяних знаках (рис. 2.15, *в*), де проникнення фарби глибше, а щільність прилягання волокон менша, спостерігатиметься розсіювання світла волокнами паперу та частково компонентами фарби, що призведе до наявності кольору фарби на звороті відбитка. На позитивних водяних знаках (рис. 2.15, *г*), де щільність волокон більша, а глибина проникнення фарби менша, світло

розсіюється переважно паперовими волокнами, що значно зменшує проступання кольору фарби зі звороту.

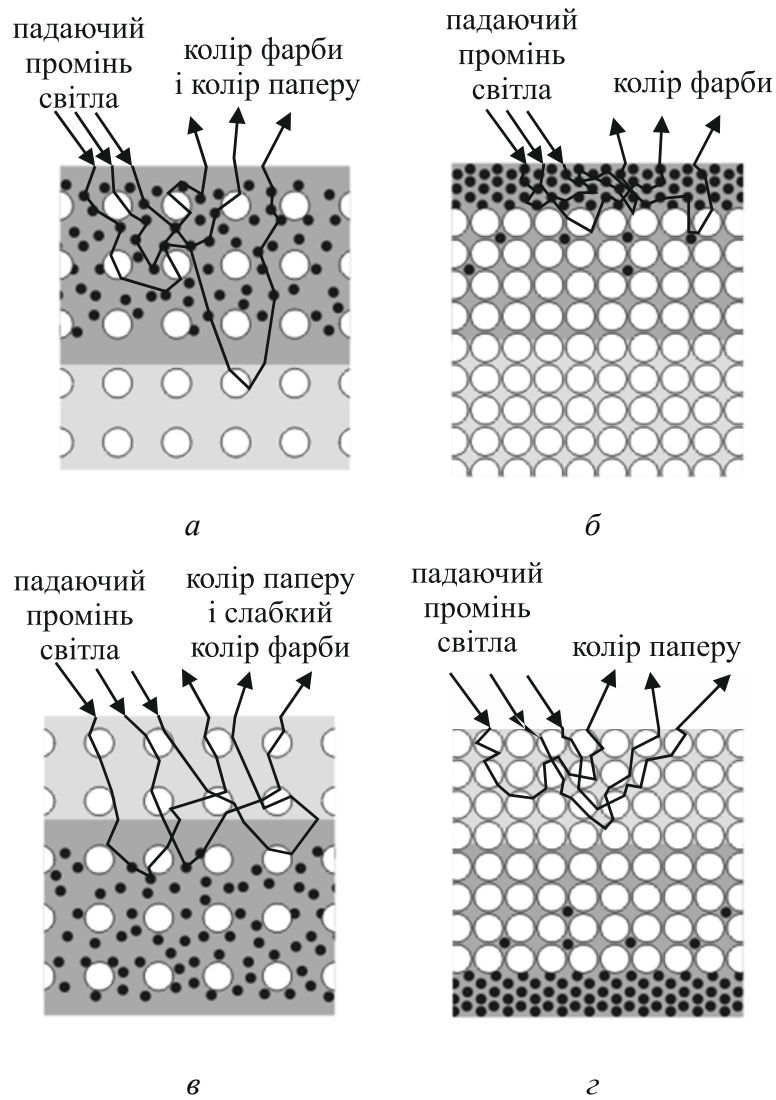


Рис. 2.15. Розсіювання світла з лица та звороту відбитка, отримане на папері з водяними знаками: *а* – лицьовий бік, негативний водяний знак; *б* – лицьовий бік, позитивний водяний знак; *в* – зворот, негативний водяний знак; *г* – зворот, позитивний водяний знак

2.5. Моделювання оптичних характеристик відбитків, отриманих на захищеному папері

Для визначення оптичних характеристик відбитків, отриманих на захищеному папері, було використано формули для визначення глибини проникнення фарби та її компонентів (1, 3–7; розд. 2.3).

Розрахуємо показники розсіювання, пропускання та поглинання відбитка за умови повного проникнення фарбової системи у папір ($R_{\text{пор}} \geq R_{\text{піг}}$).

Для визначення коефіцієнтів розсіювання ρ та пропускання τ у слабопрозорому середовищі завтовшки x , до якого можна віднести фарбу та папір, застосуємо таке рівняння [73]:

$$\rho(x) = \rho_{\infty} \frac{1 - e^{-2Lx}}{1 - \rho_{\infty}^2 e^{-2Lx}}; \quad (2.9)$$

$$\tau(x) = e^{-Lx} \frac{1 - \rho_{\infty}^2}{1 - \rho_{\infty}^2 e^{-2Lx}}, \quad (2.10)$$

де ρ_{∞} – коефіцієнт відбивання нескінченно товстого шару речовини;

L – натуральний показник зменшення освітленості площадки при її зануренні всередину нескінченно товстого шару.

Розглянемо шар, в який проникла фарба:

$$\rho_1 = \rho_{\text{фар.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{фар.}}x_1}}{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{фар.}}x_1}} \cdot \beta N_{\text{пор}} + \rho_{\text{нан.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{нан.}}x_1}}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_1}} \cdot (1 - \beta N_{\text{пор}});, \quad (2.11)$$

$$\tau_1 = e^{-L_{\text{фар.}}x_1} \frac{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{фар.}}x_1}} \cdot \beta N_{\text{пор}} + e^{-L_{\text{нан.}}x_1} \frac{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_1}} \cdot (1 - \beta N_{\text{пор}}), \quad (2.12)$$

де x_1 – товщина шару, в який проникла фарба, відповідно до формули (2.2)

$x_1 = l$;

$N_{\text{пор}}$ – кількість пор на одиницю площі.

Виходячи із закону збереження енергії сума коефіцієнтів розсіювання, пропускання та поглинання дорівнює одиниці. Тоді

$$k_1 = 1 - (\rho_1 + \tau_1). \quad (2.13)$$

Аналогічно розрахуємо коефіцієнти розсіювання, пропускання та поглинання для шару паперу, в який не проникла фарба:

$$\rho_2 = \rho_{nan.\infty} \frac{1 - e^{-2L_{nan.x_2}}}{1 - \rho_{nan.\infty}^2 e^{-2L_{nan.x_2}}}; \quad (2.14)$$

$$\tau_2 = e^{-L_{nan.x_2}} \frac{1 - \rho_{nan.\infty}^2}{1 - \rho_{nan.\infty}^2 e^{-2L_{nan.x_2}}}; \quad (2.15)$$

$$k_2 = 1 - (\rho_2 + \tau_2), \quad (2.16)$$

де x_2 – товщина шару паперу, в який не проникла фарба.

Знайдемо оптичні характеристики обох шарів [73]:

$$\begin{cases} \rho_{1+2} = \rho_1 \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2}, \\ \tau_{1+2} = \frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \end{cases}; \quad (2.17)$$

де для визначення оптичних характеристик відбитка врахуємо граничні умови поділу середовищ, оскільки процес відбивання світла об'єктом характеризується двома компонентами: поверхневим відбиванням, що залежить від мікрорельєфу поверхні та показника заломлення, та внутрішнім відбиванням у результаті багатократного розсіювання випромінювання, що проникає вглиб шарів.

Вважаючи падіння випромінювання нормальним, коефіцієнт відбивання відбитка становитиме

$$\begin{aligned} \rho_{відбитку} &= \rho_{1+2} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-0} = \\ &= \rho_{1+2} + \left[\left(\frac{n_{фар.} - n_0}{n_{фар.} + n_0} \right)^2 \cdot \beta N_{nor} + \left(\frac{n_{пап.} - n_0}{n_{пап.} + n_0} \right)^2 \cdot (1 - \beta N_{nor}) \right] + \\ &+ \left(\frac{n_{фар.} - n_{пап.}}{n_{фар.} + n_{пап.}} \right)^2 \cdot \beta N_{nor} + \left(\frac{n_{пап.} - n_0}{n_{пап.} + n_0} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.18)$$

де ρ_{0-1} , ρ_{1-2} , ρ_{2-0} – коефіцієнти відбивання на межі розділення середовищ повітря – шар 1 (папір + фарба), шар 1 – шар 2 (папір), шар 2 – повітря відповідно;

n_0 , $n_{\text{фар}}$, $n_{\text{пап}}$ – показники заломлення повітря, фарби, паперу відповідно.

Розрахуємо показники розсіювання, пропускання та поглинання відбитка за умови повного відфільтрування пігменту ($R_{\text{пор}} < R_{\text{піг}}$).

Розглянемо шар, що складається з відфільтрованого пігменту:

$$\rho_1 = \rho_{\text{ніг.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{ніг.}}x_1}}{1 - \rho_{\text{ніг.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{ніг.}}x_1}}; \quad (2.19)$$

$$\tau_1 = e^{-L_{\text{ніг.}}x_1} \frac{1 - \rho_{\text{ніг.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{ніг.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{ніг.}}x_1}}, \quad (2.20)$$

де x_1 – товщина шару відфільтрованого пігменту, за формулою (2.5) $x_1 = l_{\text{піг}}$.

Зв'язувальне, що проникло в пори паперу, розглядатимемо як абсолютно прозору речовину, тоді коефіцієнти розсіювання та пропускання для шару паперу становитимуть:

$$\rho_2 = \rho_{\text{пап.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{пап.}}x_2}}{1 - \rho_{\text{пап.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{пап.}}x_2}}; \quad (2.21)$$

$$\tau_2 = e^{-L_{\text{пап.}}x_2} \frac{1 - \rho_{\text{пап.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{пап.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{пап.}}x_2}}, \quad (2.22)$$

де x_2 – товщина шару паперу.

Оптичні характеристики обох шарів:

$$\begin{cases} \rho_{1+2} = \rho_1 \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2}; \\ \tau_{1+2} = \frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \end{cases} \quad (2.23)$$

Враховавши граничні умови поділу середовищ за нормального падіння випромінювання, маємо:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{відбитку}} &= \rho_{1+2} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-3} + \rho_{3-0} = \\ &= \rho_{1+2} + \left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_0}{n_{\text{піг.}} + n_0} \right)^2 + \left[\left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_{\text{зв.}}}{n_{\text{піг.}} + n_{\text{зв.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор}} + \left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_{\text{пап.}}}{n_{\text{піг.}} + n_{\text{пап.}}} \right)^2 \cdot (1 - \beta N_{\text{пор}}) \right] + \\ &+ \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_{\text{зв.}}}{n_{\text{пап.}} + n_{\text{зв.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор}} + \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_0}{n_{\text{пап.}} + n_0} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.24)$$

де ρ_{0-1} , ρ_{1-2} , ρ_{2-3} , ρ_{3-0} – коефіцієнти відбивання на межі поділу середовищ повітря – шар 1 (пігмент), шар 1 – шар 2 (папір + зв’язувальне), шар 2 – шар 3 (папір), шар 3 – повітря відповідно; $n_{\text{піг}}$, $n_{\text{зв}}$ – показники заломлення пігменту та зв’язувального відповідно.

Розрахуємо показники розсіювання, пропускання та поглинання відбитка за умови як поглинання фарби в цілому, так і поглинання та фільтрації окремих її складових ($R_{\text{пор } 1} \geq R_{\text{піг}} > R_{\text{пор } 2}$)

Розглянемо шар, що складається з відфільтрованого пігменту:

$$\rho_1 = \rho_{\text{ніз.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{ніз.}}x_1}}{1 - \rho_{\text{ніз.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{ніз.}}x_1}}; \quad (2.25)$$

$$\tau_1 = e^{-L_{\text{ніз.}}x_1} \frac{1 - \rho_{\text{ніз.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{ніз.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{ніз.}}x_1}}, \quad (2.26)$$

де x_1 – товщина шару відфільтрованого пігменту, за формулою (2.8) $x_1 = l_{\text{піг}}$.

Зв’язувальне, що проникло в пори паперу, розглядатимемо як абсолютно прозору речовину, тоді коефіцієнти розсіювання та пропускання для шару паперу, в який проникла фарба, становитиме:

$$\rho_2 = \rho_{\text{фар.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{фар.}}x_2}}{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{фар.}}x_2}} \cdot \beta N_{\text{пор } 1} + \rho_{\text{нан.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{нан.}}x_2}}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_2}} \cdot (1 - \beta N_{\text{пор } 1}); \quad (2.27)$$

$$\tau_2 = e^{-L_{\text{фар.}}x_2} \frac{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{фар.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{фар.}}x_2}} \cdot \beta N_{\text{пор } 1} + e^{-L_{\text{нан.}}x_2} \frac{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_2}} \cdot (1 - \beta N_{\text{пор } 1}), \quad (2.28)$$

де x_2 – товщина шару, в який проникла фарба, за формулою (2.6) $x_2 = l_{\text{фар}}$;

$N_{\text{пор } 1}$ – кількість пор з радіусом більшим за пігмент ($R_{\text{пор } 1} \geq R_{\text{піг}}$) на одиницю площі.

Шар, що складається лише з паперу:

$$\rho_3 = \rho_{\text{нан.}\infty} \frac{1 - e^{-2L_{\text{нан.}}x_3}}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_3}}; \quad (2.29)$$

$$\tau_3 = e^{-L_{\text{нан.}}x_3} \frac{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2}{1 - \rho_{\text{нан.}\infty}^2 e^{-2L_{\text{нан.}}x_3}}, \quad (2.30)$$

де x_3 – товщина шару паперу, в який не проникла фарба.

Оптичні характеристики усіх шарів знайдемо за формулою

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{1+2+3} = \rho_1 \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \cdot \frac{\left(\frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \right)^2 \rho_3}{1 - \rho_1 \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \rho_3} ; \\ \tau_{1+2+3} = \frac{\left(\frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \right)^2 \tau_3}{1 - \rho_1 \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \rho_3} \end{array} \right. \quad (2.31)$$

Враховавши граничні умови поділу середовищ за умови нормального падіння випромінювання та якщо глибина проникнення фарби більша, ніж глибина проникнення зв'язувального ($l_\phi > l_{\text{рід}}$), матимемо:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{відбитку}} &= \rho_{1+2+3} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-3} + \rho_{3-4} + \rho_{4-0} = \\ &= \rho_{1+2+3} + \left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_0}{n_{\text{піг.}} + n_0} \right)^2 + \\ &+ \left[\left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_{\text{фар.}}}{n_{\text{піг.}} + n_{\text{фар.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор1}} + \left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_{\text{зв.}}}{n_{\text{піг.}} + n_{\text{зв.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор2}} + \left(\frac{n_{\text{піг.}} - n_{\text{пап.}}}{n_{\text{піг.}} + n_{\text{пап.}}} \right)^2 \cdot (1 - \beta N_{\text{пор1}} - \beta N_{\text{пор2}}) \right] + \\ &+ \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_{\text{зв.}}}{n_{\text{пап.}} + n_{\text{зв.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор2}} + \left(\frac{n_{\text{фар.}} - n_{\text{пап.}}}{n_{\text{фар.}} + n_{\text{пап.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор1}} + \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_0}{n_{\text{пап.}} + n_0} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.32)$$

де ρ_{0-1} , ρ_{1-2} , ρ_{2-3} , ρ_{3-4} , ρ_{4-0} – коефіцієнти відбивання на межі поділу середовищ повітря – шар 1 (пігмент), шар 1 – шар 2 (папір + фарба + зв'язувальне), шар 2 – шар 3 (папір + фарба), шар 3 – шар 4 (папір), шар 4 – повітря відповідно;

$N_{\text{пор2}}$ – кількість пор з радіусом меншим за пігмент ($R_{\text{піг}} > R_{\text{пор2}}$) на одиницю площі.

За умови, що глибина проникнення фарби менша, ніж глибина проникнення зв'язувального ($l_\phi < l_{\text{рід}}$), маємо:

$$\begin{aligned}
\rho_{\text{відбитку}} &= \rho_{1+2+3} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-3'} + \rho_{3'-4} + \rho_{4-0} = \\
&= \rho_{1+2+3} + \left(\frac{n_{\text{пір.}} - n_0}{n_{\text{пір.}} + n_0} \right)^2 + \\
&+ \left[\left(\frac{n_{\text{пір.}} - n_{\text{фар.}}}{n_{\text{пір.}} + n_{\text{фар.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор1}} + \left(\frac{n_{\text{пір.}} - n_{\text{зв.}}}{n_{\text{пір.}} + n_{\text{зв.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор2}} + \left(\frac{n_{\text{пір.}} - n_{\text{пап.}}}{n_{\text{пір.}} + n_{\text{пап.}}} \right)^2 \cdot (1 - \beta N_{\text{пор1}} - \beta N_{\text{пор2}}) \right] + \\
&+ \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_{\text{фар.}}}{n_{\text{пап.}} + n_{\text{фар.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор2}} + \left(\frac{n_{\text{зв.}} - n_{\text{пап.}}}{n_{\text{зв.}} + n_{\text{пап.}}} \right)^2 \cdot \beta N_{\text{пор1}} + \left(\frac{n_{\text{пап.}} - n_0}{n_{\text{пап.}} + n_0} \right)^2,
\end{aligned} \tag{2.33}$$

де ρ_{0-1} , ρ_{1-2} , $\rho_{2-3'}$, $\rho_{3'-4}$, ρ_{4-0} – коефіцієнт відбивання на межі поділу середовищ повітря – шар 1 (пігмент), шар 1 – шар 2 (папір + фарба + зв'язувальне), шар 2 – шар 3 (папір + зв'язувальне), шар 3 – шар 4 (папір), шар 4 – повітря відповідно.

Для звороту відбитка за умови $R_{\text{пор1}} \geq R_{\text{пір}} > R_{\text{пор2}}$ показники розсіювання, пропускання та поглинання становитимуть:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_{3+2+1} &= \rho_3 \frac{\tau_3^2 \rho_2}{1 - \rho_3 \rho_2} \cdot \frac{\left(\frac{\tau_3 \tau_2}{1 - \rho_3 \rho_2} \right)^2 \rho_1}{1 - \rho_3 \frac{\tau_3^2 \rho_2}{1 - \rho_3 \rho_2} \rho_1} ; \\ \tau_{3+2+1} &= \frac{\left(\frac{\tau_3 \tau_2}{1 - \rho_3 \rho_2} \right)^2 \tau_1}{1 - \rho_3 \frac{\tau_3^2 \rho_2}{1 - \rho_3 \rho_2} \rho_1} \end{aligned} \right. \tag{2.34}$$

За умови $l_\phi > l_{\text{рід}}$:

$$\rho_{\text{звор.}} = \rho_{3+2+1} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-3} + \rho_{3-4} + \rho_{4-0}; \tag{2.35}$$

$$\tau_{\text{звор.}} = \tau_{3+2+1}; \tag{2.36}$$

$$k_{\text{звор.}} = 1 - (\rho_{\text{звор.}} + \tau_{\text{звор.}}). \tag{2.37}$$

За умови $l_\phi < l_{\text{рід}}$:

$$\rho_{\text{звор.}} = \rho_{3+2+1} + \rho_{0-1} + \rho_{1-2} + \rho_{2-3'} + \rho_{3'-4} + \rho_{4-0}; \tag{2.38}$$

$$\tau_{\text{звор.}} = \tau_{3+2+1}; \tag{2.39}$$

$$k_{звор.} = 1 - (\rho_{звор.} + \tau_{звор.}). \quad (2.40)$$

Розроблена модель надасть змогу прогнозувати оптичні характеристики фарбових відбитків та міру проступання фарби на зворот для паперів з різними структурними характеристиками суміжних ділянок, зокрема для паперів спеціального призначення, що мають водяні знаки.

Висновки до розділу 2

Проаналізувавши основні види браку банкотної продукції та їх відсоткове співвідношення, було виявлено, що найбільший відсоток браку спричиняє неналежна якість інтагліо та офсетного видів друку (21,14 % та 17,45 % відповідно). Під час офсетного способу друку найчастіше виникають проблеми з непродрукуванням зображення за рахунок чорнишів та недостатньої насиченості частин відбитка – 23,3 % (від дефектів в офсетному способі друку), відхиленням кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти – 21,44 %, невідповідністю товщини ліній – 17,27 %, непродрукуванням на ділянці водяного знака – 9,71 %.

Специфічними та притаманними лише для продукції спеціального призначення є дефекти, пов'язані з непродрукуванням на ділянці водяного знака та відхиленням кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти. Тому, враховуючи наявні дефекти банкотної продукції, було вирішено приділити увагу якості друку на ділянках водяних знаків та якості кольоровідтворення.

На основі проведених теоретичних досліджень було припущено, що поверхня захищеного паперу має різні характеристики, наявність яких викликана ущільненням ділянок (які виступають) позитивних водяних знаків в процесі каландрування. Таким чином, на ділянці позитивного водяного знака поверхня паперу після каландрування є більш гладенькою, а на негативних

водяних знаках – більш шорсткою. Це явище може привести до відмінних оптичних та колірних характеристик суміжних ділянок відбитка та його звороту.

На основі отриманих статистичних даних щодо кількості й розподілу дефектів банкнот української гривні на етапі післяопераційного контролю офсетного друку та виявлених факторів впливу на явище перебивання було удосконалено концептуальну ієрархічну модель формування якості офсетного друку, що полягало у забезпеченні точності контролю зношеності банкнот та можливості керування цим процесом через встановлення допустимих норм показників зношеності та налаштуванням сортувального обладнання.

Було розроблено концептуальну модель закріплення фарбового шару на папері з водяними знаками, що враховує розподіл складових частин фарби у поверхневих та об'ємних шарах паперу.

Використавши рівняння Лукаса–Уошборна, було здійснено моделювання глибини проникнення компонентів фарбової системи у папір, що враховує розмір, загальну кількість та характер розподілу пор паперу, дисперсність фарби та її реологічні показники.

Спираючись на розроблену модель можна стверджувати, що характер розсіювання світла окремими ділянками відбитка буде різнитись: на ділянках негативних водяних знаків відбиток сприйматиметься як недостатньо насичений через те, що, окрім кольору фарби, наявний також і колір паперу, а на ділянках позитивних водяних знаків, де велика частина пігменту утримується на поверхні, колір відбитка сприймається більш насиченим.

Зі звороту відбитка на негативних водяних знаках спостерігатиметься розсіювання світла волокнами паперу та частково компонентами фарби, що приведе до наявності кольору фарби на звороті відбитка. На позитивних водяних знаках світло розсіюється переважно паперовими волокнами, що значно зменшує проступання кольору фарби зі звороту.

Виконано моделювання оптичних характеристик відбитків та їх звороту, що дозволить прогнозувати якість друку та явище проступання фарби на зворот для паперів з різними структурними характеристиками суміжних ділянок, зокрема для паперів спеціального призначення, що мають водяні знаки.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Підготовка досліджуваних зразків

Для проведення експериментальних досліджень було використано кілька видів офсетного паперу, різні види паперу, захищеного водяними знаками (табл. 3.1), зокрема кілька видів банкнотного паперу для друку української гривні (табл. 3.2, рис. 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристики офсетного паперу та паперу з елементами захисту

№ з/п	Назва паперу	Наявність оптичних відбілювачів/захисних волокон	Маса, г/м ²	Непрозорість, %	Білизна, %	Гладкість (за Бекком), сек		Поверхнева вбирність (Кобб 60), г/м ²
						Сітковий бік	Лицьовий бік	
1	Security lune	люваців/захисних	90	85,6	79,3	28	29	27
2	Filidoro laid avorio	захисних	80	86,2	72,7	9	13	18
3	Chimere la hulpe	волокон	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	–	–	–

Характеристики банкнотного паперу

№ з/п	Назва паперу	Непрозорість, %	Шорсткість (за Бендстеном), мл/хв		Пористість паперу (за Бендстеном), мл/хв		Поверхнева вбирність (Кобб 60), г/м ²		Швидкість поглинання краплі масла папером
			Лиц. бік	Сіт. бік	Лиц. бік	Сіт. бік	Лиц. бік	Сіт. бік	
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	–

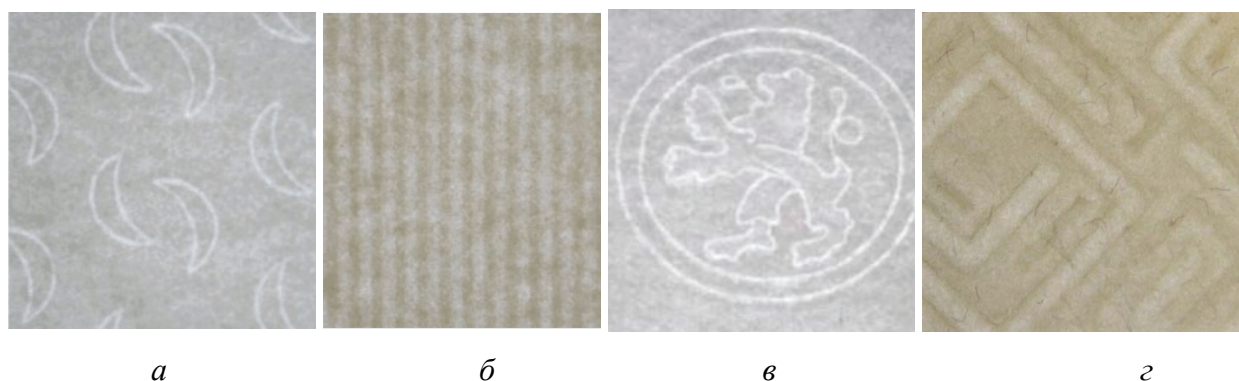


Рис. 3.1. Фотографії зразків паперу на просвіт:

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

Друкування проводилося на лабораторному друкарському пристрої IGT Reptest B.V. C1 та на офсетній аркушевій друкарській машині Heidelberg Printmaster GTO 52-2. Витримувались необхідні процедури з акліматизації паперу та підтримання постійних кліматичних умов. Кількість нанесеної фарби за допомогою пристрою IGT Reptest B.V. C1 визначалася ваговим методом [74].

Для отримання відбитків було використано тріадні фарби для офсетного аркушевого друку фірми Huber group (серія Rapida) та сумішеві фарби, що виготовлялися за допомогою програми Data Match (табл. 3.3). Хоч банкноти та цінні папери не задруковують тріадними фарбами, у цій роботі друк здійснюється зокрема й звичайною тріадою, оскільки це спрощує контроль

якості відбитків і дає змогу проводити вимірювання за допомогою денситометра.

Для друку на офсетній друкарській машині було використано друкарські форми, виготовлені за технологією Computer-to-Plate (СТР) на термальному СТР-пристрої AGFA Avalon SF. Використовувались термальні позитивні пластини AGFA Thermostar P970.

Таблиця 3.3

Характеристики сумішевих фарб

№ з/п	Фарба	Липкість, кДж	В'язкість η , Па·с	Колірні характеристики		
				L*	a*	b*
1	Червона	226,0	6,134	39,33	44,3	20,13
2	Жовта	206,0	6,848	74,25	11,12	71,56
3	Синя	224,0	7,290	27,02	6,16	-14,09
4	Бордова	244,0	6,218	11,32	23,41	9,10
5	Зелена	252,0	6,703	11,67	-4,76	11,76

3.2. Методика дослідження структурних характеристик зразків

Для дослідження структурних характеристик захищеного паперу варто розглядати як макронеоднорідність паперу, пов'язану з неоднорідністю об'єму та місцевим ущільненням або розрідженням волокон [75], так і мікронерівність поверхні, пов'язану з нещільним приляганням структурних елементів паперу, розмірами самих волокон.

Виходячи з малих розмірів водяного знака, було обрано такі способи та засоби вимірювання, які дозволяють чітко позиціювання на різних ділянках паперу (рис. 3.2). Для дослідження мікронерівності паперу було обрано метод контактного оцупування поверхні, тобто метод профілометрії. Для визначення характеру макронеоднорідності паперу необхідно дослідити рівномірність просвіту паперу та коливання товщини паперового аркуша на суміжних ділянках.



Рис. 3.2. Обрані способи дослідження структури паперу

3.2.1. Дослідження мікрогеометрії поверхні паперу

Для оцінювання профілю нерівностей поверхні застосовано метод профілометрії, що ґрунтується на контактному аналізі ділянки поверхні паперу тонкою голкою і дає змогу отримати збільшене зображення профілю поверхні та розмірні параметри нерівностей.

Вимірювання шорсткості зразків паперу здійснювалося відповідно до ГОСТ 2789–73 [76] на модулі для вимірювання фасонних профілів, що являє собою профілометр, під'єднаний до ПК. Таким чином, отримані дані профілометра оцифровуються і за ними будуються профілограми. Цей модуль розроблений на основі профілометра цехового із цифровим відліком та індуктивним пристроєм моделі 296 заводу «Калібр» [77]. Деякі характеристики профілометра наведено в табл. 3.4.

Технічні характеристики профілометра

Тип профілометра	II, ступінь точності 2
Діапазон вимірювань R_a , мкм	0,02 – 10
Мінімальний крок шорсткості вимірюваної поверхні, мкм	0,4
Рівень шуму та внутрішніх вібрацій за R_a , не більше, мкм	0,01
Швидкість трасування датчика, мм/с	0,15
Довжина траси вимірювання, мм	1,5/ 3/ 6
Радіус кривизни вершини щупа, мм	$10 \pm 2,5$
Найменша дискретність відліку, мкм	0,0001

Вимірювання шорсткості здійснювалось зі сіткового та лицьового боків аркуша перпендикулярно напрямку відливання паперу, на ділянках з водяним знаком та без, на незадрукованих зразках та з нанесеною офсетним способом друку плашкою фарби. Було визначено такі параметри нерівності профілю: R_a , R_z , R_q , R_p , R_v , R_{max} , S , S_m [78]:

– R_a – середнє арифметичне відхилення профілю, це середнє арифметичне із абсолютних значень відхилень профілю у межах базової довжини:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx, \text{ або } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (3.1)$$

де l – базова довжина;

n – кількість вибраних точок профілю на базовій довжині;

– R_z – висота нерівностей профілю за десятьма точками, це сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших впадин профілю у межах базової довжини:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |h_i| + \sum_{i=1}^5 |H_i|}{5}, \quad (3.2)$$

де h_i – висота i -го найбільшого виступу профілю;

H_i – глибина i -ї найбільшої впадини профілю;

- R_q – це середнє квадратичне значення відхилень профілю у межах базової довжини профілю;
- R_p – висота найбільшого виступу профілю, це відстань від середньої лінії до вищої точки профілю у межах базової довжини;
- R_v – глибина найбільшої впадини профілю, відстань від нижчої точки профілю до середньої лінії у межах базової довжини;
- R_{max} – найбільша висота профілю, це відстань між лінією виступів профілю та лінією впадин профілю у межах базової довжини;
- S_m – середнє значення кроку нерівностей профілю у межах базової довжини;
- S – середнє значення кроку місцевих виступів профілю у межах базової довжини [79].

3.2.2. Дослідження просвіту паперу

Оскільки водяні знаки є макронеоднорідністю систематичного характеру, для оцінювання просвіту захищеного паперу не можна застосовувати більшість відомих методів, які дають чисельний результат якості просвіту полотна.

Для дослідження просвіту суміжних ділянок паперу застосовано денситометр Gretag D300 для вимірювання оптичної густини у світлі, що проходить (рис. 3.3) [80]. Вимірювання здійснювалось на незадрукованому папері на ділянках з водяним знаком та без.

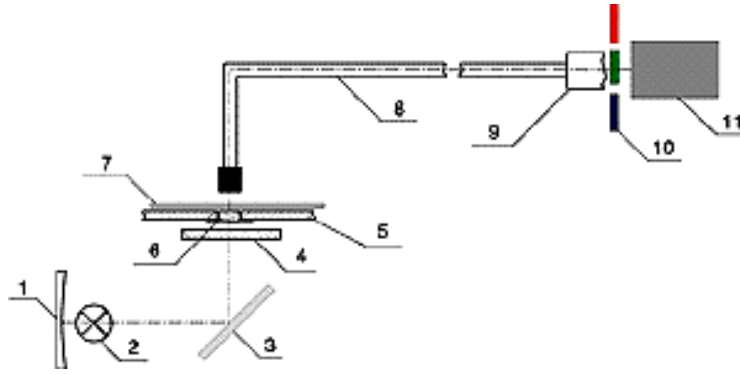


Рис. 3.3. Загальна схема внутрішньої будови денситометра:

1 – рефлектор; 2 – лампа розжарювання; 3 – дзеркало; 4 – тепловий фільтр;
 5 – предметний стіл; 6 – діафрагма; 7 – ділянка, що підлягає контролю;
 8 – світловод; 9 – ІЧ-світлофільтр; 10 – кольорові світлофільтри; 11 – фотоприймач

3.2.3. Дослідження товщини паперу

Для визначення товщини паперу на поліграфічних підприємствах застосовують ГОСТ 27015-86 [81], що передбачає використання товщиноміра. Діаметр щупа більшості таких пристроїв становить 10 мм, що ускладнює вимірювання товщини суміжних ділянок паперу з тонкими водяними знаками. Тому для визначення товщини захищеного паперу використовувався цифровий індикатор фірми «Мікротех» (Україна) 1МІГЦ – 10 клас 0 із щупом у вигляді кульки, що дає змогу чіткого позиціонування на ділянках водяних знаків. Діапазон вимірювання індикатора становить 0–10 мм, ціна поділки – 0,001 мм, похибка $\pm 0,005$ мм, зусилля притиску – 2 Н [82].

3.3. Методика дослідження проникнення фарби у товщу паперу

У місці розташування водяного знака змінюється структура паперу, а отже, змінюються й характер закріплення фарби та глибина проникнення окремих компонентів фарбової системи, що істотно впливає на оптичні характеристики відбитка. Тому було вирішено дослідити проникнення фарби,

нанесеної офсетним способом друку на папір з водяними знаками, за допомогою світлової мікроскопії.

Для вивчення за допомогою світлової мікроскопії процесів дифузії фарби розроблено методику приготування зрізів паперу, яка ґрунтується на методиках приготування гістологічних препаратів [83], модифіковану з урахуванням природи зразків. Так, зразки паперу, на відміну від матеріалів біологічного походження, не потребують фіксації та дегідратації. Також з урахуванням того, що метою досліджень є вивчення дифузії фарби в папір, не виконується фарбування зрізів. Розроблена методика включає розрізування задрукованих зразків паперу на смужки розміром 25×5 мм, їх заливання у парафін (процес створення блока достатньо твердого, щоб бути придатним для подальшого різання на мікротомі), мікротомування (різання на препарати завтовшки до 5–7 мкм) та розміщення отриманих препаратів між предметним і покривним склом.

Заливання зразків виконувалося в кілька етапів:

- 1) оброблення отриманих смужок у суміші ксилолу та парафіну (50 і 50 % відповідно) протягом 1 год у термостаті за температури 37°C ;
- 2) оброблення отриманого на етапі 1 матеріалу в чистому парафіні протягом 1 год у термостаті за температури 56°C ;
- 3) оброблення отриманого на етапі 2 матеріалу в новому чистому парафіні протягом 4 год у термостаті за температури 56°C ;
- 4) заливання отриманого матеріалу гарячим парафіном за температури 60°C у заливальних касетах, у результаті чого отримують парафінові блоки;
- 5) охолодження парафінових блоків у морозильній камері протягом не менш як 40 хв.

Використовувався спеціальний парафін високого ступеня очищення для гістологічних досліджень Paraplast, який містить пластифікувальну домішку (диметилсульфоксид). Далі за допомогою санного мікротома «Точмедприбор МС-2» з охолоджених парафінових блоків отримано зрізи зразків паперу

завтовшки 5–7 мкм. Після перенесення зразків на предметне скло для мікропрепаратів (розмір скла $25 \times 75 \times 1,1$ мм) здійснено депарафінування (видалення парафіну ксилолом протягом 10–15 хв за температури $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ у термостаті, потім 3–5 хв за кімнатної температури, у результаті чого відбувається розчинення парафіну й отримується тільки зріз паперу). На отримані депарафіновані препарати наносять канадський бальзам (натуральна смола ялиці бальзамічної, що вирізняється дуже високим ступенем прозорості та нормованим показником заломлення) і покривають покривним склом для мікропрепаратів.

Отримані зрізи паперу було досліджено у світлому полі за допомогою світлового мікроскопа виробництва «Carl Zeiss» (Німеччина) AxioStar Imager, обладнаного цифровою камерою AxioCam ERc5s та системою візуалізації із програмним забезпеченням AxioVision Rel. 4.8.2. У процесі досліджень використовувалося збільшення $\times 100$ – 1000 .

3.4. Методика дослідження оптичних та колірних характеристик відбитків та їх звороту

Одним із способів, що дозволяє комплексно визначати якість як колірних, так і оптичних характеристик відбитка є застосування денситометричних методів вимірювання оптичної густини [84, 85]. Тому було визначено оптичну густину досліджуваних зразків на ділянках із водяними знаками та без, на задрукованому боці та на звороті відбитка. Використовувався денситометр відбитого світла GretagMacbeth QUIKDense 200 з діаметром вимірювальної апертури 3 мм [86]. Ці вимірювання проводилися із поляризаційним світлофільтром. Перед вимірюваннями значення оптичної густини паперу обнулялися, тобто від значення оптичної густини відбитка «віднімалася» оптична густина паперу, що дало змогу проаналізувати оптичні характеристики фарбового шару без впливу відтінку основи [87].

Найважливішим чинником, що впливає на якість кольоровідтворення в офсетному способі друку, є колір та властивості поверхневого шару паперу, а також фізико-хімічні властивості фарб та спектральна характеристика пігментів, що входять до їх складу [88–91].

Оскільки в роботі використовується кілька видів паперу з різними характеристиками, варто дослідити як це впливає на передавання кольору.

Для отримання колірних даних відбитків та їх звороту в системі CIE Lab використовувалися два спектрофотометри: Eye-One Pro фірми X-Rite та SpectroEye фірми Gretag Macbeth, з діаметром апертур 3 і 4,5 мм відповідно [92]. Ці вимірювання проводилися за умови денного освітлення (D65), кут споглядання 2° , на ділянках з водяними знаками та без, на задрукованому боці та на звороті відбитка, також визначалися колірні характеристики незадрукованого паперу.

Різниця кольору визначалася як евклідова відстань між двома точками в системі координат L^* , a^* , b^* простору CIE Lab:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}. \quad (3.3)$$

3.5. Методика оброблення експериментальних даних

Для отримання об'єктивного значення колірних та оптичних характеристик різних ділянок паперу необхідно враховувати ширину водяного знака та розмір вимірювальної апертури приладу. Оскільки ширина водяного знака на обраних видах паперу є меншою за діаметр апертури, показані приладом значення будуть усередненими. Для отримання фактичних значень оптичних та колірних характеристик на ділянках водяних знаків було проведено математичні розрахунки, наведені нижче.

Якщо позиціювати тонкий водяний знак (Security lune, Chimere la hulpe) чітко по центру апертури, ділянка вимірювання матиме вигляд, показаний на рис. 3.4. Нехай оптична густина вимірюваної ділянки становить D , оптична

густина по за межами водяного знака – D_1 ; необхідно визначити оптичну густину лише на ділянці водяного знака – D_2 . Так само із колірними характеристиками: нехай колір вимірюваної ділянки $K = (L, a, b)$, ділянки поза межами водяного знака – $K_1 = (L_1, a_1, b_1)$; необхідно визначити колір лише на ділянці водяного знака – $K_2 = (L_2, a_2, b_2)$.

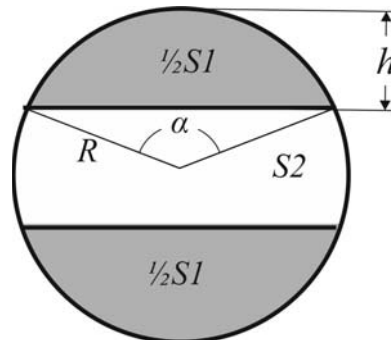


Рис. 3.4. Ділянка вимірювання:

S_1 – ділянка без водяного знака; S_2 – ділянка з водяним знаком; h – висота сегмента кола;
 R – радіус апертури; α – кут сегмента

Щоб отримати фактичні значення на ділянках водяних знаків, необхідно розрахувати площу цих ділянок. Для цього скористаємось такими формулами [93]:

$$S_1 = R^2(\alpha - \sin \alpha); \quad (3.4)$$

$$\alpha = 2 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right); \quad (3.5)$$

$$S_2 = \pi R^2 - S_1. \quad (3.6)$$

Тоді оптичні та колірні характеристики ділянки водяного знака становитимуть:

$$D_2 = \frac{D - D_1 \frac{S_1}{S}}{\frac{S_2}{S}} = \frac{D \cdot S - D_1 \cdot S_1}{S_2}; \quad (3.7)$$

$$K_2 = \left(L_2 = \frac{L \cdot S - L_1 \cdot S_1}{S_2}; a_2 = \frac{a \cdot S - a_1 \cdot S_1}{S_2}; b_2 = \frac{b \cdot S - b_1 \cdot S_1}{S_2} \right). \quad (3.8)$$

Для отримання достовірних результатів дослідження було проведено статистичну обробку результатів [94–98].

Було визначено середню арифметичну величину, яка характеризує групу вимірів в цілому, і вона більш об'єктивно відбиває аналізований показник, ніж будь-який один вимір:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (3.9)$$

де x – значення виміру;

n – кількість вимірів.

Достовірність різниць між групами вимірів визначали за критерієм Стьюдента. Критерій достовірності знаходили за формулою

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}}, \quad (3.10)$$

де \bar{X}_1, \bar{X}_2 – середнє арифметичне у групах;

Δ_1, Δ_2 – помилки репрезентативності у групах.

Обчислений критерій t порівнювали зі стандартним значенням критерію Стьюдента t_{st} для $n = n_1 + n_2 - 2$, де n_1 та n_2 – кількість вимірів у групах. Якщо вирахований критерій t більший від стандартного значення критерію Стьюдента t_{st} для $p < 0,05$, це означає, що різниця між групами є достовірною з надійністю 95 %. У випадку, якщо $t > t_{st}$, можна зробити висновок, що достовірної різниці між групами немає.

Адекватність рівняння моделі перевіряли за критерієм Фішера. Рівняння вважається адекватним за умови, що значення вирахованого критерію F не менше від стандартного F_{st} :

$$F = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^2}{\sigma_z^2} \cdot \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \geq F_{st} \left\{ \begin{array}{l} v_1 = 1 \\ v_2 = n_1 + n_2 - 2 \end{array} \right\}, \quad (3.11)$$

де \bar{X}_1, \bar{X}_2 – середнє арифметичне у групах;

σ_z – випадкова варіанта, яка обраховується за формулою

$$\sigma_z^2 = \frac{n_1(n_1 - 1)\Delta_1^2 + n_2(n_2 - 1)\Delta_2^2}{n_1 + n_2 - 2}; \quad (3.12)$$

де n_1, n_2 – кількість вимірів у групах;

Δ_1, Δ_2 – помилки репрезентативності у групах.

Висновки до розділу 3

Розроблено комплексну методику експериментальних досліджень, що дала змогу всебічно дослідити структурні характеристики паперу з макронерівностями систематичного порядку, а також визначити оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту, що дозволило здійснити аналіз як одиничного показника якості, так і комплексного, який характеризується декількома параметрами. Для вивчення за допомогою світлової мікроскопії процесів дифузії фарби розроблено методику приготування зрізів паперу, яка ґрунтується на методиках приготування гістологічних препаратів, модифіковану з урахуванням природи зразків.

Методика обробки експериментальних даних дала змогу отримати об'єктивне значення колірних та оптичних характеристик суміжних ділянок паперу з урахуванням розмірів водяного знака та вимірювальної апертури приладу. Регресійний аналіз експериментальних даних дозволяє отримати функціональну залежність між структурними характеристиками паперу та якісними характеристиками відбитків.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Структурні характеристики зразків

Відповідно до методики, описаної в розділі 3.2., було визначено такі структурні характеристики зразків: параметри нерівності профілю поверхні (R_a), оптичну густину просвіту, товщину паперу (табл. 4.1). Також згідно з методикою, наведеною в розділі 3.4., визначено колірні характеристики незадрукованого паперу в системі координат L^* , a^* , b^* простору CIE Lab.

Для порівняння параметра шорсткості R_a на суміжних ділянках паперу, визначено різницю цього параметра (ΔR_a) (дод. Г) та для наочності побудовано діаграми шорсткості для зразків задрукованого та чистого паперу (рис. 4.1).

Як видно з діаграм, значення шорсткості на ділянках негативних водяних знаків є вищим, на зразках із нанесеною фарбою шорсткість зменшується. Різниця значень R_a на різних ділянках паперу коливається в межах від 0,017 до 1,428 [99, 100].

Результати нашого дослідження підтверджують висунуте припущення (розд. 2.2) щодо різних характеристик поверхні захищеного паперу, наявність яких спричинена ущільненням ділянок (які виступають) позитивних водяних знаків та відсутністю тиску на ділянки негативних водяних знаків у процесі каландрування. Таким чином, на ділянці позитивного водяного знака поверхня паперу після каландрування є більш гладкою, а на ділянці негативних водяних знаків – більш шорсткою.

Таблиця 4.1

Характеристики зразків незадрукованого паперу

№ зразка	Назва паперу	Наявність оптичних відбілювачів / захисних волокон	Маса, г/м ²	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	-/+	90	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	-/-	80	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	+/-	80	95,18	0,85	-2,53	1,115	2,102	-	1,535	2,535	-	0,5	0,45	-	0,086	0,069	-
4	Ромб	-/+	90	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	+/-	70	94,18	0,11	-6,38	2,682	-	-	3,227	-	-	0,62	-	-	0,082	-	-
6	Офсетний папір № 2	+/-	170	95,41	0,1	-6,25	2,403	-	-	2,477	-	-	1,01	-	-	0,171	-	-
7	Газетний папір	-/-	60	89,59	0,36	1,30	2,770	-	-	2,770	-	-	0,72	-	-	0,058	-	-
8	Банкнотний одношаровий	-/+	87	92,12	5,42	1,93	3,37	-	-	4,12	-	-	0,78	-	-	0,109	-	-
9	Банкнотний двошаровий	-/+	86,5	92,31	5,48	2,01	3,27	-	-	4,87	-	-	0,76	-	-	0,107	-	-

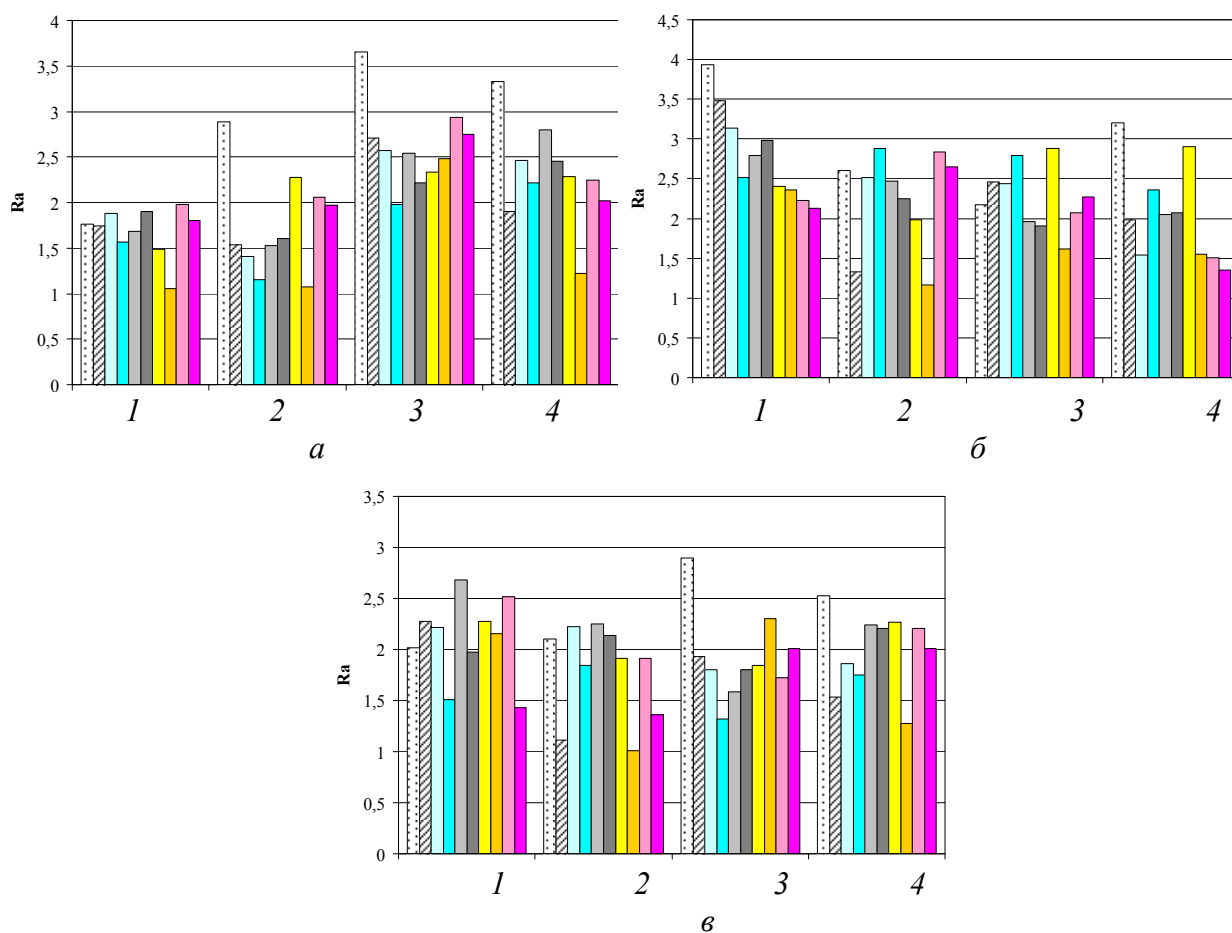


Рис. 4.1. Діаграма значень R_a для зразків паперу:
 а – Security luneБ; б – Filidoro laid avorio; в – Chimere la hulpe;
 1 – лицьовий бік, вимірювання паралельно напрямку відливу;
 2 – лицьовий бік, вимірювання перпендикулярно напрямку відливу;
 3 – сітковий бік, вимірювання паралельно напрямку відливу;
 4 – сітковий бік, вимірювання перпендикулярно напрямку відливу

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| ☐ Негативний ВЗ; без фарби | ▨ Без ВЗ; без фарби |
| □ Негативний ВЗ; С | ■ Без ВЗ; С |
| ■ Негативний ВЗ; К | ■ Без ВЗ; К |
| ■ Негативний ВЗ; Y | ■ Без ВЗ; Y |
| ■ Негативний ВЗ; М | ■ Без ВЗ; М |

4.2. Проникнення фарби у товщу паперу

Як об'єкт дослідження було обрано папір з водяними знаками Filidoro laid avorio, задрукований сумішевою фарбою за допомогою IGT Reptest B.V.C1. Для дослідження глибини проникнення фарби у товщу паперу було

використано методику, яка ґрунтується на технології приготування гістологічних препаратів, але з урахуванням природи досліджуваних зразків.

Дані мікроскопічного дослідження зрізів паперу дають змогу зробити висновок про коректність моделі закріплення фарбового шару на папері з водяними знаками, наведеної в розділі 2.3. Різний ступінь проникнення пігменту на ділянках паперу з позитивним водяним знаком та без нього можна чітко побачити на рис. 4.2, де видно явище більшої концентрації пігменту біля поверхні паперу, а також помітно різний ступінь проникнення як рідкої складової фарби, так і пігменту на ділянках паперу з водяним знаком та без нього. На ділянках з позитивним водяним знаком глибина проникнення як пігменту, так і зв'язувальної речовини фарби помітно менша. Так, глибина проникнення колоїдної системи пігмент – зв'язувальна речовина на ділянці позитивного водяного знака становить 9–16 мкм, тоді як на ділянці поза межами водяного знака – 22–40 мкм. Пігмент на ділянці позитивного водяного знака концентрується на поверхні паперу, меншою мірою проникаючи в його товщу, що підвищує оптичну щільність відбитка [68].

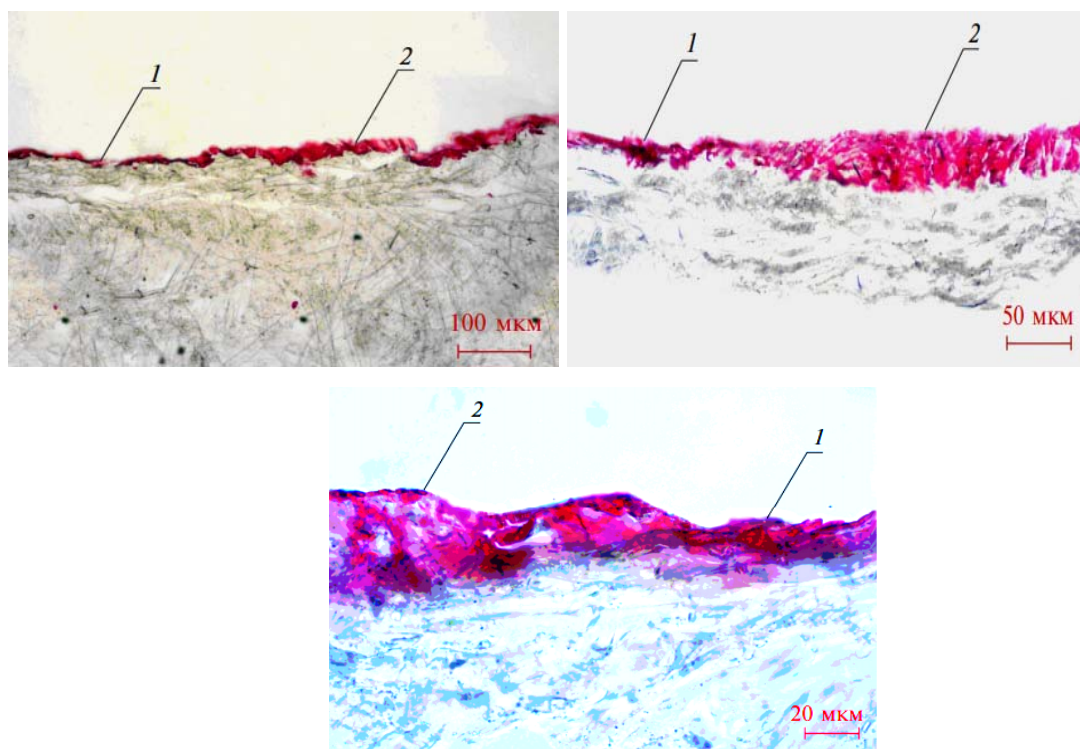


Рис. 4.2. Проникнення фарби у структуру паперу:

1 – ділянка без водяного знака; 2 – ділянка з негативним водяним знаком

Унаслідок різної глибини проникнення фарби можна спостерігати як нерівномірну оптичну густину чи колірність відбитка, так і нерівномірне перебивання фарби на зворот. На рис. 4.3, показано, що навіть тонкі лінії гільйошу, якими задруковано зворотний бік банкноти на ділянці негативного водяного знака, видимі з лиця [18]. Тому врахування у технологічному процесі явища різного проникнення фарби у папір на ділянках з водяним знаком та без нього у процесі її закріплення на відбитку дасть змогу цілеспрямовано коригувати колірність цінних паперів, зокрема банкнот.

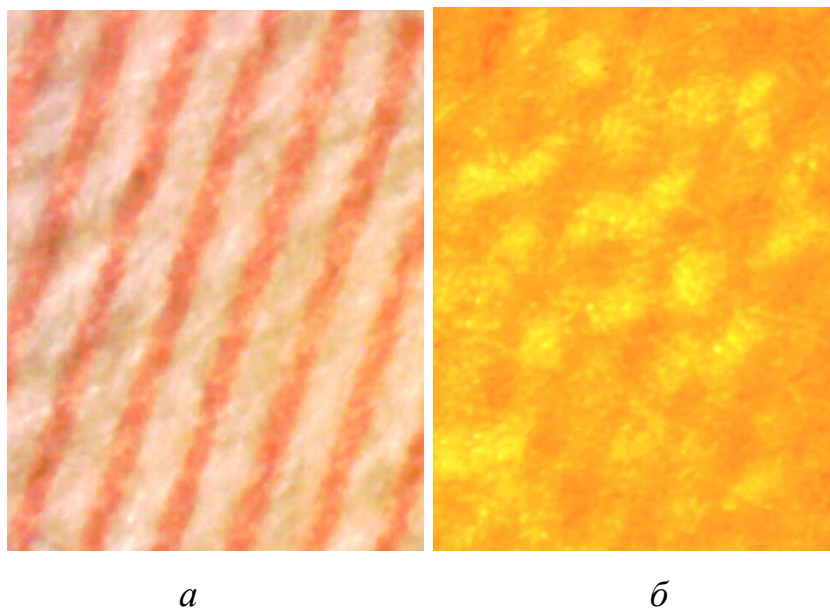


Рис. 4.3. Ділянка банкноти в зоні водяного знака:
a – задрукований бік; *б* – зворотний бік (без друку)

4.3. Оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту

4.3.1. Визначення оптичної густини відбитків та їх звороту, отриманих на папері з водяними знаками

На підставі аналізу значення оптичної густини відбитків та їх звороту, отриманих на трьох видах паперу з водяними знаками (дод. Д), віддрукованих на офсетній аркушевій машині GTO 52-2-P Heidelberg, було виявлено, що значення різниці оптичної густини на суміжних ділянках паперу коливається у межах від 0,03 до 0,41 на відбитку та від 0,05 до 0,14 на звороті відбитка (рис. 4.4), причому оптична густина відбитка на ділянках з негативними водяними знаками є меншою (0,71–1,12), ніж на інших ділянках (0,85–1,28). Натомість оптична густина на звороті відбитка є більшою на негативних водяних знаках (0,14–0,35 – на негативних, 0,03–0,28 – без водяних знаків).

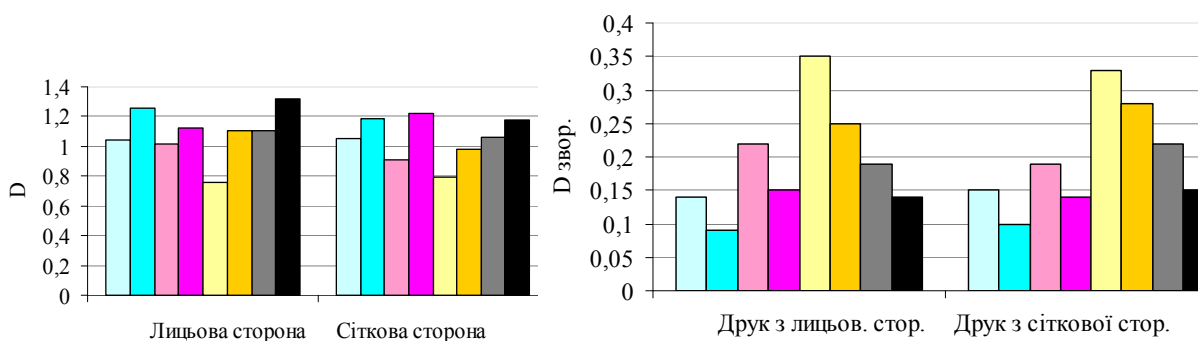
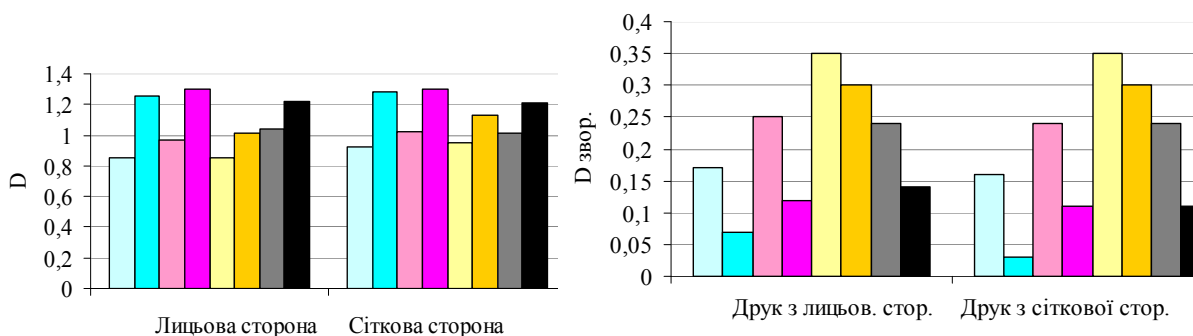
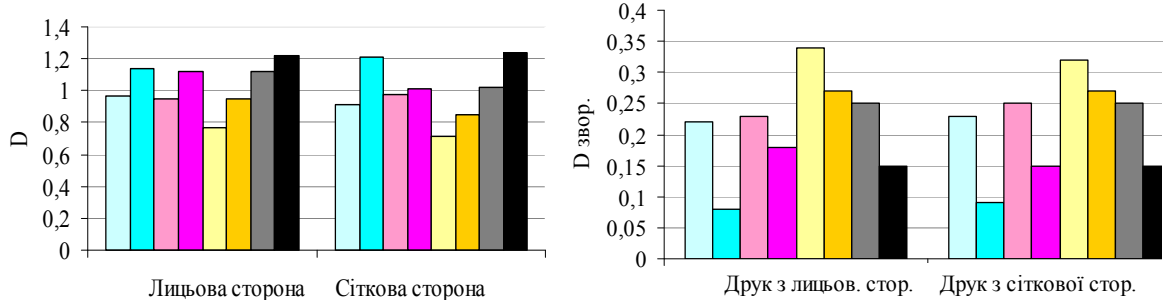


Рис. 4.4. Діаграми оптичної густини суміжних ділянок відбитків (зліва) та їх звороту (справа)

- | | |
|----------------------|---------------------|
| Негатив. ВЗ, Цяно | Негатив. ВЗ, Yellow |
| Папір без ВЗ Цяно | Без ВЗ, Yellow |
| Негатив. ВЗ, Magenta | Негатив. ВЗ, Black |
| Без ВЗ, Magenta | Без ВЗ, Black |

Дані проведеного кореляційного аналізу взаємозв'язку між оптичною густиною відбитка та його звороту дозволили виявити таку закономірність:

за більшої оптичної густини ділянки відбитка значення оптичної густини тієї ж ділянки з його звороту є меншою, і навпаки – за меншої оптичної густини відбитка значення оптичної густини звороту збільшується (рис. 4.5). Це свідчить про більше проникнення фарби на ділянках паперу з меншою щільністю, що приводить до зниження концентрації пігменту на поверхні відбитка та до його проступання на звороті, що є також підтвердженням коректності розробленої моделі.

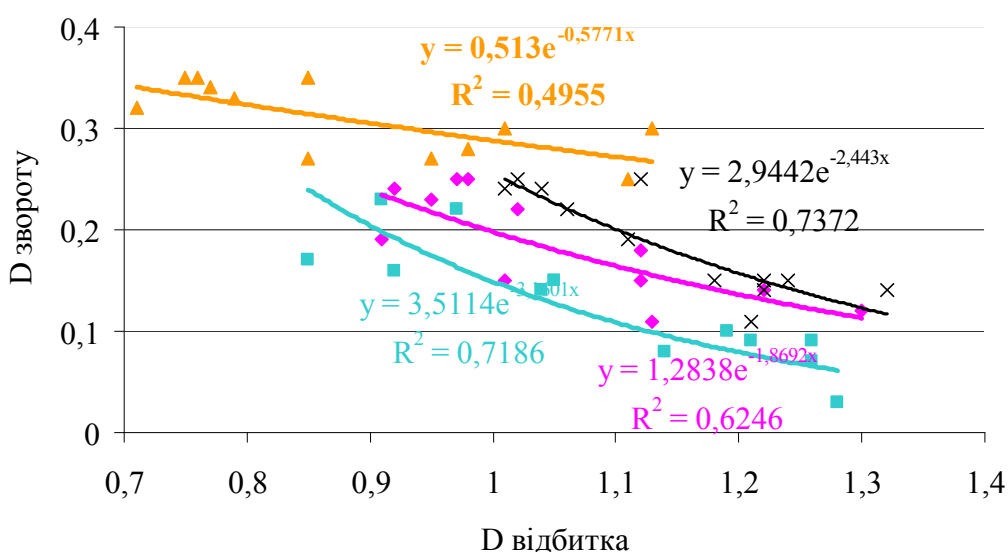


Рис. 4.5. Кореляція оптичної густини відбитка та його звороту:

—■— Cyan; —▲— Yellow;
 —◆— Magenta; —×— Black

4.3.2. Визначення колірних характеристик відбитків, отриманих на папері з водяними знаками

Визначимо та порівняємо колірні дані на ділянках водяного знака і поза його межами. На обраний вид паперу наносили сумішеві фарби двох кольорів з різною товщиною фарбового шару. Для визначення впливу різниці колірних характеристик було виміряно координати кольору ділянок з водяними знаками і без них та визначено величину колірних відмінностей

між ними (табл. 4.2) [67]. Фотографії відбитків зображено на рис. 4.6. Графіки залежності різниці кольору ΔE між суміжними ділянками паперу від кількості фарби на відбитку подано на рис. 4.7.

Таблиця 4.2

Колірні характеристики відбитків на папері з водяними знаками

Фарба	Кільк. фарби, г/м ²	Ділянка без вод. знака (-) або з позитив. вод. знаком (ВЗ+)	L*	a*	b*	ΔE^* між ділянками із ВЗ і без
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	

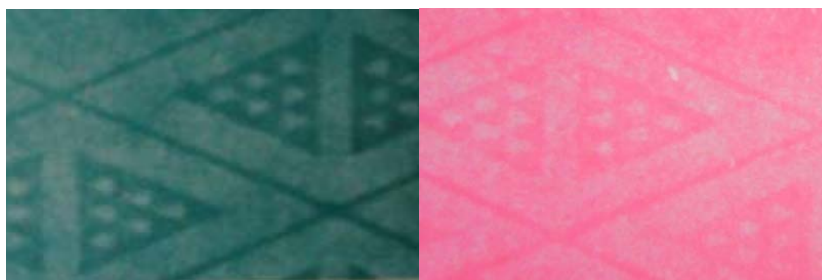


Рис. 4.6. Фотографії відбитків, отримані на зразках паперу з водяними знаками

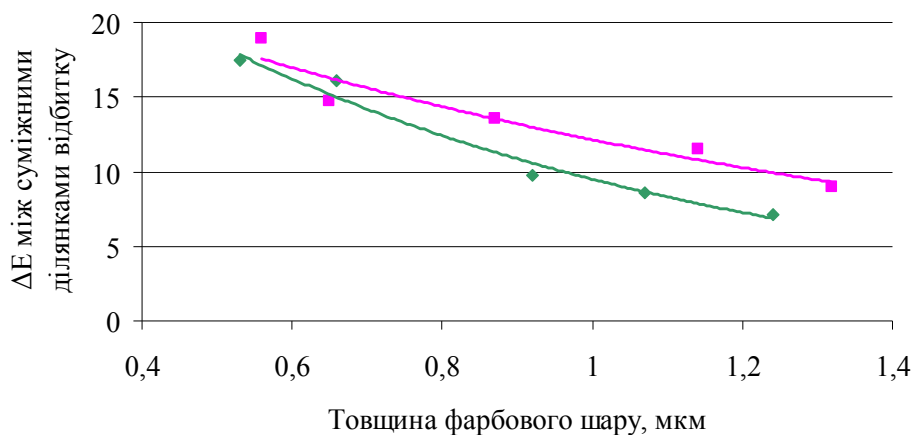
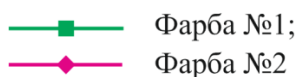


Рис. 4.7. Залежність різниці кольору ΔE між суміжними ділянками паперу від кількості фарби на відбитку:



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. Отримані значення підтверджують коректність концептуальної моделі закріплення фарби на папері з водяними знаками.

4.3.3. Визначення колірних характеристик відбитків та їх звороту, отриманих на одно- та двошаровому банкнотному папері

Для визначення різниці кольору порівнювали колірні характеристики відбитків, отриманих на лицьовій стороні одно- та двошарового паперу з

колірними характеристиками нанесених друкарських фарб (табл. 4.3). Графіки залежності різниці кольору ΔE від кількості фарби на відбитку показано на рис. 4.8.

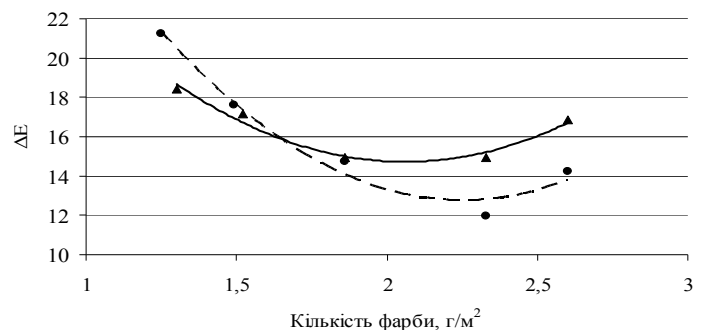
Таблиця 4.3

Колірні характеристики відбитків,
отриманих на одношаровому та двошаровому банкнотному папері

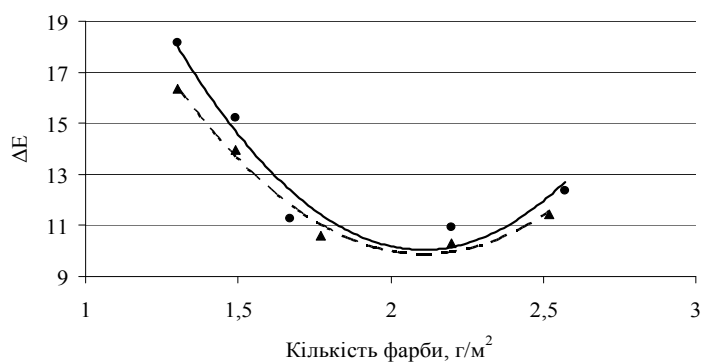
Одношаровий папір					Двошаровий папір				
Кількість фарби на відбитку, г/м ²	L*	a*	b*	ΔE	Кількість фарби на відбитку, г/м ²	L*	a*	b*	ΔE
Червона фарба									
1,3	54,24	42,3	9,5	18,42	1,25	56,98	41,76	8,56	21,26
1,52	51,94	42,09	8,74	17,14	1,49	56,74	44,16	17,6	17,59
1,86	51,4	43,66	11,35	14,94	1,86	52,63	44,41	13,83	14,72
2,33	52,05	49,12	13,92	14,95	2,33	50,34	47,42	16,61	11,97
2,6	49,67	52,49	9,62	16,87	2,6	49,64	51,48	13,47	14,22
Жовта фарба									
1,3	87,1	5,35	60,1	18,16	1,3	87,52	5,47	63,84	16,36
1,49	88,09	6,42	67,27	15,23	1,49	87,01	5,97	69,17	13,97
1,67	84,75	7,24	70,21	11,28	1,77	84,8	10,02	71,3	10,61
2,2	84,99	10,4	73,56	10,95	2,2	84,24	9,41	73,36	10,29
2,57	84,93	8,5	77,24	12,38	2,52	84,72	10,85	76,15	11,44
Синя фарба									
1,12	61,16	-22,4	-32,16	48,04	1,4	58,34	-20,07	-36,62	46,65
1,77	53,5	-24,29	-37,43	46,62	1,58	55,39	-19,23	-38	44,96
1,86	53,1	-20,49	-39,63	45,20	2,23	48,43	-21,7	-41,69	44,68
2,05	51,89	-20,99	-40,5	45,31	2,51	47,56	-21,36	-43,07	44,93
2,23	49,67	-22,03	-42,33	45,88	2,79	46,41	-21,51	-43,5	44,79
2,51	48,46	-22	-42,89	45,63	-	-	-	-	-
2,88	46,83	-21,95	-43,56	45,29	-	-	-	-	-

Аналіз отриманих даних дає підстави стверджувати, що відмінність кольору відбитків відносно фарби є меншою для двошарового паперу, складові L*, a*, b* колірної моделі CIE Lab відбитків на двошаровому папері є більш наближеними до фарби. Тобто двошаровий папір дозволяє отримати

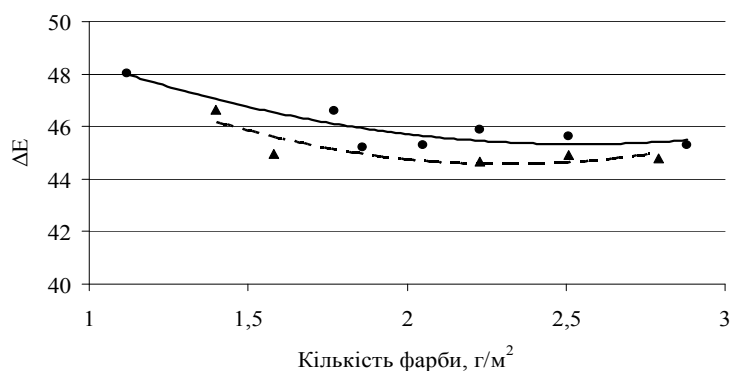
відбитки з меншим колірним відхиленням відносно фарби, а отже, забезпечити краще передавання кольору. Виявлено, що найменше відхилення від кольору фарби для обох видів паперу досягається при нанесенні фарбового шару з розрахунком 2,0–2,5 г/м² [101].



a



б



в

Рис 4.8. Залежності різниці кольору ΔE від кількості фарби на відбитку:

a – червона; *б* – жовта; *в* – синя фарба;

- Одношаровий папір;
- -▲- - Двошаровий папір

Для дослідження перебивання фарби на зворот відбитка було визначено координати кольору зворотного боку зразків. Отримані значення порівнювались із колірними характеристиками відповідного незадрукованого паперу (табл. 4.4). Графіки залежності ΔE від товщини фарбового шару на відбитку показані на рис. 4.9.

Таблиця 4.4

Колірні характеристики звороту відбитків, отриманих на одношаровому та двошаровому банкнотному папері

Одношаровий папір					Двошаровий папір				
Кількість фарби на відбитку, г/м ²	L*	a*	b*	ΔE	Кількість фарби на відбитку, г/м ²	L*	a*	b*	ΔE
Червона фарба									
1,30	89,21	4,65	1,25	3,09	1,25	89,03	4,79	1,04	3,49
1,52	89,04	3,87	1,34	3,50	1,49	89,00	4,26	1,25	3,61
1,86	89,09	4,26	0,55	3,53	1,86	88,98	4,01	0,78	3,84
2,33	89,12	3,08	0,31	4,14	2,33	88,94	3,03	-0,85	5,05
2,60	88,74	2,52	-1,00	5,33	2,60	88,18	1,22	-0,79	6,56
Жовта фарба									
1,30	91,45	4,17	5,34	3,69	1,30	90,76	3,80	5,50	4,17
1,49	91,40	3,72	5,36	3,90	1,49	90,76	3,93	5,58	4,19
1,67	91,22	4,05	5,69	4,10	1,77	90,02	3,18	5,34	4,65
2,23	88,84	1,18	-1,00	6,11	2,20	88,27	0,93	4,18	6,46
2,57	88,10	1,08	-1,38	6,78	2,52	87,88	1,12	-1,07	6,94
Синя фарба									
1,12	89,39	1,17	-0,90	5,79	1,40	88,95	0,99	-0,95	6,34
1,77	88,80	1,32	-0,98	6,03	1,58	88,94	0,93	-0,92	6,38
1,86	88,49	1,44	-0,93	6,10	2,23	88,35	1,08	-0,93	6,61
2,05	88,54	1,50	-1,14	6,13	2,51	88,08	1,22	-0,86	6,65
2,23	88,57	1,21	-1,07	6,27	2,79	88,41	0,71	-0,84	6,79
2,51	88,26	1,16	-1,17	6,53	-	-	-	-	-
2,88	88,09	1,02	-1,21	6,74	-	-	-	-	-

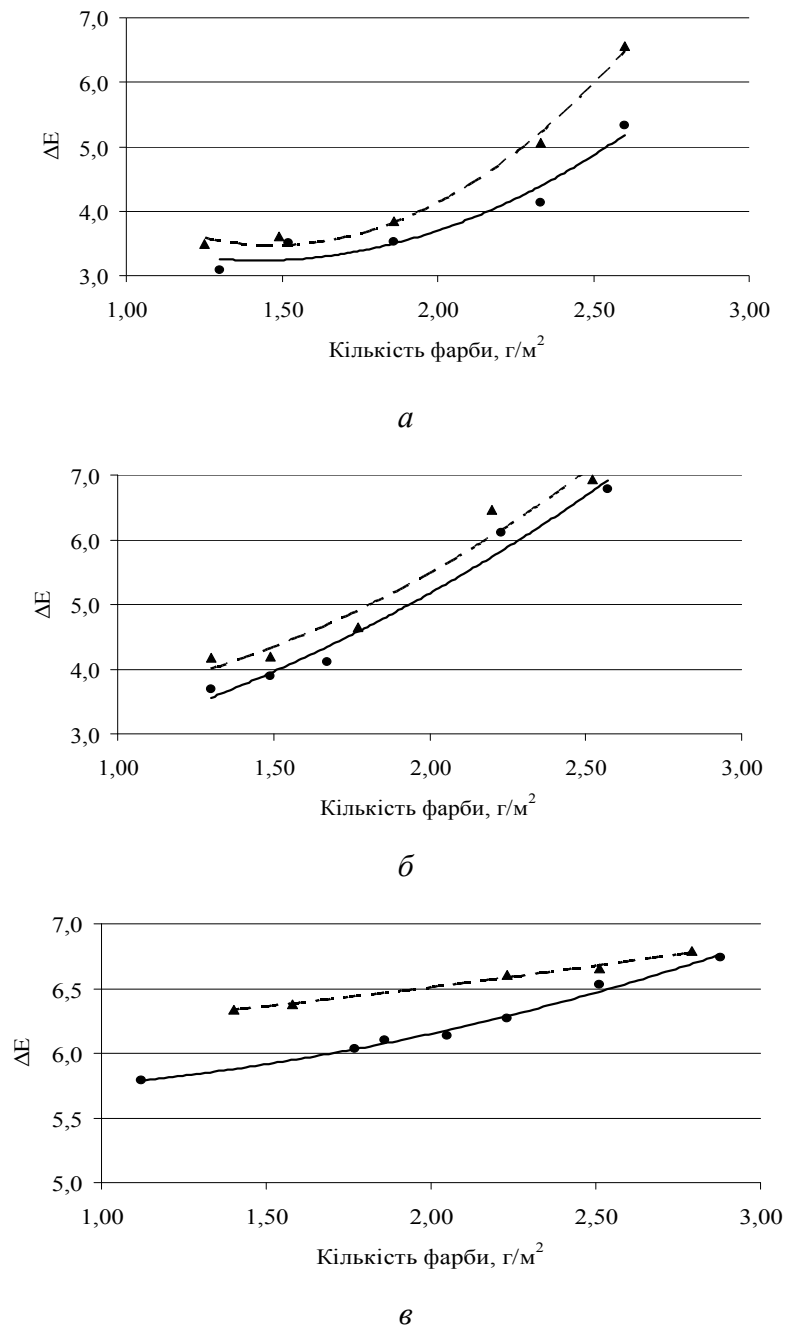


Рис. 4.9. Залежності різниці кольору ΔE від кількості фарби на відбитку:

а – червона; *б* – жовта; *в* – синя фарба;

- Одношаровий папір;
- -▲- - Двошаровий папір

Під час дослідження явища перебивання фарби на зворот відбитка виявлено, що найбільша відмінність кольору відносно чистого паперу спостерігається для відбитків, отриманих синьою фарбою. Натомість

найменше перебивання прослідковується на відбитках із червоною фарбою. Це можна пояснити наявністю червоного барвника у паперовій масі для певного банкнотного паперу. Для обох видів паперу простежується майже лінійне збільшення колірних відмінностей звороту відбитка відносно збільшення кількості нанесеної фарби. На звороті двошарового паперу спостерігається дещо більше проступання фарби, тобто різниця кольору відносно чистого паперу є більшою, ніж на одношаровому папері. Оскільки сітковий бік двошарового паперу має більше нерівностей, ніж сітковий бік одношарового, можна припустити, що більший діаметр пор сприяє кращому проникненню фарби на зворот.

4.4. Кореляційний аналіз впливу структурних параметрів паперу на оптичні характеристики відбитків та їх звороту

Для проведення цього дослідження використано три види паперу з водяними знаками (Filidoro laid avorio, Chimere la hulpe, Security lune) (табл. 4.3), віддрукованих на офсетній аркушевій машині Heidelberg Printmaster GTO 52-2 тріадними фарбами для офсетного аркушевого друку фірми Huber group серії Rapida.

Для дослідження впливу значення параметра шорсткості R_a паперу на коливання оптичної густини відбитка було використано значення шорсткості, отримані при русі профілометра перпендикулярно напрямку відливу, для трьох видів незадрукованого паперу. Кожному значенню R_a відповідає оптична густина відбитків, виміряна на відповідній ділянці паперу. Для дослідження залежності явища перебивання фарби на зворот від R_a , використано значення шорсткості того боку паперу, на який наносили фарбу. Цьому значенню шорсткості відповідатиме оптична густина, виміряна на

звороті відбитка на відповідній ділянці. За даними R_a та D побудовано графіки та розраховано величину достовірності апроксимації за допомогою програми Microsoft Office Excel 2003. На рис. 4.10 показано кореляційний взаємозв'язок між параметром шорсткості R_a та оптичною густиною відбитків та їх звороту.

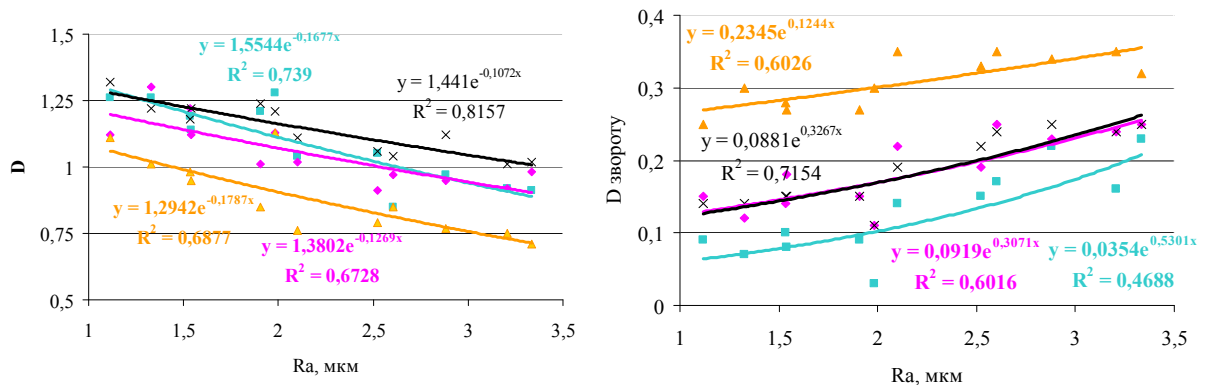


Рис. 4.10. Кореляційний взаємозв'язок між параметром шорсткості R_a та оптичною густиною відбитків (зліва) та їх звороту (справа):

—■— Cyan; —▲— Yellow;
—◆— Magenta; —×— Black

Зі збільшенням значень R_a спостерігається зменшення оптичної густини відбитка та збільшення оптичної густини його звороту (тобто перебивання). Значення достовірності апроксимації склали 0,78 та 0,65 для відбитків та звороту відповідно.

Використовуючи значення оптичної густини суміжних ділянок незадрукованого паперу, виміряної у прохідному світлі, та показники оптичної густини відбитків та їх звороту, виміряної у відбитому світлі, побудовано графіки та розраховано величину достовірності апроксимації за допомогою програми Microsoft Office Excel 2003 (рис. 4.11). Виявлено, що з підвищенням оптичної густини просвіту паперу спостерігається збільшення

оптичної густини відбитка та зменшення оптичної густини звороту відбитка. Значення достовірності апроксимації склали 0,64 та 0,73 для відбитків та звороту відповідно.

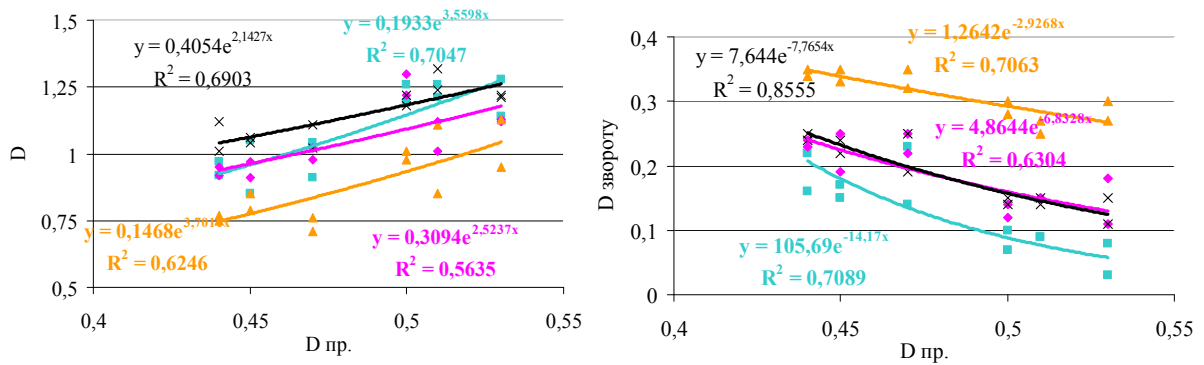
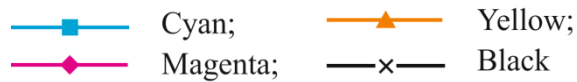


Рис.4.11. Кореляційний взаємозв'язок між оптичною густиною паперу, виміряною на просвіт, та оптичною густиною відбитків (зліва) та їх звороту (справа):



На рис. 4.12 показано, як впливає товщина суміжних ділянок паперу на коливання оптичної густини відбитків та їх звороту. Спостерігається тенденція щодо збільшення оптичної густини відбитка та зменшення оптичної густини звороту відбитка у разі збільшення товщини паперу, хоча достовірність апроксимації не є високою – всього 0,38 для густини відбитків та 0,43 для звороту.

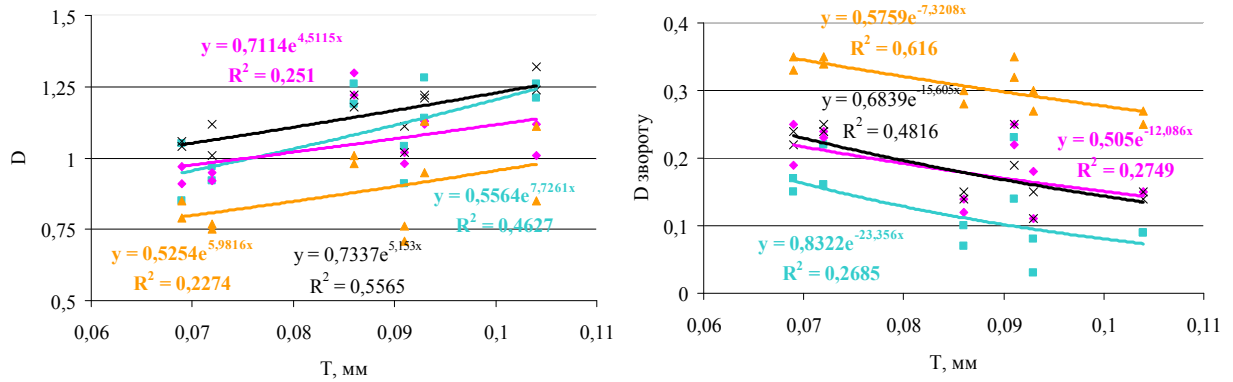


Рис. 4.12. Кореляційний взаємозв'язок між товщиною суміжних ділянок паперу та оптичною густиною відбитків (зліва) та їх звороту (справа):



4.5. Кореляційний аналіз впливу структурних параметрів паперу на колірні характеристики звороту відбитків

Для проведення експериментальних досліджень було використано кілька видів офсетного паперу, різні види паперу, захищеного водяними знаками, зокрема кілька видів банкнотного паперу для друку української гривні (табл. 4.1). Друкування проводилося на лабораторному друкарському пристрої IGT Reprotest V.V.C1 сумішевими фарбами, що виготовлялися за допомогою програми Data Match. Кількість нанесеної фарби визначалася ваговим методом. Вибрано відбитки з однаковою кількістю нанесеної фарби однакового кольору з допустимим відхиленням $0,05 \text{ г/м}^2$ (повний масив даних наведено в дод. Ж).

У цьому дослідженні проведено кореляційний аналіз між структурними параметрами паперу та зміною кольору звороту відбитка порівняно з кольором незадрукованого паперу (рис. 4.13). Найвища достовірність апроксимації спостерігається для оптичної густини просвіту паперу; у разі підвищення цього показника проступання кольору фарби зменшується.

Недостатньо високою є достовірність для значень шорсткості та товщини паперу, що може бути викликано неврахуванням колірних відмінностей паперу і фарб, при тому, що колір звороту вимірювався без відкидання кольору паперу (вихідними даними є абсолютні значення L^* , a^* , b^*).

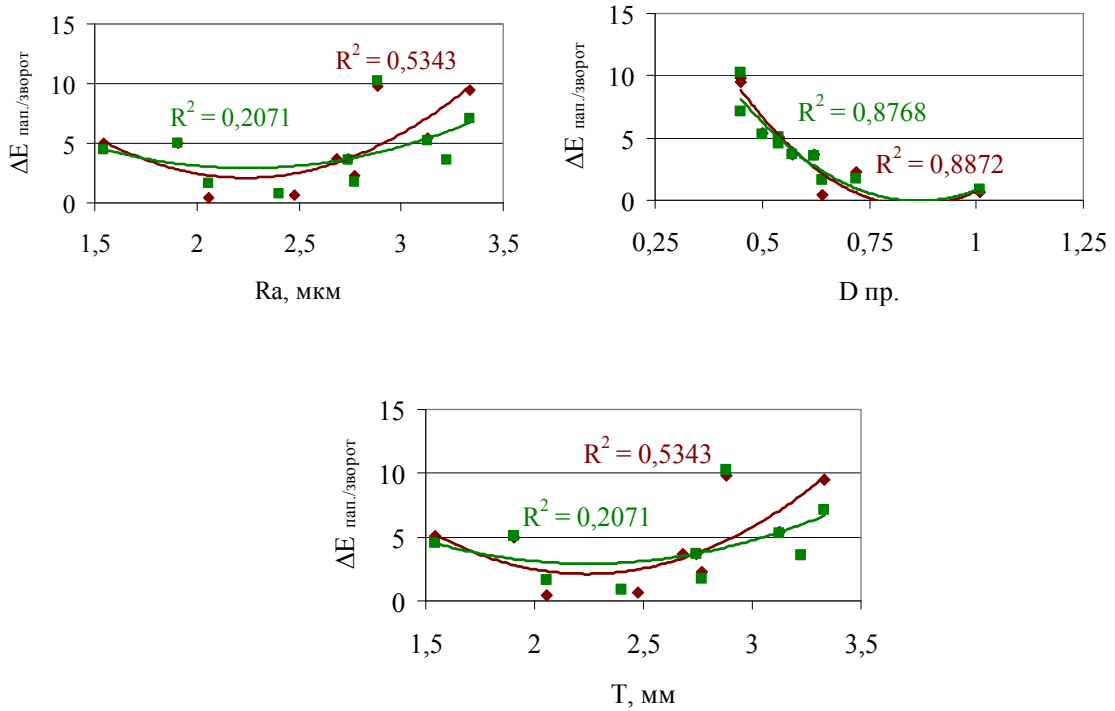


Рис. 4.13. Кореляційний взаємозв'язок між структурними параметрами паперу та зміною кольору звороту відбитків:

- ◆— Бородова фарба;
- Зелена фарба

Висновки до розділу 4

Результати досліджень структурних характеристик паперу з водяними знаками дали змогу підтвердити висунуте припущення (розд. 2.2) щодо різних характеристик поверхні захищеного паперу, наявність яких спричинена ущільненням виступаючих ділянок позитивних водяних знаків та

відсутністю тиску на ділянки негативних водяних знаків у процесі каландрування.

Дані мікроскопічних досліджень зрізів паперу дали змогу підтвердити коректність розробленої моделі закріплення фарбового шару на папері з водяними знаками. Глибина проникнення колоїдної системи пігмент – зв'язувальна речовина на ділянці без водяного знака становить 22–40 мкм, тоді як на ділянці позитивного водяного знака – 9–16 мкм з більшою концентрацією пігменту біля поверхні паперу.

Проаналізовано оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту. Було виявлено, що значення різниці оптичної густини на суміжних ділянках паперу коливається у межах від 0,03 до 0,41 на відбитку та від 0,05 до 0,14 на звороті відбитка, причому оптична густина відбитка на ділянках з негативними водяними знаками є меншою (0,71–1,12), ніж на інших ділянках (0,85–1,28). Натомість оптична густина на звороті відбитка є більшою на негативних водяних знаках (0,14–0,35 – на негативних, 0,03–0,28 – без водяних знаків).

Дані проведеного кореляційного аналізу взаємозв'язку між оптичною густиною відбитка та його звороту дозволили виявити таку закономірність: у разі більшої оптичної густини ділянки відбитка значення оптичної густини тієї ж ділянки з його звороту є меншою, і навпаки – якщо оптична густина відбитка менша, значення оптичної густини звороту збільшується. Це свідчить про більше проникнення фарби на ділянках паперу з меншою щільністю, що приводить до зниження концентрації пігменту на поверхні відбитка та до його проступання на звороті, що є також підтвердженням коректності розробленої моделі.

Здійснено кореляційний аналіз взаємного зв'язку між структурними характеристиками паперу, зокрема в зоні водяного знака, та оптичними характеристиками відбитку та його звороту. Виявлено, що зі збільшенням

значень R_a спостерігається зменшення оптичної густини відбитка та збільшення оптичної густини його звороту (тобто перебивання). З підвищенням оптичної густини паперу на просвіт спостерігається збільшення оптичної густини відбитка та зменшення оптичної густини звороту відбитка. Спостерігається тенденція щодо збільшення оптичної густини відбитка та зменшення оптичної густини звороту відбитка зі збільшенням товщини паперу.

Кореляційний аналіз між структурними параметрами паперу та зміною кольору звороту відбитка порівняно з кольором незадрукованого паперу не показав високої достовірності, що може бути викликано неврахуванням колірних відмінностей паперу і фарб при тому, що колір звороту вимірювався без відкидання кольору паперу (вихідними даними є абсолютні значення L^* , a^* , b^*).

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОФСЕТНОГО ДРУКУ

5.1. Розроблення алгоритму визначення характеристик просвіту банкнотного паперу в зоні контролю

Враховуючи специфіку структури паперу з водяними знаками, визначення більшості його друкарських властивостей стандартними способами є некоректним. Наявність півтонових водяних знаків ще більше ускладнює цей процес, оскільки заміри на найтемнішій чи найсвітлішій ділянці водяного знака не дають вичерпної інформації про характеристики паперу на певній ділянці площі. Для більш точного аналізу параметрів паперу з півтоновими водяними знаками було розроблено алгоритм визначення оптичної густини на просвіт.

Цей алгоритм передбачає сканування на просвіт банкнотного паперу в зоні контролю та його оцифрування, у результаті чого отримують чорно-біле зображення і розбивають на певну кількість комірок. Визначають кількість умовних зон та діапазон їх оптичних густин, після чого аналізують кожну комірку зображення та привласнюють її певній зоні, розраховують відносну площу кожної зони та середнє значення її оптичної густини на просвіт. Оптичну густину визначають за цифровим зображенням, виходячи з відсотка чорного або з коефіцієнтів R, G, B ($\text{Colour} = rR + gG + bB$, $r = g = b = [0...255]$).

Алгоритм визначення оптичної густини на просвіт у зоні контролю подано на рис. 5.1.

За допомогою розробленого алгоритму було визначено параметри просвіту ділянки водяного знака на банкнотах української гривні, що не були в обігу. Для цього ділянку оцифрованого зображення просвіту банкноти (фактичний розмір ділянки 12×12 мм) було розбито на 400 комірок (20×20). Зокрема, у результаті обробки колірних даних кожної комірки оцифрованої ділянки банкноти номіналом 50 грн (рис. 5.2) було отримано масив значень коефіцієнтів r , g , b (табл. 5.1). Отримані дані було оброблено у програмі Microsoft Excel, що дало змогу розрахувати значення, подані в табл. 5.2.

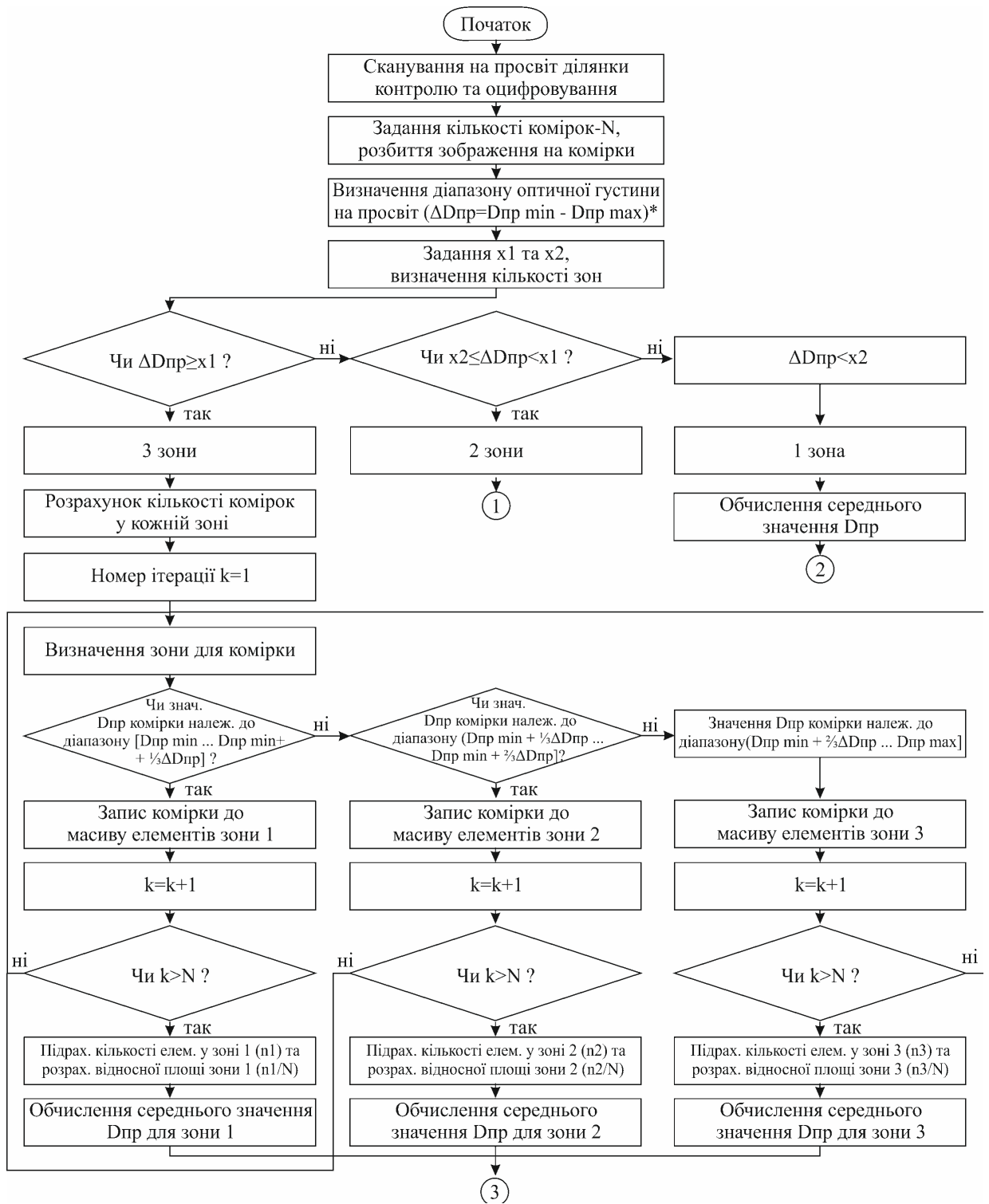


Рис. 5.1. Алгоритм визначення оптичної густини на просвіт у зоні контролю (початок)

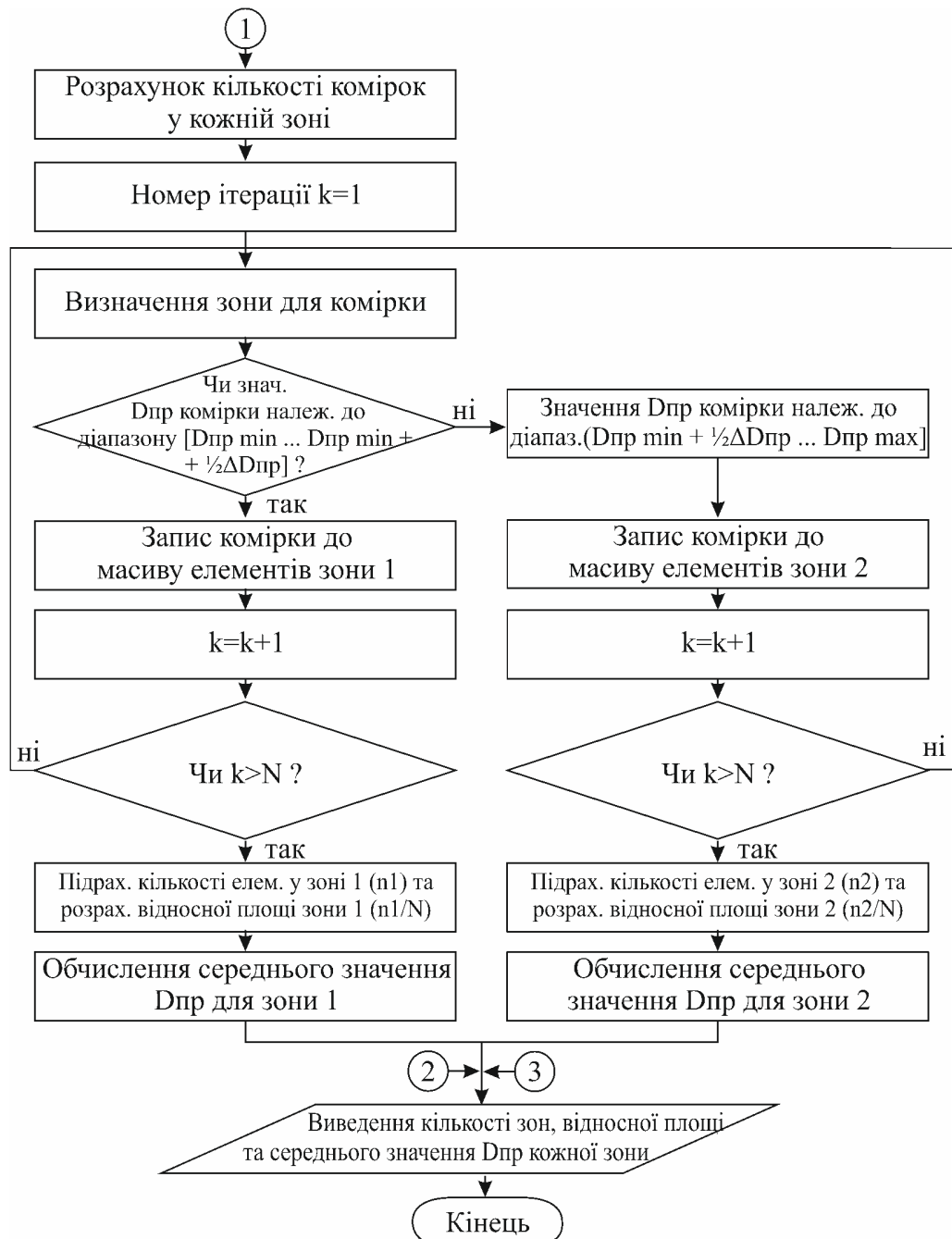


Рис. 5.1. Алгоритм визначення оптичної густини на просвіт у зоні контролю (закінчення)

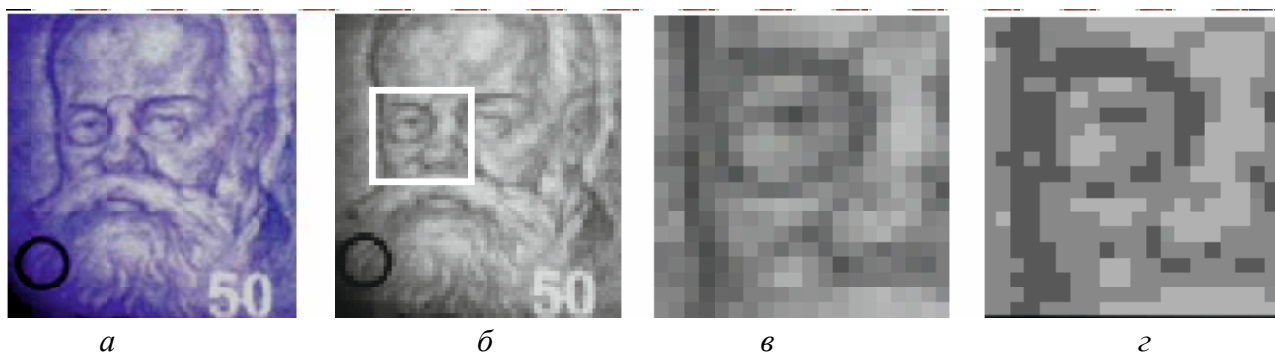


Рис. 5.2. Поетапне визначення параметрів просвіту ділянки з півтоновим водяним знаком: *a*, *б* – відскановане на просвіт зображення; *в* – ділянка зображення, розбита на комірки; *г* – ділянка зображення, поділена на умовні зони із середнім значенням оптичної густини

Таблиця 5.1

Масив значень коефіцієнтів *r*, *g*, *b* для кожної комірки ділянки зображення

131	104	84	114	142	129	128	158	162	168	171	176	178	179	169	145	146	142	147	172
150	113	88	114	140	134	132	152	150	154	158	165	174	150	146	161	163	160	169	152
142	121	90	116	123	99	107	111	107	113	115	142	138	129	172	169	170	171	178	150
157	129	88	119	119	118	107	110	107	114	104	107	104	141	175	179	166	175	171	138
152	126	88	122	124	119	133	153	162	162	141	118	108	117	150	154	178	178	134	123
149	133	97	113	114	127	156	149	142	140	126	132	128	102	117	142	178	180	154	119
150	123	99	110	117	138	127	124	104	90	109	127	125	114	111	149	185	187	169	122
147	127	114	115	108	123	142	156	134	123	133	147	138	109	115	168	191	187	171	144
131	122	102	115	107	140	163	166	162	150	141	138	131	102	133	166	189	189	165	154
123	113	88	121	102	122	158	159	150	151	144	118	122	115	152	161	182	171	145	137
131	131	94	113	111	95	122	149	152	132	119	114	131	138	157	161	165	149	119	124
146	129	88	119	129	131	128	117	119	125	141	149	138	134	139	149	171	161	136	100
141	123	97	117	140	151	166	171	178	175	171	146	126	158	138	157	161	166	124	119
140	157	98	107	128	147	142	150	166	161	136	123	156	165	178	169	182	163	136	141
153	151	107	100	126	152	149	150	141	123	136	117	149	162	171	178	156	141	141	142
126	127	111	89	109	138	152	134	119	137	133	111	131	139	127	114	126	121	124	132
126	131	123	95	102	141	133	139	158	169	152	132	95	116	131	134	125	115	111	132
132	124	119	92	108	118	132	153	177	177	152	136	121	125	127	128	132	133	131	132
139	139	121	100	114	113	136	136	141	150	152	149	163	175	178	185	171	174	163	144
142	134	110	104	123	139	132	146	156	161	158	169	166	175	177	182	180	177	185	180

Значення параметрів просвіту ділянки з півтоновим водяним знаком

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

5.2. Розроблення алгоритму визначення зміни кольору звороту відбитка, що виникає внаслідок перебивання фарби на зворот та врахування під час автоматизованого сортування банкнот

Однією з проблем автоматизованого сортування банкнот є необґрунтоване вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених. Це є наслідком дії низки чинників: відмінностей у калібруванні сенсорів сортувального обладнання, відхилень у межах допуску колірності банкнотного паперу з різних партій, а також окремим урахуванням показників зношеності. Загальна забрудненість встановлюється за результатами вимірювання оптичних характеристик у чітко визначених для кожного номіналу незадрукованих (на лиці банкноти) або задрукованих світлими кольорами (на звороті). Для української гривні це ділянка водяного знака, але за його межами, що задруковується лише тонкими гільйошними лініями офсетного друку зі звороту [103].

Нерівномірне проникнення фарби у папір з водяними знаками може приводити до зміни колірності звороту відбитків, а отже, і до помилкового сприйняття перебивання фарби на зворот як забруднення банкноти [68]. Тому, розробляючи допуски на колірні відхилення у зоні контролю, необхідно враховувати явище перебивання фарби.

Для визначення відхилення кольору банкноти, спричинене перебиванням фарби на зворот, було розроблено математичну модель, що дозволяє застосовувати вхідні параметри з різними розмірностями та здійснювати одночасне варіювання декількох параметрів.

На явище перебивання та на вплив цього явища на колір звороту відбитка впливає низка факторів: від фізико-хімічних та колірних характеристик паперу і фарби до параметрів штрихів. Тому для моделювання колірних відмінностей звороту відбитка вирішено враховувати такі фактори впливу:

- оптична густина на просвіт незадрукованого паперу на ділянці контролю ($D_{пр}$);
- шорсткість незадрукованого паперу на ділянці контролю (R_a , мкм);
- товщина незадрукованого паперу на ділянці контролю (T , мкм);
- параметри водяного знака у зоні контролю (i – кількість умовних зон; s_1, \dots, s_i – відносна площа кожної зони);
- відмінність між кольором паперу та кольором фарби ($\Delta E_{п/ф}$);
- кількість нанесеної фарби (m , г/м²);
- відносна площа штрихів у зоні контролю ($S_{штр}$).

Алгоритм визначення зміни кольору звороту відбитків унаслідок перебивання фарби на зворот показано на рис. 5.3.

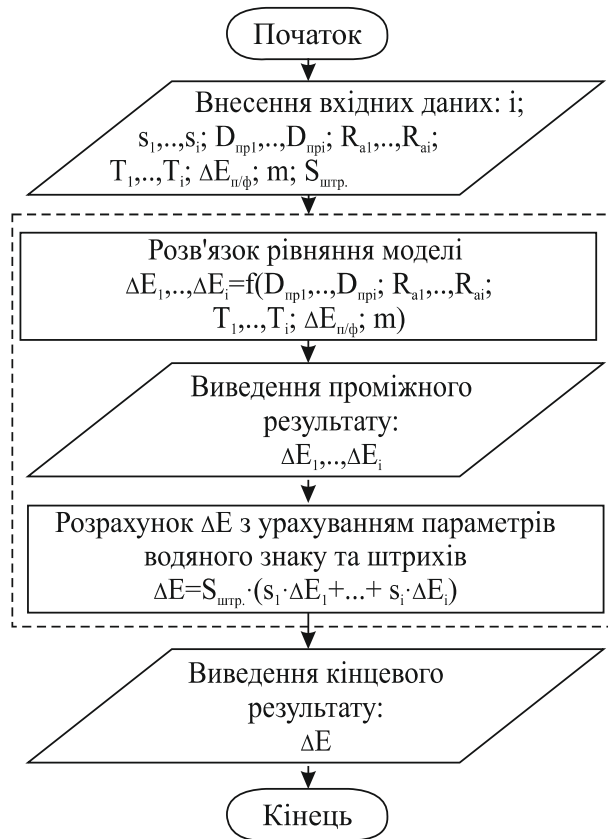


Рис. 5.3. Алгоритм визначення зміни кольору звороту відбитків унаслідок перебивання фарби

На основі уведених алгоритмів було розроблено блок-схему процесу визначення зміни кольору звороту відбитків (рис. 5.4), що дозволить прогнозувати якість друку на папері спеціального призначення, а також дасть змогу скорегувати норми допусків на показник забруднення під час автоматизованого сортування банкнот.

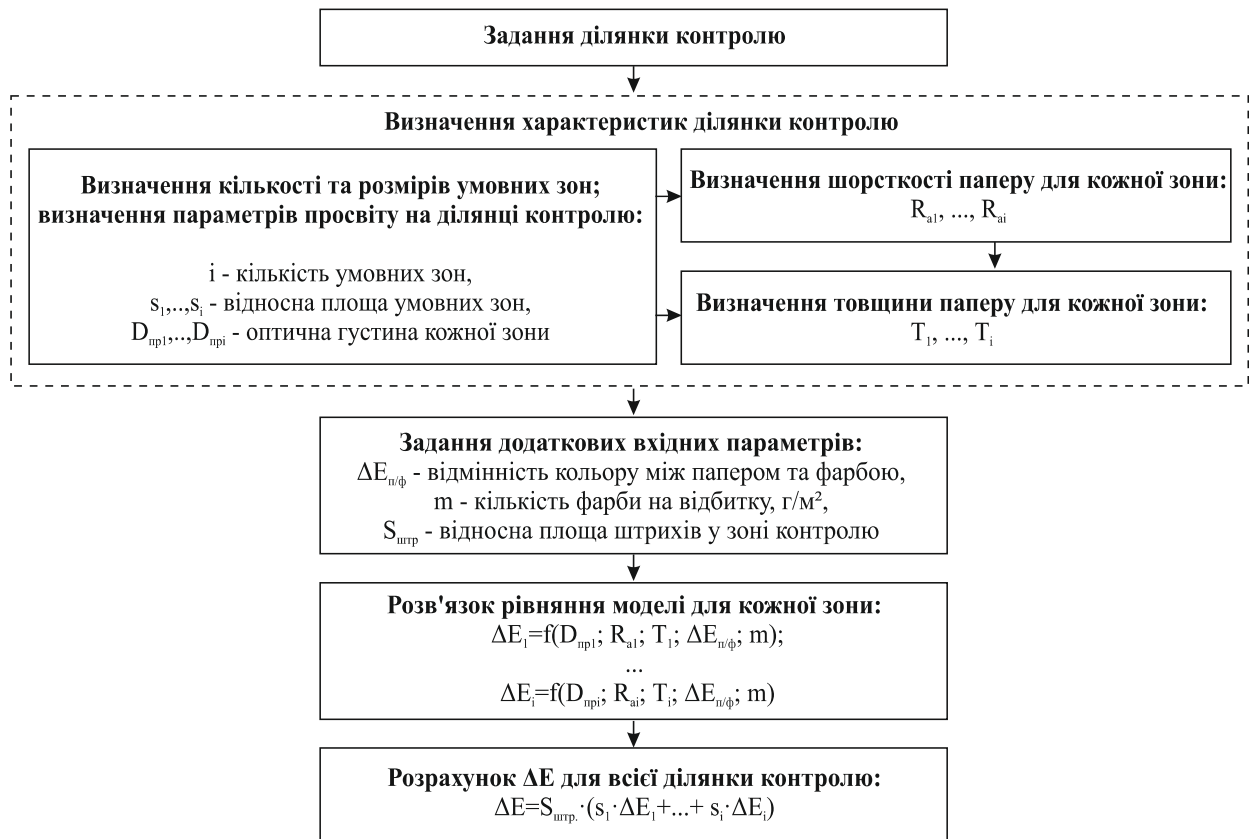


Рис. 5.4. Блок-схема процесу визначення зміни кольору звороту відбитків

5.3. Методика математичного моделювання технологічних параметрів за допомогою методу групового врахування аргументів

Розв'язання задач, пов'язаних із технологічними та виробничими процесами, вимагає використання адекватних математичних моделей вихідних параметрів та показників технологічних процесів. Застосування обчислювальної техніки під час виконання розрахунків дозволяє оперувати складними схемами і методами, але часто через недостатню формалізацію задач отримані моделі у вигляді аналітичних залежностей є неадекватними реальним технологічним процесам.

З метою отримання аналітичних залежностей у наш час широко використовують методи математичного та імітаційного моделювання. Для цього застосовують спеціальні методи та засоби, які легко реалізуються на

ЕОМ. Дієвими методами математичного моделювання технологічних параметрів є методи евристичної самоорганізації. До таких методів, що дозволяють отримати зручні для використання в технологічних розрахунках математичні моделі, є методи групового врахування аргументів (МГУА). Ці методи мають значні переваги перед відомими статистичними методами – регресійним аналізом та плануванням експериментів, вони використовують зовнішні критерії якості отриманих моделей, що дозволяє визначити математичну модель оптимальної складності [104–106].

Відомими методами прогнозування також є застосування штучних нейронних мереж, що мають здатність самонавчання. У процесі навчання нейронна мережа може виявляти складні залежності між вхідними та вихідними даними, а також виконувати узагальнення. Здатність нейронної мережі до прогнозування на пряму залежить від її здатності до узагальнення та виділення прихованих залежностей між вхідними та вихідними даними [107, 108]. Перевагою нейронних мереж є висока швидкість роботи, адаптивна логіка, можливість самонавчання та донавчання. Недоліком є велика кількість часу і ресурсів, необхідна для навчання нейронної мережі [109].

Для створення моделі застосовано метод МГУА, що є типовим методом індуктивного моделювання й одним з найбільш ефективних способів структурно-параметричної ідентифікації складних об'єктів, процесів і систем. Загальну схему створення моделі з використанням МГУА показано на рис. 5.5. Моделювання створювалось за допомогою програмного продукту GMDH Shell BF 3.8.2, загальний вигляд налаштувань якої поданий на рис. 5.6.

Застосовано комбінаторний алгоритм, що ґрунтується на перебиранні всіх можливих моделей із заданого базису з вибором найкращих із цих моделей на основі заданого критерію селекції. Підбирають моделі так, щоб їх складність поступово збільшувалась до максимального числа n (числа

аргументів базисного набору функцій). Таким чином, загальна схема комбінаторного алгоритму включає такі операції:

1) визначення коефіцієнтів усіх окремих моделей за 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 ґрунтується на методі повної математичної індукції, оскільки не пропускається жодний з можливих варіантів моделі, закладених у вихідному повному базисі [110, 111].

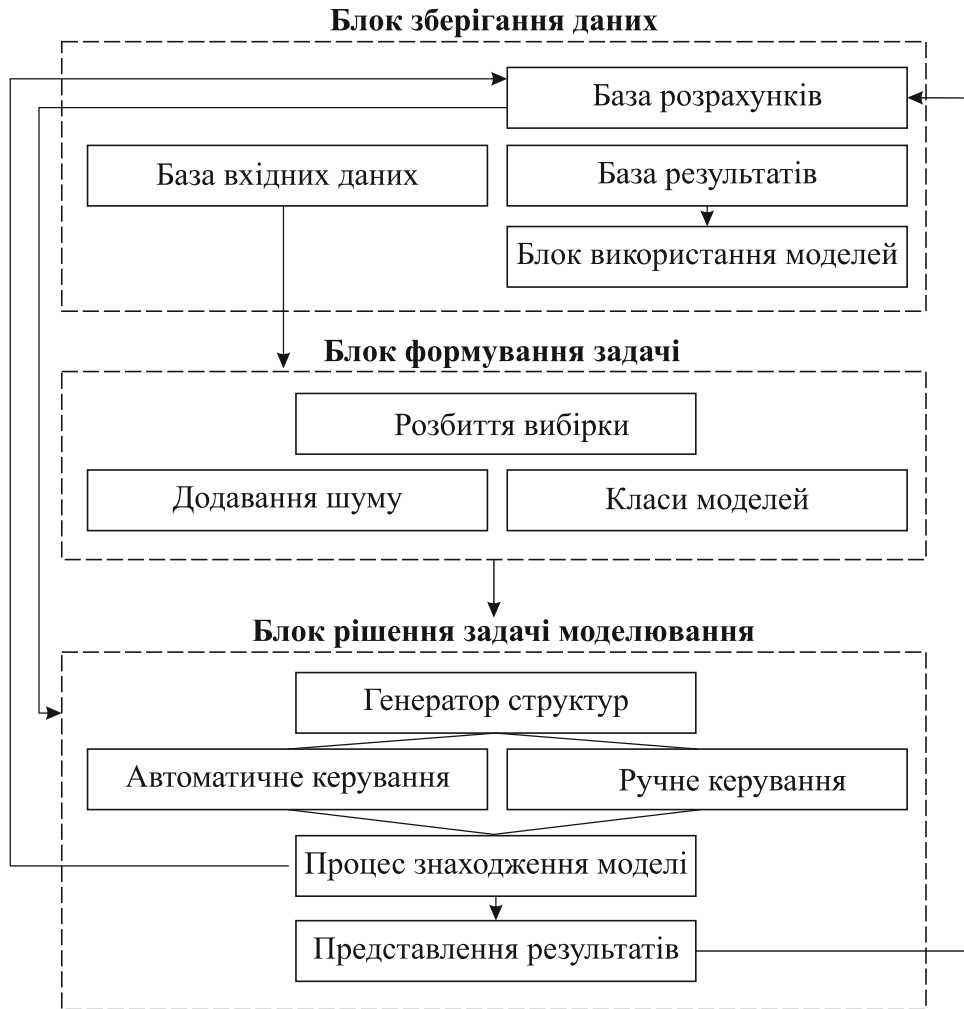


Рис. 5.5. Побудова моделі з використанням МГУА

Для оцінювання параметрів моделі початкову вибірку ділять на дві частини: навчальну та перевірочну. Навчальна підвибірка необхідна для оцінювання параметрів моделі, а перевірочна – для визначення прогнозної здатності моделі. Після вибору оптимальної моделі можна перевірити, як поводить себе модель на нових даних, тобто виконати імітаційне моделювання [112]. Отримана нами підвибірка для перевірки становила 20 %.

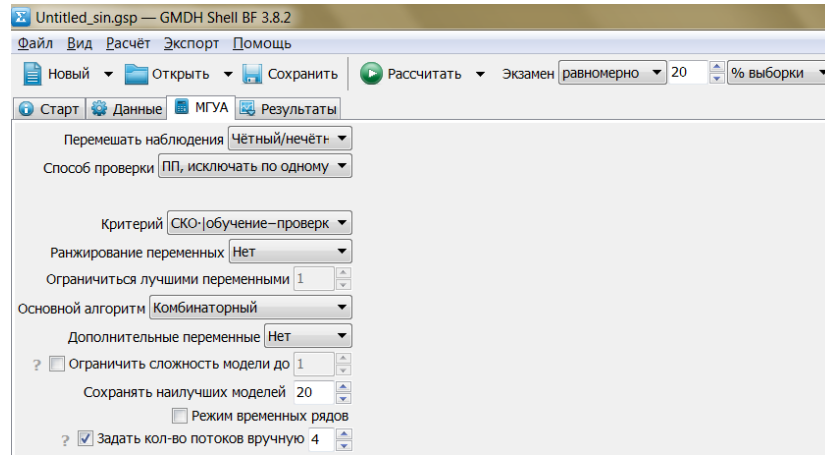


Рис. 5.6. Загальний вигляд налаштувань програми GMDH Shell BF 3.8.2

Оптимальною обрано модель з максимальним степенем 2 без перемноження членів. Отримано рівняння моделі:

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

На рис. 5.7 показано графічне подання фактичних та змодельованих вихідних даних.

Під час перевірки точності моделі було отримано такі дані: середньоквадратичне відхилення (RMSE) становить 0,943 та 0,820 для навчальної та перевіркової вибірок відповідно; коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,844 та 0,891; кореляція – 0,919 та 0,952 відповідно. Дисперсію та відхилення змодельованих вихідних даних від фактичних показано на рис. 5.8. Було перевірено та підтверджено відповідність критеріям Стьюдента та Фішера масивів фактичних та змодельованих вихідних даних, що свідчить про адекватність отриманої моделі.

Перевірка критерію Стьюдента: $t = 0,411$; $t > t_{st}$ за $\rho < 0,001$ – дає змогу зробити висновок про відсутність різниці між масивами фактичних та змодельованих вихідних даних.

Перевірка критерію F -розподілу Фішера: $F_{розр} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{5,831}{4,860} = 1,199$;

$F_{крит} = 1,261$; оскільки $F_{розр} \geq F_{крит}$ – свідчить про рівність двох дисперсій та їх приналежність до однієї генеральної сукупності [98].



Рис. 5.7. Графічне подання фактичних та змодельованих вихідних даних

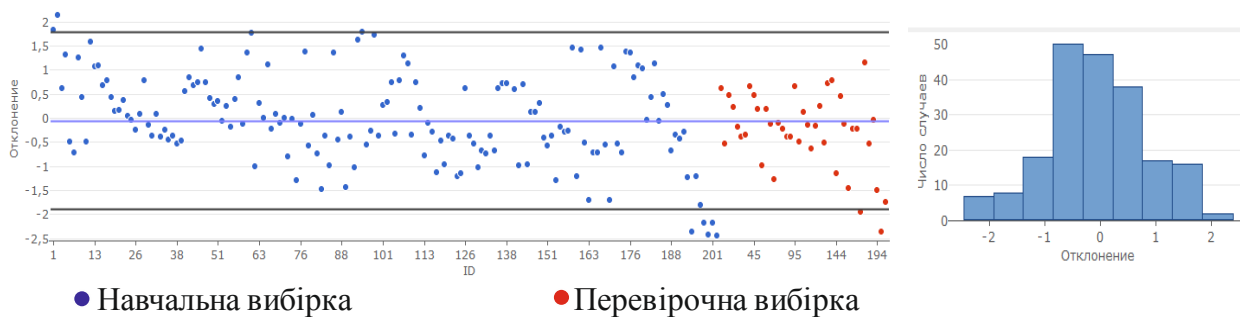


Рис. 5.8. Відхилення змодельованих вихідних даних від фактичних

За допомогою розробленої моделі було визначено зміну кольору на ділянці водяного знака на нових банкнотах за формулою

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

де $\Delta E_{1,2,3}$ – розраховані за допомогою моделі значення різниці кольору звороту відбитка і паперу для кожної із зон.

Так, для номіналу 50 грн показник ΔE на ділянці контролю (12×12 мм) склав 0,70 (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Параметри ділянки з півтоновим водяним знаком

Зони	Відмінність між кольором паперу та кольором фарби	Кількість фарби, г/м ²	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 кож. зони)	Відмінність між кольором звороту відбитка та папером (для ділянки контролю)
	$\Delta E_{\text{п/ф}}$	m	R_a	$D_{\text{пр}}$	T	s	$S_{\text{штр}}$	$\Delta E_{\text{зони}}$	$\Delta E_{\text{контр}}$
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	

5.4. Система технологічного забезпечення якості офсетного друку з урахуванням перебивання фарби на зворот

Якісні показники друкарського відбитка є результатом певної взаємодії інформаційного, енергетичного і матеріального потоків. Вони залежать від характеристики застосовуваних матеріалів, характеристики обладнання і режимів технологічного процесу та мають відповідати якісним параметрам, які

встановлені наперед отриманими практичними результатами і стандартами [113].

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень впливу параметрів матеріалів на якість офсетного друку розроблено структурно-логічну схему визначення показників якості відбитків, отриманих офсетним способом друку на папері з водяними знаками (рис. 5.9). Ця схема включає шість основних блоків:

- 1) параметри технологічного процесу, що слугують вхідними даними;
- 2) теоретичне підґрунтя, що стало основою для подальшого визначення певних кінцевих чи проміжних параметрів якості;
- 3) алгоритм визначення;
- 4) спосіб реалізації запропонованого алгоритму, що передбачає застосування відповідного програмного забезпечення;
- 5) проміжний результат, що дозволяє отримувати дані для подальшого моделювання та прогнозувати певні параметри якості;
- 6) вихідний результат, яким є забезпечення якості та керування технологічним процесом контролю зношеності банкнот.

Розроблена структурно-логічна схема дозволяє оцінювати якість технологічного процесу друкування через прогнозування оптичних та колірних характеристик відбитків та їх звороту, а також здійснювати цілеспрямоване керування цими характеристиками варіюванням вхідних параметрів.

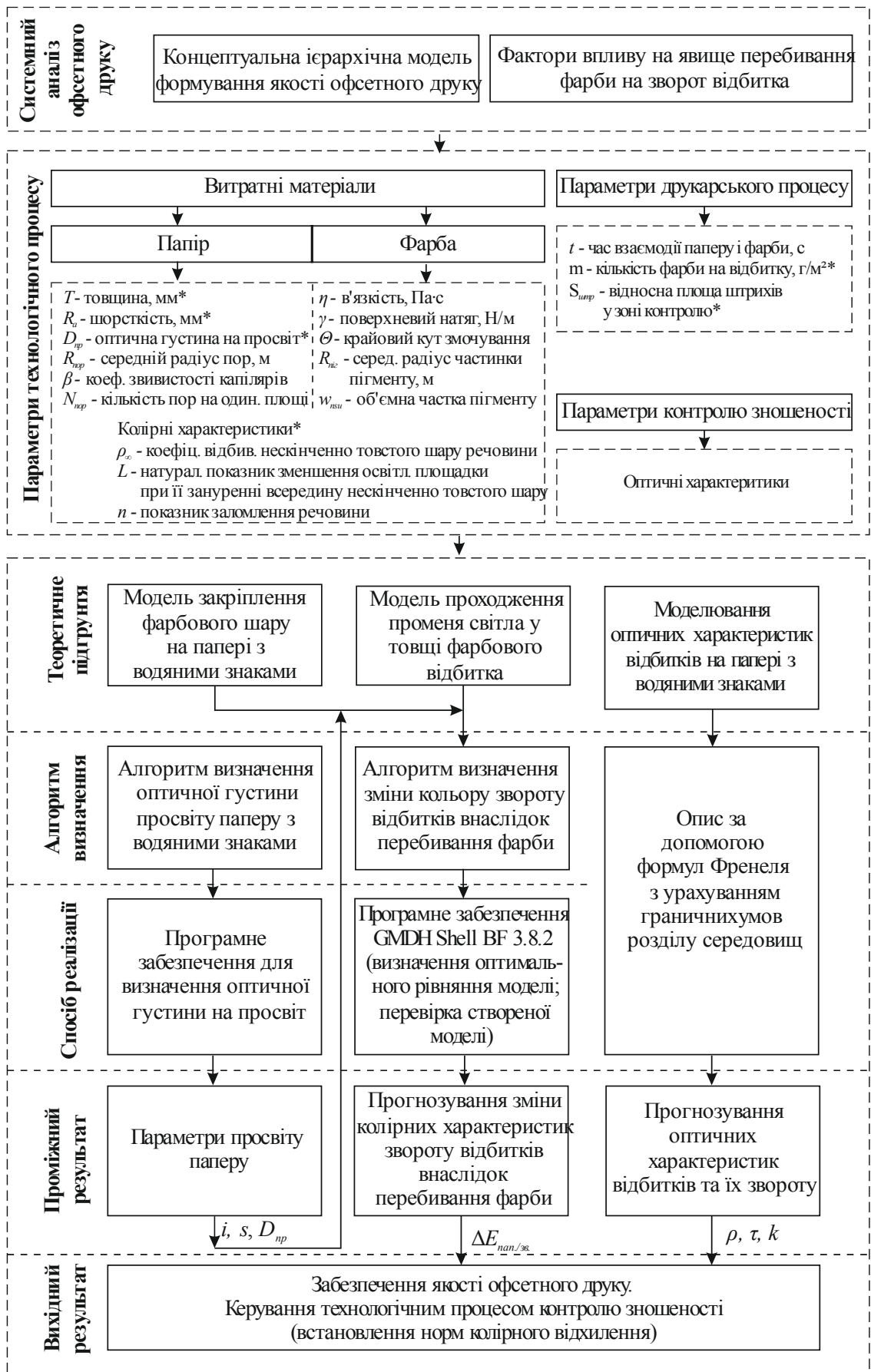


Рис. 5.9. Структурно-логічна схема технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот (* Параметри, що використовуються для визначення $\Delta E_{\text{пап./зв}}$)

Висновки до розділу 5

Для об'єктивного оцінювання структури паперу з півтоновими водяними знаками було запропоновано методика, що дозволяє отримати кількісні значення характеристик просвіту паперу. Визначено параметри просвіту ділянки водяного знака на банкноті номіналом 50 гривень. Розраховано середнє значення оптичної густини на просвіт для кожної з трьох умовних зон, що становить 0,69; 0,81; 0,95, та відносну площу кожної зони – 25, 51, 24 %.

Враховуючи наявні недоліки автоматизованого сортування банкнот, було розроблено алгоритм та здійснено моделювання визначення зміни кольору звороту відбитків, що виникає внаслідок перебивання фарби, який дозволить уникнути необґрунтованого вилучення з обігу придатних банкнот через помилкове оцінювання їх стану як зношених. Під час моделювання було враховано основні фактори, що впливають на якість друку, а також взаємний зв'язок між структурними характеристиками паперу, колірними характеристиками паперу і фарб, кількістю фарби на відбитку, параметрами мікроштрихів та колірними характеристиками звороту відбитка. Для створення моделі застосовано метод МГУА та програмний продукт GMDH Shell BF 3.8.2; адекватність моделі було перевірено та підтверджено.

За допомогою розробленої моделі було визначено зміну кольору звороту на ділянці водяного знака на новій банкноті номіналом 50 гривень, що склав $\Delta E = 0,70$ (простір CIE Lab).

Розроблено структурно-логічну схему визначення показників якості відбитків, отриманих офсетним способом друку на папері з водяними знаками. Ця схема ґрунтується на розроблених алгоритмі визначення параметрів оптичної густини просвіту паперу з водяними знаками, алгоритмі та моделі визначення зміни кольору звороту відбитків унаслідок перебивання фарби та на моделі оптичних характеристик відбитків та їх звороту, що дозволило прогнозувати оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту і здійснювати цілеспрямоване керування цими характеристиками варіюванням вхідних параметрів.

Застосування запропонованої структурно-логічної схеми дозволить цілеспрямовано корегувати технологічний процес офсетного друку, прогнозуючи оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту, та здійснювати цілеспрямоване керування ними варіюванням параметрів технологічного процесу, а також на етапі контролю зношеності банкнот, встановлювати обґрунтовані порогові значення оптичних та колірних показників загального забруднення та зношення під час налагодження сортувального обладнання. Застосування технологічного забезпечення якості офсетного друку на папері з водяними знаками з урахуванням перебивання на зворот дозволить на 7–12 % скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу через невідповідність оптичних та колірних показників зони контролю зношеності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну задачу – розроблено комплексний технологічний процес забезпечення якості банкотної продукції на етапі офсетного друку з урахуванням взаємного зв'язку між структурними та колірними характеристиками паперу і фарб, технологічними режимами та параметрами оригіналу.

Вирішення науково-прикладної задачі полягає у сукупності таких результатів:

1. Здійснено статистичне дослідження щодо виявлення та встановлення відсоткового співвідношення основних дефектів банкотної продукції, що дозволило цілеспрямовано обирати напрями підвищення якості банкотних відбитків.

2. Розроблено концептуальну модель закріплення фарбового шару офсетного друку, що враховує розподіл складових частин фарби у поверхневих шарах та об'ємі паперу з різними структурними характеристиками, зокрема з водяними знаками. Це стало теоретичним підґрунтям подальшого моделювання оптичних характеристик відбитків та їх звороту.

3. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень виявлено та систематизовано найбільш вагомні фактори впливу на явище перебивання фарби на зворот відбитків, що дозволило обрати вхідні параметри для подальшого моделювання якості банкотних відбитків.

4. Розроблено модель формування оптичних характеристик відбитків та їх звороту, яка враховує глибину проникнення й розподіл компонентів фарби у папері, котрі визначаються загальною кількістю та характером пор паперу, дисперсністю фарби та її реологічними властивостями. Ця модель дозволяє прогнозувати якість друку та явище проступання фарби на зворот для паперу з різними структурними характеристиками суміжних ділянок, зокрема для паперу з водяними знаками.

5. На основі виявлених факторів впливу на явище перебивання на зворот було удосконалено концептуальну ієрархічну модель формування якості офсетного друку, що дозволяє цілеспрямовано обирати напрями забезпечення якості офсетного друку, здійснювати вхідний контроль матеріалів, вихідний контроль готової продукції та корегувати процес визначення зношеності банкнот.

6. Розроблено комплексну методику експериментальних досліджень, що дала змогу всебічно дослідити структурні характеристики паперу з макронерівностями систематичного порядку, а також визначити оптичні та колірні характеристики відбитків і їх звороту, що дозволило здійснити аналіз показників якості.

7. Здійснено кореляційний аналіз взаємного зв'язку між структурними характеристиками паперу, зокрема в зоні водяного знака, та оптичними характеристиками відбитка і його звороту. Проведений аналіз дозволив виявити, що у разі більшої оптичної густини ділянки відбитка значення оптичної густини тієї ж ділянки з його звороту є меншою, і навпаки – за меншої оптичної густини відбитка значення оптичної густини звороту збільшується. Це свідчить про більше проникнення фарби на ділянках паперу з меншою щільністю, що приводить до зниження концентрації пігменту на поверхні відбитка та до його проступання на звороті, що дозволяє підтвердити коректність моделі закріплення фарби на відбитку.

8. Для об'єктивного оцінювання структури паперу з півтоновими водяними знаками розроблено методику визначення кількісних показників характеристик просвіту паперу. Зокрема, було визначено параметри просвіту ділянки водяного знака на банкноті: середнє значення оптичної густини на просвіт для кожної з трьох умовних зон становить 0,69; 0,81; 0,95, відносна площа кожної зони – 25, 51, 24 % відповідно. Це дозволить цілеспрямовано корегувати обґрунтовані порогові значення оптичних показників загального забруднення та зношення під час налагодження сортувального обладнання.

9. Розроблено алгоритм та здійснено моделювання визначення зміни кольору звороту відбитків, яка виникає через 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 банкнот.

10. Розроблено структурно-логічну схему визначення показників якості відбитків, отриманих офсетним способом друку на папері з водяними знаками, що дозволило прогнозувати оптичні та колірні характеристики відбитків та їх звороту, а також здійснювати цілеспрямоване керування цими характеристиками варіюванням вхідних параметрів.

11. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено у виробництво на Банкотно-монетному дворі Національного банку України й підтверджено актами впровадження. Економічний ефект від впровадження розробок становить 322 598,04 грн.

12. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва НТУУ «КПІ» під час проведення лекційних, лабораторних та практичних занять з дисципліни «Теорія кольору».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Киричок П. О. Захист цінних паперів та документів суворого обліку / П. О. Киричок, Ю. М. Коростіль, А. В. Шевчук. – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 368 с.
2. Кисельова О. Филигранная работа / О. Кисельова // Водяной знак. – 2008. – № 1–2. – С. 39–41.
3. Коншин А. О. Защита полиграфической продукции от фальсификации / Андрій Олександрович Коншин. – М. : ООО «Синус», 1999. – 160 с.
4. Остреров М. А. Бумага, защищенная от подделок / М. А. Остреров // КомпьюАрт. – 2008. – № 10. – С. 29–31.
5. Security features integrated in bancnote paper. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April, 2011. – P. 38–39.
6. Темрук В. И. Особенности технологии бумаги для печати документов / В. И. Темрук // Труды Белорусского гос-венного технологич. ун-та. – 2008. – Сер. 4. «Химия, технология органических веществ и биотехнология». – Т. 1. – 2008. – № 4. – С. 319–324.
7. Kyrychok T. Badanie szorstkosci powierzchni papierow ze znakami wodnymi. The Investigation of Roughness for Paper with Watermarks / Т. Kyrychok, Т. Klymenko, N. Malkush // *Przeglad papierniczy*. – 2012. – № 7. – P. 414–417.
8. Дольницкий А. Кто, что и как защищают наши деньги / А. Дольницкий // *Digital print. Современные технологии*. – 2002. – № 5. – С. 28–31.
9. Валиев С. Защита ценных бумаг / С. Валиев, Б. Эльтазаров. – М. : ЧеРо, 1997. – 156 с.
10. Михайлов С. Ф. Информационная безопасность. Защита информации в автоматизированных системах. Основные концепции / С. Ф. Михайлов – М. : МИФИ(ТУ), 1995. – 110 с.
11. Kisluchin S. Developing Security Printing Materials in Belarus // *ProcSecurity Printing in Russia / CIS and Central / Eastern Europe 3 rd International Conference*. – 2003. – P. 2.

12. Фляте Д. М. Технология бумаги. Учеб. для вузов / Дмитрий Моисеевич Фляте. – М. : Лесн. промышленность, 1988. – 440 с.
13. Лоуренс А. Что полиграфист должен знать о бумаге / А. Лоуренс, I. Вилсон. – М. : Принт-Медиа, 2005. – 376 с.
14. Музика В. П. Система захисту цінних паперів та документів суворого обліку – наукоємна проблема державного масштабу / В. П. Музика, А. В. Шевчук // Друкарство. – 2002. – № 4 (45). – С. 72–74.
15. Киричок Т. Ю. Вирішення багатокритеріальних задач розвитку банкнотного виробництва / Т. Ю. Киричок // Pross. of the 15-th International Conference SAIT 2013. – Kyiv, Ukraine. – May 27–31, 2013. – P. 113.
16. Киричок Т. Ю. Система забезпечення якості офсетного друку / Т. Ю. Киричок, Т. Є. Клименко // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – Київ, 2015. – № 1. – С. 18–23.
17. Киричок Т. Ю. Зносостійкість банкотної продукції / Т. Ю. Киричок. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 308 с.
18. Киричок Т. Ю. Аналіз напрямків підвищення зносостійкості банкнот / Т. Ю. Киричок // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – Київ, 2014. – № 3 (45). – С. 4–19.
19. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания / Л. А. Козаровицкий. – М. : Книга, 1965. – 368 с.
20. Леонтьев В. Н. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати / В. Н. Леонтьев // Известия вузов. Лесной журнал. – М., 2009. – № 4. – С. 111–116.
21. Borch J. Handbook of Physical Testing of Paper / J. Borch, M. V. Lyne, R. E. Mark, C. Habeger // CRC Press, 2001. – Vol. 2. – 560 p.
22. Фролов М. В. Структурная механика бумаги / М. В. Фролов. – М. : Лесн. пром-ть, 1982. – 272 с.
23. Лазаренко Е. Т. Поліграфічні матеріали / Е. Т. Лазаренко. – Львів : Афіша, 2001. – 328 с.
24. Diamond A. S. Handbook of imaging materials / A. S. Diamond, D. S. Weiss. – New York : CRS Press, 2002. – 682 p.

25. Лукьянов В. С. Параметры шероховатости поверхности / В. С. Лукьянов, Я. А. Рудзит. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 162 с.
26. Дубина Н. Просвет бумаги / Н. Дубина // КомпюАрт. – 2001. – № 5. – С. 10–12.
27. Абрамова В. В. Анализ равномерности формирования макроструктуры бумаги в 2-D и 3-D проекциях / В. В. Абрамова, А. В. Гурьев, М. А. Холмова, О. Б. Дмитриева // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: тез. допов. I Наук.-техн. конф. – Архангельск, 2011. – С. 95–101.
28. Свойства бумаги: теория и практика // КомпюАрт. – 2005. – № 10. –
29. ДСТУ 2047-92 (ГОСТ 300 22. 2-93) (ISO 8791-2: 1990). Бумага и картон. Метод определения шероховатости (метод с применением пропускания воздуха). Метод Бендтсена. – Введ. 01.01.94. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 10 с.
30. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы, профилометры контактные. Типы и параметры: ГОСТ 19300-86. – ГОСТ 19300-86. – [Чинний від 1987-07-01].
31. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 2789-73. – ГОСТ 2789-73. – [Чинний від 1973-04-23].
32. Леонтьев В. Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаг в системе «бумага-краска-оттиск»: учеб. пособие / В. Н. Леонтьев. – СПб. : ГОУВПО СПбГТУРП, 2009. – 170 с.
33. Коряковская Н. В. Применение теории фракталов для оценки структурной неоднородности бумажного полотна / Н. В. Коряковская, В. К. Попов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2007. – № 6. – С. 109–114.
34. Медяк Д. М. Фрактальная геометрия структуры поверхности бумаги с водяными знаками / Д. М. Медяк, I. А. Маслакова, I. I. Кулак // Труды БГТУ. Изд. дело и полиграфия. – 2011. – № 9. – С. 52–56.
35. Кулак М. И. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы / М. И. Кулак, Н. А. Нечипорович, Д. М. Медяк. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 419 с.

36. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов / М. И. Кулак. – Минск : Высш. шк., 2002. – 304 с.
37. Леонтьев В. Н. Исследование влияния облачности на качество печати (на растаскивание оттиска) / В. Н. Леонтьев, А. К. Хмельницкий // Прогрессивные технологии обработки материалов, режущий инструмент и оснастка: тез. докл. 3-ей Междунар. научн.-технич. конф. – Санкт-Петербург, 17–19 декабря. – 2003. – Секция 4: Математическое и компьютерное моделирование технологических систем. – С. 92–94.
38. Леонтьев В. Н. Облачность бумаги. Измерение. Влияние на качество оттисков // Современные достижения в производстве и использовании бумаги и картона для печати : тез. докл. – СПб., 2004. – С. 119–126.
39. Борисова А. С. Моделирование оценки качества печатной продукции / А. С. Борисова, Л. Г. Варепо, О. А. Колозова, А. В. Голунов // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 12. – С. 114–116.
40. Голунов А. В. Структура бумаги и передача цвета / А. В. Голунов, Л. Г. Варепо // Прикладная оптика – 2010: матер. Междунар. научн.-практ. конф. – СПб., 2010. – С. 282–286.
41. Голунов А. В. Влияние на расширение цветового охвата печатной системы микрогеометрии поверхности запечатываемого материала / А. В. Голунов, Л. Г. Варепо // Омский научный вестник. 2012. – № 3 (113). – С. 353–359.
42. Дунаев Д. В. Системный подход к обеспечению требуемых печатных свойств бумаги на основе информации о качестве печати: дис. ... канд. техн. наук. : 05.13.01 / Д. В. Дунаев. – СПб., 2006. – 145 с.
43. Дунаев Д. В. Метод оценки влияния неоднородности бумаги на колебания оптической плотности оттиска / Д. В. Дунаев, В. Н. Леонтьев, П. В. Луканин // Целлюлоза, бумага, картон, 2007. – № 1. – С. 50–51.
44. Kajanto I. M. Effect of formation on print quality: Interdependence between local grammage and print density, Paper presented at 24-th EUCERA Conference 1990: Print held 8-11 1990 may at Sweden, Stockholm. – P. 381–396.

45. Farrell M. Newsprint analyzes process, sheet property impacts on printing / M. Farrell, J. Chen, Lauber D. Alberta // Pulp & Paper. – № 9. – 2002. – P. 49–52.
46. Mettanen M. Aligned analysis of surface topography and printed dot pattern maps / M. Mettanen, M. Lauri, H. Ihalainen, P. Kumpulainen. // Pros. Papermaking Research Symposium. – Kuopio, Finland, June 2009.
47. Giesecke & Devrient: офіційний сайт фірми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gi-de.com>
48. Шепотинник Л. С. Воспроизведение изображения способами офсетной печати / Л. С. Шепотинник. – М., 1986. – 48 с.
49. Александров Д. Современные средства повышения качества офсетной печати / Д. Александров. – СПб. : АО «Текст», 1998. – 76 с.
50. Климова Е. Д. Зависимость качества оттисков и стабильность процесса печатания от свойств печатной бумаги / Е. Д. Климова // Вестник: Моск. гос. ун-тет печати. – № 10. – М., 2005. – С. 63–66.
51. Батюшко А. Л. Проблемы автоматизации офсетного печатного процесса / А. Л. Батюшко, С. В. Варганиян, Э. И. Избицкий, Б. В. Каган, Л. А. Шахмундес. – М. : Книга, 1978. – 112 с.
52. Филькинштейн Г. Э. Структура бумаги / Г. Э. Филькинштейн, Д. М. Фляте. – М. : Лесн. промышленность; 1969. – 56 с.
53. Лазаренко Е. Т. Поліграфічні матеріали / Е. Т. Лазаренко. – Львів : Афіша, 2001. – 328 с.
54. Патент UA 56679, Україна, МПК D21H27/00, B44F1/00, u201007703. Захисний елемент для цінних документів/ Т. Ю. Киричок, Н. Л. Малкуш; заявл. 18.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
55. Шахкельдян Б. Н. Полиграфические материалы / Б. Н. Шахкельдян, Л. А. Загаринская. – М. : Книга, 1975. – 352 с.
56. Иванов А. Влияние относительной влажности и температуры на технологические процессы / А. Иванов // Полиграфия. – 2004. – № 3. – С. 119–121.
57. Величко О. М. Проблеми фарбоперенесення в плоскому офсетному друці / О. М. Величко, О. В. Зоренко, О. Ф. Розум // Друкарство. – 2002. – № 5. – С. 75–77.

58. Зеттмойлер А. С. Влияние свойств краски на ее перенос в процессе печатания / А. С. Зеттмойлер, Р. Ф. Скarr, В. Д. Шеффер // Вопросы оценки качества полиграфических оттисков. – М. : ИЛ. – 1961.

59. Климова Е. Д. Зависимость качества оттисков и стабильность процесса печатания от свойств печатной бумаги / Е. Д. Климова // Вестник: Моск. гос. ун-тет печати. – № 10. – М., 2005. – С. 63–66.

60. Якуцевич С. Кореляційний аналіз взаємодії властивостей паперу і якості відбитків офсетного аркушевого друку / С. Якуцевич, І. Назар, Е. Лазаренко // Технологія і техніка друкарства. – № 1–2. – 2007. – С. 17–32.

61. Якуцевич С. Дифузія фарби в папір під тиском друкарського контакту / С. Якуцевич, І. Огірко // Комп'ютерні технології друкарства. – Львів : УАД. – № 7. – 2002. – С. 211–215.

62. Могинов Р. Г. Экспериментальная проверка влияния шероховатости запечатываемого материала на равномерность оттиска / Р. Г. Могинов, Р. А. Амосов, О. Ю. Затула // Проблемы полиграфии и издательского дела: Известия высш. учебн. заведений. – 2011. – № 4. – С. 44–52.

63. Karlović I. The Influence of the Surface Roughness of Aqueous Coated Samples and the Particle Size of the Coatings on the Reflection and Colourimetric Values of Offset Printed Samples / Igor Karlović, Ivana Tomić, Ivana Rilovski, Dragoljub Novaković // Science & technology. – 2011. – P. 18–29.

64. Темрук В. И. Теория и практика поверхностной проклейки бумаги. Сообщение 1. Механизм и математическое описание поверхностной проклейки бумаги / В. И. Темрук // Wgchodniepartnerstvo – Vol. 5. – VI Miedzynarodowej naukowipraktycanej konferencii. Przemys / 07 – 15.11.2010, Przemysl, Sp. Z.00 Nauraistudia, 2010 – С. 61–67.

65. Старченко О. П. Влияние температуры и неоднородности структуры порового пространства бумаги на капиллярное впитывание печатной краски / О. П. Старченко, М. И. Кулак, Д. М. Медяк // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2010. – № 2. – С. 69–77.

66. Старченко О. П. Интенсификация капиллярного впитывания печатной краски в мультифрактальном поровом пространстве бумаги / О. П. Старченко. – Труды БГТУ. – 2011. – № 9. – С. 19–22.

67. Киричок Т. Ю. Дослідження процесу закріплення фарби на папері з водяними знаками / Т. Ю. Киричок, Н. Л. Талімонова // Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – Вип. 1. – Київ : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. – С. 71–75.

68. Киричок Т. Ю. Моделювання проникнення фарби в папір з водяними знаками під час офсетного друку / Т. Ю. Киричок, Н. Л. Талімонова, В. І. Заріцька, А. І. Денисюк // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – № 5 (87). – С. 135–139.

69. Мосеев Н. П. Теоретические основы цветовоспроизведения. Учебн. пособие для студ. изд.-полиграфич. специальн. высш. учебн. заведений / Н. П. Мосеев. – Киев : ХаГар, 1998 – 94 с.

70. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение / Б. А. Шашлов. – М. : Книга, 1995. – 280 с.

71. Гуревич М. М. Оптические свойства лакокрасочных покрытий / М. М. Гуревич, Э. Ф. Ицко, М. М. Середенко. – Ленинград : Химия, 1984. – 120 с.

72. Пушак Я. С. Теорія імовірності і елементи математичної статистик: навч. посіб. / Я. С. Пушак, Б. Л. Лозовий. – Л. : УАД, 2006. – 264 с.

73. Гуревич М. М. Введение в фотометрию / М. М. Гуревич. – Ленинград : Энергия, 1968. – 244 с.

74. Листратенко В. И. Исследование взаимодействия бумаги и краски на пробопечатных устройствах / В. И. Листратенко // Физико-химические явления в процессах полиграфии. Труды ВНИИ Полиграфии. – 1980. – Т. 30. – Вып. 2. – С. 21–31.

75. Варепо Л. Г. Методология прогнозирования качества офсетной печати с учетом микрогеометрии поверхности запечатываемых материалов. дисс. д-ра техн. наук. – М. : МГУП. – 2014. – 300 с.

76. ГОСТ 19300-87. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и параметры. – Введ. 01.07.87. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 11 с.

77. Майданюк С. В. Модуль для вимірювання фасонних профілів / С. В. Майданюк, О. А. Плівак, Р. А. Бекмурадов // Вісн. ЖДТУ. – 2007. – № 2 (41). – С. 15–18.

78. Мальков О. В. Измерение параметров шероховатости поверхности детали / О. В. Мальков, А. В. Литвиненко. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 22 с.

79. ДСТУ 2413-94 (ГОСТ 2789-75) Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 01.01.75. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 7 с.

80. Синяк М. Денситометр. Взгляд изнутри / М. Синяк // Publish. – 1999. – № 7. – С. 17–20.

81. ГОСТ 27015-86 Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и объема. – Введ. 1988-01-01. – М. : Госстандарт России; Изд-во стандартов, 2002. – 3 с.

82. Мікротех: офіційний сайт фірми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.microtech-ua.com>

83. Волкова О. В. Основы гистологии и гистологической техники / О. В. Волкова, Ю. К. Елецкий. – М. : Медицина, 1982. – 304 с.

84. Якуцевич С. Оцінка якості відбитків аркушевого офсетного друку / С. Якуцевич // Друкарство. – 2006. – № 6. – С. 14–16.

85. Розум Т. В. Концептуальні засади контролю на виробництві / Т. В. Розум, Я. В. Зоренко, К. І. Савченко, В. М. Скиба // Поліграфія і видавнича справа. – 2012. – № 1 (57). – С. 78–83.

86. Режим доступу: http://gretagmacbeth.narod.ru/Brochure/QUIKDensBrochure_rus.pdf

87. ОСТ 29.66-90. Оттиски печатные Денситометрические нормы печатання. Методика определения.

88. Листратенко В. И. Влияние свойств бумаги на цветовые параметры оттиска / В. И. Листратенко, И. С. Файнберг, И. Е. Давыдова, Б. В. Каган //

Физико-химические явления в процессах полиграфии. Труды ВНИИ Полиграфии. – 1982. – Т. 32. – Вып. 1. – С. 47–57.

89. Величко О. Проблемы фарбоперенесення в плоскому офсетному друці / О. Величко, О. Зоренко, О. Розум // Друкарство. – 2002. – № 5. – С. 75–77.

90. Технология печатных процессов / под. ред. А. Н. Раскина. – М. : Книга, 1989. – 432 с.

91. Тихонов В. О механизме взаимодействия краски с запечатываемой поверхностью / В. О. Тихонов // Полиграфия. – 2005. – № 5. – С. 34–40.

92. X-Rite: офіційний сайт фірми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.xrite.com/spectroeye-spectrophotometer>

93. Погорелов А. В. Геометрия / А. В. Погорелов – М. : Наука. Гл. редакция физ.-мат. л-ры, 1983. – 288 с.

94. Аугамбаев М. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента / М. Аугамбаев, А. Иванов, Ю. Терехов. – Ташкент : Укитувчи, 2004. – 336 с.

95. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.

96. Батрак А. П. Планирование и организация эксперимента / А. П. Батрак. – Красноярск : ИПЦ СФУ, 2007. – 60 с .

97. Мельниченко О. П. Статистична обробка експериментальних даних: навч. посіб. / О. П. Мельниченко, І. Л. Якименко, Р. Л. Шевченко. – Біла Церква, 2006. – 34 с.

98. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко. – 2 изд., перераб. и доп. – Киев : Морион, 2001. – 408 с.

99. Киричок Т. Ю. Мікрогеометрія поверхні паперу з водяними знаками / Т. Ю. Киричок, Т. Є. Клименко, Н. Л. Малкуш // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. праць. – Київ, 2009. – № 4. – С. 130–137.

100. Киричок Т. Ю. Дослідження шорсткості паперу з водяними знаками / Т. Ю. Киричок, Т. Є. Клименко, Н. Л. Малкуш // Вісник НТУУ «КПІ»: Машинобудування. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – Вип. 59. – С. 126–128.

101. Киричок Т. Ю. Дослідження кольоровідтворення на одно- та двошаровому папері спеціального призначення / Т. Ю. Киричок, В. М. Нестеренко, Н. Л. Талімонова // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. праць. – Київ, 2011. – № 3 (33). – С. 17–27.

102. Киричок Т. Ю. Вплив технологічних параметрів на зміну колірних та оптичних характеристик відбитків / Т. Ю. Киричок, Т. Є. Клименко, Н. Л. Малкуш, П. Р. Гаврилюк // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. праць. – Київ, 2010. – № 1. – С. 20–28.

103. 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. – Київ, 2015. – № 1 (47). – С. 4–10.

104. 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.

105. Ивахненко А. Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Димитров. – М. : Сов. радио, 1976. – 210 с.

106. Гавенко С. Принципи моделювання технічних систем у поліграфії / С. Гавенко, С. Гунько. – Львів : компанія «Манускрипт», 1996. – 133 с.

107. Буткевич О. Ф. Підвищення надійності моніторингу допустимості завантаження контрольованих перетинів енергосистем ISSN 1607-7970 / О. Ф. Буткевич, А. В. Левконюк, О. І. Стасюк // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 2. – С. 56–66.

108. Klevecka Irina. Pre-Processing of Input Data of Neural Networks: The Case of Forecasting Telecommunication Network Traffic / Irina Klevecka // Teletronikk. – № 3–4. – 2008. – С. 168–178.

109. Тимошик Н. П. Застосування методу групового врахування аргументів для системи автоматичної побудови моделей мережевого трафіка системи виявлення атак / Н. П. Тимошик // Автоматика, вимірювання та керування: Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 639. – С. 133–141.

110. Ивахненко А. Г. Помехоустойчивость моделирования / А. Г. Ивахненко, В. С. Степашко. – Киев : Наук. думка, 1985. – 216 с.

111. Ивахненко А. Г. Проблемы индуктивного двухуровневого мониторинга сложных процессов / А. Г. Ивахненко, Е. А. Савченко, В. Л. Синявский // Управляющие системы и машины. – 2007. – № 3. – С. 13–21.

112. Степашко В. С. Анализ эффективности критериев структурной идентификации прогнозирующих моделей / В. С. Степашко // Проблемы управления и информатики. – 1994. – № 3–4. – С. 13–22.

113. Репета В. Б. Оцінювання якості друкарських відбитків засобами нечіткої логіки / В. Б. Репета, П. М. Ривак, В. М. Сеньківський // Українська академія друкарства: наук. записки. – Львів. – № 2. – 2015. – С. 58–64.

ДОДАТКИ

Додаток А

Акти впровадження у виробничий та навчальний процес

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідної роботи

«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПАПЕРУ ТА ОФСЕТНИХ ФАРБ НА КОЛІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА НАСИЧЕНІСТЬ БАНКНОТНИХ ВІДБИТКІВ»

за договором № 08-12-301 від 28.07.2008,

номер державної реєстрації 0109 У 005818

Акт складено про те, що в результаті виконання робіт згідно з договором № 08-12-301 від 28.07.2008, номер державної реєстрації 0109 У 005818 " Дослідження впливу параметрів паперу та офсетних фарб на колірні характеристики та насиченість банкнотних відбитків", котрий виконувався під науковим керівництвом доцента кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", к.т.н. Киричок Тетяни Юріївни було теоретично та експериментально досліджено вплив параметрів паперу та офсетних фарб на колірні характеристики та насиченість поліграфічної продукції спеціального призначення; досліджено залежності колірного зсуву відбитків при застосуванні різних матеріалів та технологічних параметрів; надано рекомендації щодо оптимізації параметрів друкування захищеної продукції.

На основі проаналізованих теоретичних засад запропоновано методику експериментальних досліджень, наведено порядок і умови їх проведення.

Досліджено властивості офсетного та декількох видів банкнотного паперу. За результатами проведених досліджень було встановлено, що фізико-технологічні та колірні характеристики паперів відрізняються між собою. Виявлено, що при

нанесенні одного виду фарби при однакових технологічних умовах, колір відбитків на різних основах відрізняється. Оскільки колірні характеристики паперу впливають на колір відбитків та візуальне сприйняття готової продукції, рекомендується виготовляти сумішеву фарбу з врахуванням колірних характеристик паперу, для чого був розроблений алгоритм та спроектовано дільницю виготовлення сумішевих фарб.

При виготовленні сумішевих фарб з урахуванням колірних характеристик паперу суттєво зменшиться кількість браку. Прибуток від виготовлення сумішевих фарб становить 467794,13 грн. Рентабельність продукції становить 15%. Економічні розрахунки додаються.

**Видавничо-поліграфічний інститут
НТУУ «КПІ»**

**Центр досліджень та розвитку
технологій Банкнотно-
монетного двору Національного
банку України,**

Науковий керівник:

к.т.н., доцент

 Киричок Т.Ю.

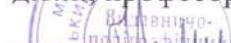
Директор, д.т.н., проф.



 Стародуб М. П.

Виконавці:

д.т.н., професор

 Киричок П.О.

Аспірант

 Клименко Т.Є.

Аспірант

 Талімонова Н.Л.

**Техніко-економічний розрахунок
собівартості виготовлення сумішевих фарб**

Таблиця 1

Назва операцій та перелік устаткування

№ п/п	Найменування обладнання	Назва операції	Кількість одиниць обладнання	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.	Загрузка, нормо-годин
1	Комп'ютер Pentium 4	Розробка рецептури фарби, бух. документи	2	4 300,00	8 600,00	1995
2	Програмне забезпечення Ink Formulation		1	80 000,00	80 000,00	1995
3	Спектрофотометр SpectroEye (Gretag Macbeth)		1	4 000,00	4 000,00	1995
4	Принтер OKI B4200	Роздруковка рецептур фарб та ін. документів	1	900,00	900,00	798
5	Прободрукарський станок IGT Reprotest B.V. C1	Виготовлення відбитків фарб	1	100 000,00	100 000,00	399
6	Ваги аналітичні Sartorius Basis, модель BP 310S		1	4 000,00	4 000,00	399
7	Змішувач для фарби вібраційний VP-02	Виготовлення змішаних фарб	2	17 600,00	35 200,00	2793
8	Змішувач для фарби (міксерного типу) FM-20		2	31 500,00	63 000,00	2793
9	Ваги електронні Mettler Toledo, модель KB-60 з цифровим дисплеєм	Зважування базових фарб	1	7 000,00	7 000,00	399
10	Проглядова шафа CAS 60	Візуальний аналіз	1	2 500,00	2 500,00	200
11	Пристрій для змивки фарб	Змивання змішуючого обладнання	1	15 000,00	15 000,00	1197
12	Візок транспортний тип ВВЗР 302/20-R	Перевезення базових та змішаних фарб	1	420,00	420,00	399
					Σ=320 620,0	

Розрахунок витрат базових фарб

№ п/п	Номер базової фарби по кольору	Одиниця обліку	Кількість облікових одиниць*	Ціна за облікову одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Irocart 28100	кг	600,0	65,43	39 258,00
2	Irocart 28105		400,0	54,60	21 840,00
3	Irocart 28110		13 000,0	44,68	580 840,00
4	Irocart 28200		1000,0	60,23	60 230,00
5	Irocart 28300		1 200,0	52,50	63 000,00
6	Irocart 28305		400,0	36,73	14 692,00
7	Irocart 28310		1 200,0	74,43	89 316,00
8	Irocart 28400		600,0	87,63	52 578,00
9	Irocart 28420		2 800,0	42,47	118 916,00
10	Irocart 28425		1 600,0	64,31	102 896,00
11	Irocart 28430		2 000,0	55,58	111 160,00
12	Irocart 28500		2 000,0	52,21	104 420,00
13	Irocart 28700		300,0	33,84	10 152,00
14	Irocart 28705		400,0	37,07	14 828,00
15	Irocart 28710		1200,0	153,90	184 680,00
16	Irocart 28720		1200,0	91,21	109 452,00
17	Irocart 28730		400,0	132,45	52 980,00
18	Irocart 28750		200,0	97,05	19 410,00
19	Irocart 28760		400,0	126,22	50 488,00
20	Irocart 28765		200,0	147,28	29 456,00
21	Irocart 28770		600,0	64,19	38 514,00
22	Irocart 28900		2 400,0	42,97	103 128,00
23	Transparent Wei 4575		16 900,0	37,13	627 497,00
			Σ=51 000,0		Σ=2 599731,00

* розрахунок базових фарб ведеться з урахуванням 2% технічних потреб.

Таблиця 3

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

№ п/п	Назва матеріалів	Облікова одиниця	Кількість облікових одиниць	Ціна за облікову одиницю	Загальна вартість, грн.
1	<i>Виробничі матеріали</i>				
1.1	Пластикова тара ємністю 5 кг	шт.	3 000,00	5,93	17 790,00
1.2	Пластикова тара ємністю 2,5 кг		2 000,00	3,02	6 040,00
1.3	Пластикова тара ємністю 2 кг		1 000,00	2,80	2 800,00
1.4	Пластикова тара ємністю 1 кг		2 000,00	0,95	1900,00
1.5	Папір (прободрук. станок, принтер)	кг	180,00	4,00	720,00
	Разом				29250,00
2	<i>Витрати на утримання устаткування</i>				
2.1	Керосин	л	600,00	4,52	2 712,00
2.2	Змивка гуми валів 220215	л	80,00	29,33	2346,40
2.3	Ганчір'я бавовняне	кг	600,00	3,65	2190,00
2.4	Матеріали на утримання комп'ютерної техніки				200,00
	Разом				7 448,40
	Витрати на утримання приміщення (прибирання приміщень, миючі та інші засоби для особистої гігієни працівників)				575,00
	Всього				37 273,40

Таблиця 4

Заробітна плата виробничого персоналу дільниці за рік

№ п/п	Штати	Чисельність	Оклад, годинна тарифна ставка, грн.	Основна з/плата, грн.	Додаткова зарплата			Разом зарплата
					Премія		Доплата за роботу в нічний час*	
					%	грн.		
Зарплата виробничих робітників								
1	Оператор 4-го розряду	4	4,27	34 074,60	75	25 555,95	451,00	60 081,55
Зарплата цехового персоналу, що відноситься на загальновиробничі витрати								
2	Начальник дільниці	1	1 500,00	18 000,00	100	18 000,00		36 000,00
3	Технолог 1-ї категорії	2	950,00	22 800,00	100	22 800,00	576,00	46 176,00
4	Бухгалтер 2-ї категорії	1	840,00	10 080,00	100	10 080,00		20 160,00
5	Комірник	2	720,00	17 280,00	75	12 960,00	432,00	30 672,00
6	Прибиральниця	1	435,00	5 220,00	75	3 915,00		9 135,00
	Разом							142 143,00
Зарплата працівників, що відноситься на утримання устаткування								
7	Системний оператор	0,25	900,00	2 700,00	100	2 700,00		5 400,00
	Всього по дільниці							207 624,55

* Доплата за 2 год. роботи у вечірню зміну в розмірі 20,0% годинної оплати праці

Витрати на амортизацію устаткування за рік

№ п/п	Назва устаткування	Кількість одиниць	Ціна устаткування, грн.	Вартість монтажних робіт, грн.	Балансова вартість, грн.	Норма амортизац. відрахувань, %	Сума амортизаційних відрахувань, грн.
1	Комп'ютер Pentium 4	2	8 600,0		8 600,0	20,0	1 720,0
2	Програмне забезпечення Ink Formulation	1	80 000,0		80 000,0	20,0	16 000,0
3	Спектрофотометр SpectroEye (Gretag Macbeth)	1	4 000,0		4 000,0	20,0	800,0
4	Принтер OKI B4200	1	900,0		900,0	20,0	180,0
5	Прободрукарський станок IGT Reprotest B.V. C1	1	100 000,0	5 160,0	105 160,0	14,0	14 722,4
6	Ваги аналітичні Sartorius Basis, модель BP 310S	1	4 000,0		4 000,0	20,0	800,0
7	Змішувач для фарби вібраційний VP-02	2	35 200,0		35 200,0	12,5	4 400,0
8	Змішувач для фарби (міксерного типу) FM-20	2	63 000,0	260,0	63 260,0	12,5	7 907,5
9	Ваги електронні Mettler Toledo, модель KB-60 з цифровим дисплеєм	1	7 000,0		7 000,0	20,0	1 400,0
10	Проглядова шафа САС 60	1	2 500,0		2 500,0	12,5	312,5
11	Пристрій для змивки фарб	1	15 000,0		15 000,0	12,5	1 875,0
12	Візок транспортний тип ВВЗР 302/20-R	1	420,0		420,0	10,0	42,0
	Разом		320 620,0	5 420,0	326 040,0		50 159,4

Таблиця 6

Втрати на електроенергію для технологічних цілей

№ п/п	Назва устаткування	Кількість одиниць	Потужність токоприймачів, кВт	Час роботи устаткування, год. *		Всього, кВт/год	Коеф. корисної дії електромотора та електромереж	Потреба в електроенергії, кВт	Ціна за кВт/год., грн.	Витрати на ел. енергію, грн.
				%	год.					
1	Комп'ютер Pentium 4	2	0,4	50	1995	798,00	0,95	840,00	0,22	184,80
2	Принтер OKI B4200	1	0,12	20	798	95,76	0,95	100,80	0,22	22,18
3	Прободрукарський станок IGT Reptest B.V. C1	1	0,5	10	399	199,50	0,85	234,71	0,22	51,64
4	Ваги аналітичні Sartorius Basis, модель BP 310S	1	0,05	10	399	19,95	0,95	21,00	0,22	4,62
5	Змішувач для фарби вібраційний VP-02	2	0,75	70	2 793	2 094,75	0,85	2 464,41	0,22	542,17
6	Змішувач для фарби (міксерного типу) FM-20	2	0,75	70	2 793	2 094,75	0,85	2 464,41	0,22	542,17
7	Ваги електронні Mettler Toledo, модель KB-60 з цифровим дисплеєм	1	0,1	10	399	39,90	0,95	42,00	0,22	9,24
8	Проглядова шафа САС 60	1	0,06	5	200	11,97	0,85	14,08	0,22	3,10
9	Пристрій для змивки фарб	1	0,5	30	1 197	598,50	0,85	704,12	0,22	154,91
	Разом					5 953,08		6 885,53		1 514,32

* При розрахунках враховувався 2-змінний режим роботи дільниці

Таблиця 7

Витрати на огляди, перевірки та поточний ремонт устаткування

№ п/п	Назва устаткування	Кількість одиниць	Трудомісткість на одиницю устаткування, нормо-годин				Розцінка 1 нормо-години, грн.	Витрати на технічне обслуговування устаткування, грн.	
			оглядів	перевірок	поточного ремонту	Разом		одиниці устаткування	Всього
1	Прободрукарський станок IGT Reptest B.V. C1	1	24	18	40	82	4,74*	388,7	388,7
2	Змішувач для фарби вібраційний VP-02	2	8	6	16	30	4,74	142,2	284,4
3	Змішувач для фарби (міксерного типу) FM-20	2	8	6	16	30	4,74	142,2	284,4
	Разом								957,5

* годинна тарифна ставка наладчика 5 розряду

Вартість запасних частин для устаткування

3,0% вартості устаткування: $0,03 \cdot 326\,040 = 9\,781,2$ грн.

Таблиця 8

Витрати на утримання устаткування

№ п/п	Назва статей	Витрати, грн.
1	Зарплата працівників, що зайняті обслуговуванням устаткування	5 400,0
2	Відрахування на соціальні заходи	1992,6
3	Амортизація устаткування	50 159,4
4	Поточний ремонт устаткування	
4.1	Трудозатрати	957,5
4.2	Запасні частини	9 781,2
5	Вартість матеріалів на утримання устаткування	7 748,0
6	Вартість двигунової енергії	1 188,5
Разом		79 014,6

Таблиця 9

Витрати на воду, освітлювальну електроенергію та теплову енергію

№ пп	Назва енергоресурсів	Облік, одиниця	Ціна, грн.	Кількість, одиниць	Вартість, грн.
1	Теплоенергія:				
1.1	опалення	Гкал	80,00	20,0	1 600,0
1.2	підігрів гарячої води	Гкал	80,00	10,0	800,0
1.3	вентиляція	Гкал	80,00	10,0	800,0
2	Енергія освітлювальна	кВт/ год	0,22	6 000,0	1 320,0
3	Вода	куб.м.	1,58	500,0	790,0
Разом					5 310,0

Таблиця 10

Загальновиробничі витрати

№ п/п	Назва статей	Витрати, грн.
1	Зарплата персоналу дільниці	142 143,0
2	Відрахування на соціальні заходи	52 592,9
3	Амортизація будівель, споруд	9 780,0
4	Поточний ремонт будівель, споруд	8 000,0
5	Вартість матеріалів на утримання приміщення	575,0
6	Вартість енергії на утримання приміщень	5 310,0
7	Охорона праці та техніка безпеки (спецодяг, мило)	400,0
8	Інші загальновиробничі витрати (охорона приміщення, комунальний податок, податок на землю, науково-технічна література, навчання кадрів та інші)	5 500,0
Разом		224 300,9

Таблиця 11

Собівартість продукції

№ п/п	Назва статей	Витрати, грн.
1	Матеріали основні (базова фарба)	2 599 731
2	Матеріали допоміжні виробничого призначення	29 490,0
3	Витрати на оплату праці виробничих робітників	60 081,6
4	Відрахування на соціальні заходи (37% від з/плати)	22 230,1
5	Витрати на утримання устаткування та його експлуатацію	79 014,6
6	Загальновиробничі витрати	224 300,9
Собівартість		3 014 848,2
7	Адміністративні витрати та витрати на збут (по співвідношенню, що склалось на діючому підприємстві 25% до суми пунктів 2-6)	103 779,3
Разом витрат		3 118 627,5
у т. ч. без вартості базової фарби		518 896,5
	Потужність дільниці по виготовленню фарби, кг	51000
	Витрати на виготовлення 1 кг змішаної фарби з урахуванням вартості основних матеріалів (3 118 627,5 : 51 000), грн.	61,15

Таблиця 12

Розрахунок основних показників роботи дільниці

№ п/п	Показники	Облікова одиниця	Величина показника
1	Витрати на виготовлення річного обсягу змішаних фарб	грн.	3 118 628
2	Плановий рівень рентабельності (середньогалузевий)	%	15
3	Прибуток	грн.	467 794
4	Випуск продукції в оптових цінах	грн.	3 586 422

Розрахунок економічних показників

Собівартість облікової одиниці продукції (1 кг змішаної фарби) розраховується за формулою:

$$C_{\text{од}} = C / N_{\text{н}} = 3\,118\,627,5 / 51\,000 = 61,15 \text{ грн.}$$

де C - повна собівартість продукції, грн.

$N_{\text{н}}$ - обсяг виробництва у натуральному виразі, в обл. один.

Обсяг виробництва в грошовому виразі ($N_{\text{г}}$) визначається на основі повної собівартості продукції та прийнятого рівня її рентабельності:

$$N_{\text{г}} = C (1 + P_{\text{пр}} / 100) = 3\,118\,627,5 (1 + 15 / 100) = 3\,586\,421,63 \text{ грн.}$$

де $P_{\text{пр}}$ - рентабельність продукції, %.

Ціна облікової одиниці продукції визначається за формулою:

$$Ц = N_{\text{г}} / N_{\text{н}} = 3\,586\,421,63 / 51\,000 = 70,32 \text{ грн.}$$

Прибуток (Π) визначається як різниця між обсягом виробництва в грошовому виразі та повною собівартістю продукції:

$$\Pi = N_{\text{г}} - C = 3\,586\,421,63 - 3\,118\,627,5 = 467\,794,13 \text{ грн.}$$

Рентабельність виробництва ($P_{\text{в}}$) визначається відношенням прибутку до середньорічної

вартості виробничих фондів:

$$P_v = \Pi / \Phi_{\text{осн}} \cdot 100\% = 467\,794,13 / (320620,0 + 337428,12) \cdot 100 = 71\%$$

де $\Phi_{\text{осн}}$ - вартість основних фондів, грн.;

$\Phi_{\text{об}}$ - вартість нормативних обігових коштів, грн.

До нормованих обігових коштів включаються:

1. Виробничі запаси з основних та допоміжних матеріалів:

$$\Phi_M = C_M \cdot N_M / T_K = 2\,599\,731,0 \cdot 30 / 360 = 216\,644,25 \text{ грн.}$$

де C_M - сума річних витрат на основні та допоміжні матеріали, грн;

N_M - норматив запасів на матеріали, приймається строком в 30 днів;

T_K - календарний період у днях, дорівнює 360 днів.

2. Кошти в незавершеному виробництві:

$$\Phi_{\text{нв}} = (C_v \cdot T_{\text{ц}}) / T_K \cdot K_n = (3\,014\,848,2 \cdot 12) / 360 \cdot 0,5 = 50\,247,47 \text{ грн.}$$

де C_v - виробнича собівартість продукції грн;

$T_{\text{ц}}$ - норматив запасів в днях (приймається 12 днів);

K_n - коефіцієнт нарощування витрат, дорівнює 0,5.

3. Вартість запасних частин для устаткування:

$$\Phi_{\text{зч}} = \Phi_y \cdot 0,2 = 320\,620,0 \cdot 0,2 = 64\,124,0 \text{ грн.}$$

де Φ_y - вартість устаткування, грн.

4. Госпінвентар:

$$\Phi_{\text{м.г.}} = \Phi_y \cdot 0,02 = 320\,620,0 \cdot 0,0216\,412,4 \text{ грн.}$$

Загальна вартість нормованих обігових коштів дорівнює:

$$\Phi_{\text{об}} = \Phi_M + \Phi_{\text{нв}} + \Phi_{\text{м.г.}} = 216\,644,25 + 50\,247,47 + 64\,124,0 + 6\,412,4 = 337\,428,12 \text{ грн.}$$

Енергоємність облікової одиниці продукції ($E_{\text{од}}$) визначається відношенням загальної потреби в електроенергії для технологічних цілей до обсягу виробництва у натуральному виразі:

$$E_{\text{од}} = E / N_n = 6885,88 / 51000 = 0,1350 \text{ кВт}$$

де E - загальна потреба у електроенергії для технологічних цілей, кВт.

Рівень заробітної платні на облікову одиницю продукції ($P_{\text{з.п.}}$) визначається відношенням суми заробітної платні працюючих до обсягу виробництва у натуральному виразі:

$$P_{\text{з.п.}} = C_{\text{з.п.}} / N_n = 207\,624,55 / 51000 = 4,071 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{з.п.}}$ - сума заробітної платні працюючих, грн.

Продуктивність праці робітників розраховується у грошовому (B_r) та натуральному (B_n) виразі шляхом ділення обсягу виробництва на спискову чисельність основних та допоміжних робітників:

$$B_r = N_r / Ч_{\text{сп}} = 3\,586\,421,63 / 12 = 298\,868,46 \text{ грн.}$$

$$B_n = N_n / Ч_{\text{сп}} = 51\,000 / 12 = 4250 \text{ кг}$$

Фондовіддача основних фондів (Φ_v) розраховується у грошовому та натуральному виразі

через співвідношення обсягу виробництва до вартості основних фондів:

$$\Phi_B = N_r / \Phi_{\text{осн}} = 3\,586\,421,63 / 320\,620,0 = 11,19 \text{ грн.}$$

$$\Phi_B = N_n / \Phi_{\text{осн}} = 51\,000 / 320\,620,0 = 0,16 \text{ грн.}$$

Таблиця 13

Зведена таблиця економічних показників

№ п/п	Назва показників	Облікова одиниця	Величина показника
1	Випуск продукції в оптових цінах	тис.грн.	3 586,42
2	Випуск продукції в натуральному виразі	кг	51 000,00
3	Середньоспискова чисельність виробничого персоналу	чол.	12,00
4	Середньорічний виробіток на 1 працівника	грн.	298 868,46
5	Фонд зарплати	тис.грн.	207,62
6	Середньорічна зарплата 1 працівника	грн.	17 302,00
7	Витрати (собівартість, адміністративні та збутові витрати) на виготовлення продукції	тис.грн.	3 118,63
8	Витрати на 1 грн. товарної продукції	грн.	0,87
9	Вартість основних виробничих фондів	тис.грн.	320,62
10	Прибуток	тис.грн.	467,80
11	Рентабельність продукції	%	15,00

Була розрахована повна собівартість продукції, яка складає 3 118 627,5 грн; Розраховані такі економічні показники, як: собівартість облікової одиниці продукції (1 кілограм) - 61,15грн, ціна облікової одиниці продукції -70,32грн. Прибуток склав 467 794,13грн.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідної роботи

«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ І КОЛІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО ДВОШАРОВОГО БАНКНОТНОГО ПАПЕРУ НА ДРУКАРСЬКО-ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ БАНКНОТНИХ ВІДБИТКІВ»

за договором № 10-12-215 від 25.08.2010,
номер державної реєстрації 0111 U 008780

Акт складено про те, що в результаті виконання робіт згідно з договором № 10-12-215 від 25.08.2010, номер державної реєстрації 0111 U 008780 "Дослідження впливу структури, фізико-механічних і колірних характеристик нового двошарового банкнотного паперу на друкарсько-технічні властивості та якість банкнотних відбитків", котрий виконувався під науковим керівництвом доцента кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", к.т.н. Киричок Тетяни Юріївни було теоретично та експериментально досліджено вплив структури, фізико-механічних і колірних

характеристик двошарового банкнотного паперу, виготовленого за безформальдегідною технологією на друкарсько-технічні властивості та якість поліграфічної продукції спеціального призначення, розроблено рекомендації щодо колірних характеристик паперу в залежності від переважаючого кольору банкноти, реологічних властивостей фарб для покращення візуального сприйняття дизайну банкнот. На основі проаналізованих теоретичних засад запропоновано методика експериментальних досліджень, наведено порядок і умови їх проведення. В результаті даних досліджень було визначено фізико-технологічні характеристики одношарового та двошарового паперу для друку банкнот номіналом десять гривень.

Виявлено, що при нанесенні одного виду фарби при однакових технологічних умовах, колір відбитків на різному папері дещо відрізняється. Складові L^* , a^* , b^* колірної моделі CIE Lab відбитків на двошаровому папері є більш наближеними до складових L^* , a^* , b^* фарби. Таким чином, двошаровий папір дозволяє отримати відбитки з меншим колірним відхиленням відносно фарби, тобто забезпечити краще кольоровідтворення. Загалом, колірне відхилення між одно- та двошаровим папером при однаковій товщині фарбового шару є незначним – ΔE не більше трьох.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що фізико-технологічні та колірні характеристики паперів дещо відрізняються між собою.

Встановлено, що двошаровий папір має кращі міцнісні властивості порівняно з одношаровим (більшу кількість подвійних перегинів; більше руйнівне зусилля по машинному напрямку). Загалом, міцнісні показники двошарового паперу вищі ніж одношарового, особливо вздовж машинного напрямку відливу. Оскільки машинний напрямок відливу є паралельним до менших сторін банкноти, де у цьому ж напрямі в результаті перегинів та інших механічних впливів під час експлуатації відбувається деструкція паперової основи, можна стверджувати, що міцнісні характеристики банкнотного паперу по машинному напрямку відливу є вирішальними. Отже, висновком є те, що банкноти надруковані на двошаровому папері будуть довше перебувати в обігу, що сприятиме економії матеріалів та виробничих потужностей БМД.

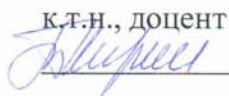
Очікуваний економічний ефект визначається обсягами продукції, що вироблятиметься, і становитиме 500 000 грн.

**Видавничо-поліграфічний інститут
НТУУ «КПІ»**

**Центр досліджень та розвитку
технологій Банкотно-
монетного двору Національного
банку України**

Науковий керівник:

к.т.н., доцент

 Киричок Т.Ю.

Директор, д.т.н., проф.



 Стародуб М. П.

Виконавці:

д.т.н., професор

 Киричок П.О.

Аспірант

 Клименко Т.Є.

Аспірант

 Талімонова Н.Л.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Перший проректор
НТУУ «КПІ»
акад. Якименко Ю. І.



ДОВІДКА

про впровадження у навчальний процес

Цим підтверджую авторський пріоритет на науковий доробок асистента кафедри технології поліграфічного виробництва Талімонової Надії Леонідівни у впровадженні положень дисертації в навчальному процесі підготовки фахівців на кафедрі технології поліграфічного виробництва ВПІ НТУУ «КПІ» за напрямом 0515 «Видавничо-поліграфічна справа» за кваліфікаційно-освітнім рівнем «бакалавр» у лекційному курсі, практичних та лабораторних заняттях дисципліни «Теорія кольору».

Заст. Директора ВПІ
з навчально-методичної роботи
к. е. н., доц.

Кваско А. В.

Додаток Б

Патенти





УКРАЇНА

(19) UA (11) 56679 (13) U
(51) МПК (2011.01)
D21H 27/00
B44F 1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЗАХИСНИЙ ЕЛЕМЕНТ ДЛЯ ЦІННИХ ДОКУМЕНТІВ

1

(21) u201007703
(22) 18.06.2010
(24) 25.01.2011
(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.
(72) КИРИЧОК ТЕТЯНА ЮРІВНА, МАЛКУШ НАДІЯ
ЛЕОНІДІВНА
(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-
ТУТ"

2

(57) 1. Захисний елемент для цінних документів,
який містить полімерну стрічку, який **відрізняється**
тим, що стрічка виконана змінної ширини.
2. Захисний елемент для цінних документів за п. 1,
який **відрізняється** тим, що найбільш вузька час-
тина захисного елемента розташована на кромках
цінного документа та перпендикулярно їм.

Корисна модель призначена для використання
у виробництві паперу для банкнот, цінних паперів і
т.д.

Близьким до корисної моделі за технічною
суттю є патент [EP № 0070172; МПК D21F11/00,
D21H1/08, D21H5/10, дата публікації 19.01.1983], в
якому описано спосіб виготовлення паперу із дов-
гим захисним елементом, що має проникні для
рідин ділянки у вигляді отворів. При включені в
паперову масу проникні області розміщуються в
товщі паперу, а непроникні виходять на ту чи іншу
сторону паперового полотна. Такий спосіб сприяє
кращому закріпленню захисного елемента в папе-
рі.

Недоліком даного способу є те, що для досяг-
нення кращого закріплення захисного елемента,
отвори мають пропускати не лише рідину, але і
волокна паперу, а при використанні стрічок шири-
ною 1,25...2 мм забезпечити необхідний розмір
отворів технологічно важко.

За найближчий аналог обрано патент [EP №
0536855; МПК B42D15/00, B41M3/14, дата публі-
кації 12.04.2000], в якому описано захисний еле-
мент для цінних документів, що представляє со-
бою прозору полімерну стрічку, яка має
металізовані або деметалізовані ділянки. Дані ді-
лянки утворені шляхом гарячого тиснення, вакуу-
мної металізації, способом друку металізованою
фарбою або хімічним травленням.

Недоліком даного способу є те, що не розгля-
нуто міцність закріплення захисного елемента на
кромці документу, де в першу чергу відбувається
розшарування та розрив паперової основи.

В основу корисної моделі поставлена задача
підвищити довговічність цінних документів шляхом
зміни форми захисного елемента. Поставлена
задача досягається тим, що захисний елемент для
цінних документів, який містить полімерну стрічку,
яка має металізовані або деметалізовані ділянки,
новим є те, що стрічка виконана змінної ширини;
найбільш вузька частина захисного елемента роз-
ташована на кромках цінного документа та перпе-
ндикулярно їм.

Корисна модель пояснюється кресленням, де
на Фіг. 1 схематично представлено захисний еле-
мент та цінний документ, що його містить. Захис-
ний елемент має максимально широкі ділянки 1 та
ділянки мінімальної ширини 2, які розміщуються з
кроком, що дорівнює висоті готового цінного доку-
менту 3. Перехід 4 від максимально широких до
найвузжчих ділянок може бути довільної форми,
наприклад, у формі рівнобедреної трапеції. Зву-
жені ділянки мають заходитись на кромці цінного
документу та перпендикулярно їй.

Застосування даної корисної моделі дозволить
уникнути проблем швидкого зносу цінних докумен-
тів на тих ділянках, де деструкція основи відбува-
ється в першу чергу.

(19) UA (11) 56679 (13) U

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 70071

ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ
ПОВЕРХНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.05.2012.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) UA (11) 70071 (13) U
(51) МПК
G07D 7/12 (2006.01)
G07D 7/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

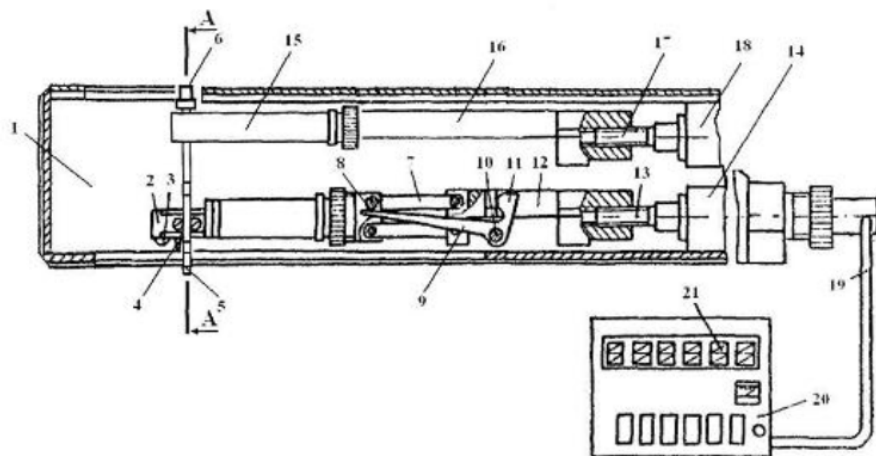
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 13516	(72) Винахідник(и): Киричок Тетяна Юріївна (UA), Шевчук Анатолій Васильович (UA), Талімонова Надія Леонідівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.11.2011	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.05.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2012, Бюл.№ 10	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

(57) Реферат:

Пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів містить корпус, датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок зі світловим табло, кулачковий важіль, додатково містить шкребок з регульованою силою притискання, вістря якого виготовлене з інструментального матеріалу та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки.



Фиг. 1

UA 70071 U

Корисна модель призначена для перевірки достовірності банкнот та цінних паперів, при виготовленні яких використовується інтаглюдрук.

Близьким до корисної моделі за технічною суттю є патент [UA №56607; МПК G01B5/28, G01B11/00 дата публікації 25.01.2011], який було взято за аналог. В патенті описано пристрій для вимірювання профілю поверхні паперу, що містить датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок із світловим табло, кулачковий важіль.

Недоліком даного пристрою є те, що ним неможливо перевірити механічну стійкість фарбового шару.

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою для визначення механічної стійкості фарбового шару, нанесеного способом інтаглюдруку, що підвищить надійність перевірки достовірності банкнот та цінних паперів.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів, що містить корпус, датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок зі світловим табло, кулачковий важіль додатково містить шкребок з регульованою силою притискання, вістря якого виготовлене з інструментального матеріалу, має V-подібне заточування з кутом у вершині від 20° до 120° та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки; кромка вістря шкребка паралельна до напрямку руху.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де на Фіг. 1 схематично представлено пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів, на Фіг. 2 - розріз А-А. Пристрій містить корпус 1, всередині якого розміщений рухомий стандартний датчик 2 з колодкою 3 і алмазною голкою 4, а також шкребок 5 з механізмом притискання 6.

Датчик з голкою встановлений на підвісах 7, які виконані у вигляді шарнірного паралелограма, верхню вісь 8 знизу підтримує плече 9 важеля, який встановлений на осі 10, друге плече важеля виконане у вигляді кулачка 11. Важіль являє собою комбінацію одноплечого важеля і кулачка, який обертається навколо нерухомої осі. Кулачок важеля встановлено з упором в вертикальну поверхню бокового вирізу повзуна 12 механізму трасування, внутрішньою різьбовою поверхнею з'єднаного з ходовим гвинтом 13, який обертається приводом 14 (мікроелектродвигун з редуктором). Повзун встановлений напрямними в корпусі з можливістю виконання прямолінійних рухів. За приводом в корпусі розміщений також каскад попереднього посилення сигналів датчика.

Колодку 15 встановлено з упором у вертикальну поверхню бокового вирізу повзуна 16, внутрішньою різьбовою поверхнею з'єднаного з ходовим гвинтом 17, який обертається приводом 18 (мікроелектродвигун з редуктором). Повзун встановлений напрямними в корпусі з можливістю виконання прямолінійних рухів.

За допомогою джгута 19 попередній посилювач сигналів датчика з'єднаний з електронним блоком 20, який оснащений світловим табло 21.

Заявлений пристрій працює у такий спосіб.

Встановлюється зусилля притискання шкребка 5 за допомогою механізму 6. При включенні приводу 14, обертанні ходового гвинта 13, повзун 12 по напрямних переміщується в корпус 1. Кулачок 11 і плече 9 важеля повертається відносно осі 10, а вісь 8 шарнірного паралелограма підвісів 7 під дією маси датчика 2 опускається разом з ним вниз, колодка 3 з алмазною голкою 4 стикаються з виміряною поверхнею, ковзаючи по ній на величину наступного трасування. Після цього включається реверс приводу 14 і повзун 12 повертається назад. За цей час виконується вимір шорсткості поверхні на шляху трасування, довжина якого становить 30 мм. Коливання алмазної голки 4 датчика 2 посилюється на каскаді попереднього посилення, а сигнали по джгуту 19 надходять для подальшої обробки в електронний блок 20 і виводяться на світлові табло 21. Після трасування поверхні на зворотному ході алмазної голки 4 повзун 12 своєю площиною бокового вирізу повертає кулачок 11 навколо осі 10, а плече 9 важеля підтримує вісь 8 піднімає датчик 2 вгору у корпус у вихідне положення, після чого привід виключається. На світлове табло 21 електронного блока 20 виводяться параметри шорсткості R_{a1} , R_{z1} , R_{max1} [ГОСТ 2789-81].

Після вимкнення приводу 14, включають привід 18, що приводить до обертання ходового гвинта 17 та руху повзуна 16, колодки 15 та шкребка 5. Після проходження зразка шкребком у зворотному напрямку, привід 18 вимикається.

При повторному ввімкненні приводу 14 відбувається аналогічне повторне трасування алмазною голкою після дії шкребка, внаслідок чого на світлове табло 21 електронного блока 20 виводяться параметри шорсткості R_{a2} , R_{z2} , R_{max2} .

В результаті порівняння даних, отриманих після першого та другого проходження алмазної голки, роблять висновок про справжність інтагліодруку та про механічну стійкість шару фарби. При порівняльному аналізі оперують наступними параметрами: ΔR_a , ΔR_z , ΔR_{max} ,

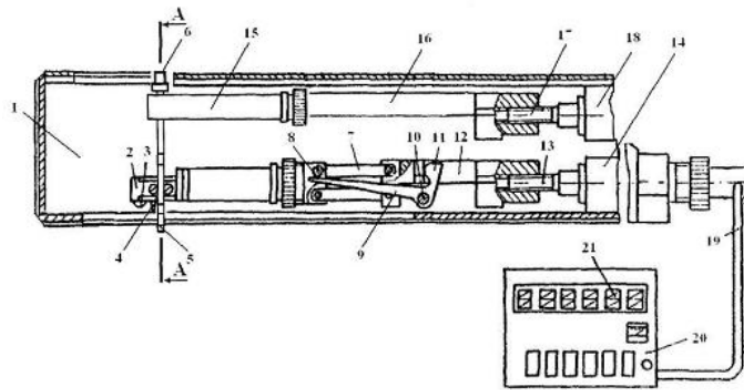
де $\Delta R_a = |R_{a1} - R_{a2}|$; $\Delta R_z = |R_{z1} - R_{z2}|$; $\Delta R_{max} = |R_{max1} - R_{max2}|$.

- 5 Якщо значення ΔR_a , ΔR_z , ΔR_{max} є більшими ніж гранично допустимі, то ставлять під сумнів справжність інтагліодруку та роблять висновок про недостатню механічну стійкість фарби на відбитку та наявність фальсифікації.

- 10 Застосування даної корисної моделі дозволить перевіряти механічну стійкість фарбового шару, нанесеного способом інтагліодруку на цінних паперах, що дозволить зробити висновки щодо їх справжності.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 15 1. Пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів, що містить корпус, датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок зі світловим табло, кулачковий важіль, який відрізняється тим, що додатково містить шкребок з регульованою силою притискання, вістря якого виготовлене з інструментального матеріалу та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки.
- 20 2. Пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів за п. 1, який відрізняється тим, що вістря шкребка має V-подібне заточування з кутом у вершині від 20° до 120°, кромка якого паралельна до напрямку руху.



Фіг. 1

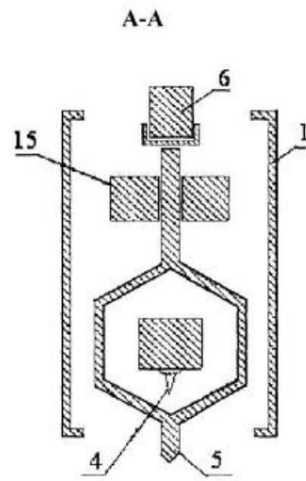


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток В

Протокол перевірки якості сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2011 року автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000

“Погоджено”
Заступник начальника відділу
контролю якості БМД НБУ


Є.І.Кривий

“13” 06 2015р.

“Затверджую”

Заступник директора Банкнотної
фабрики-начальник виробничого відділу



О. М. Глієвий

“13” 06 2015р.

ПРОТОКОЛ перевірки якості сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2015 року автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000 (зав. № 195)

23 червня 2015 року було проведено перевірку якості сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2015 року автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000 (зав. № 195).

Для проведення перевірки були відібрані 225 000 банкнот з масиву “DN” (масив, що не проходив контроль після друкування).

Сортування банкнот проводилось за всіма параметрами, зазначеними у контракті К-3858 від 18.11.2008 р.

Швидкість обробки – 100 000 банкнот/год.

З метою проведення оцінки якості сортування під час роботи системи кожна сота придатна банкнота масиву направлялася до спеціального укладальника, всі непридатні банкноти – до аудиторного укладальника та кишені повернення.

Обандеролення та пакування проходило відповідно до технічної специфікації системи.

По закінченню робіт була проведена оцінка адаптації системи до сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2015 року. Результати машинного сортування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Найменування масиву	Кількість
Загальна кількість проконтрольованих. банкнот (прим.)	225 000
Кількість банкнот, визначених машиною придатними (прим., %)	221 045 (98,2 %) в т.ч. 2 210 зі спец. укл.
Кількість банкнот, визначених машиною непридатними (прим., %)	3 955 (1,8 %) в т.ч. 847 з кишені повернення

На дільниці був проведений візуальний переконтроль масиву придатних банкнот зі спеціального укладальника та банкнот, визначених системою непридатними. Результати переконтролю наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Найменування масиву	Кількість
Кількість переконтрольованих придатних банкнот (прим.)	2 210
Кількість непридатних банкнот в придатних (прим.)	0
Кількість переконтрольованих непридатних банкнот (прим.)	3 955
Кількість придатних банкнот в непридатних по відношенню до всієї кількості проконтрольованих системою банкнот (прим., %)	121 (0,05 %)

Перевірка якості банкнот вибірки з масиву придатних показала, що всі ці банкноти по показниках якості відповідають вимогам, встановленим ТУУ 22.2-21575489-003:2008 “Банкноти. Технічні вимоги до виконання”.

Перевірка непридатних банкнот на відповідність вимогам вищезазначеного ТУ (таблиця 1) показала, що в даному масиві наявні такі відхилення від встановлених показників якості:

- невідповідна якість інтаглію друку – 21,14 %;
- невідповідна якість нумерації – 3,36 %;
- несуміщення офсету та інтаглію – 2,35 %;
- перебивання інтаглію – 11,74 %;
- перебивання нумерації – 0,67 %;
- зміщення нумерації – 1,68 %;
- невідповідність положення водяного знаку – 1,01 %;
- невідповідність положення стрічки – 12,08 %;
- невідповідна якість порізки – 10,40 %;
- перевищення допустимої норми сторонніх включень в папері – 14,09 %;
- виміряні значення машинозчитуваних характеристик нижчі за встановлені у конфігурації – 4,03 %;
- непродрукування офсетного зображення – 4,07 %;
- відхилення кольору відбитка від затвердженого зразка банкноти – 3,74 %;
- тініння фарби – 1,89 %;
- фарбові плями – 0,43 %;
- невідповідність товщини ліній – 3,01 %;
- двоїння офсетного зображення – 0,93 %;
- відсутність чіткого розмежування кольорів (орловський друк) – 1,36 %;
- непродрукування на ділянці водяного знаку – 1,69 %;
- перебивання фарби на зворот – 0,36 %.

Висновки

Результати перевірки якості сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2015 року автоматизованою системою контролю якості банкнот BPS 2000 (зав. №195) такі.

1. Обладнання працює без збоїв.
2. Придатна продукція відповідає вимогам ТУУ 22.2-21575489-003:2008 “Банкноти. Технічні вимоги до виконання”.
3. Автоматизована система контролю якості банкнот BPS 2000 (зав. №195) адаптована для сортування банкнот номіналом 50 гривень випуску 2015 року.

Начальник технологічного відділу



Д. А. Андросюк

Інженер першої категорії
відділу контролю якості БМД



О. М. Корольчук

Головний фахівець технологічного відділу



О. В. Юденкова

Заступник начальника цеху обробки продукції



Б. І. Дрізд

Додаток Г

Параметр шорсткості R_a суміжних ділянках паперу

Таблиця Г.1

Параметр шорсткості R_a суміжних ділянках паперу

Ділянка паперу	Лицьова сторона				Сіткова сторона			
	Вимірювання парал. напр. відливу		Вимірювання перпенд. напр. відливу		Вимірювання парал. напр. відливу		Вимірювання перпенд. напр. відливу	
	R_a	ΔR_a	R_a	ΔR_a	R_a	ΔR_a	R_a	ΔR_a
Папір Security lune								
Негативний ВЗ; без фарби	1,762	0,017	2,883	1,342	3,659	0,946	3,334	1,428
Без ВЗ; без фарби	1,745		1,541		2,713		1,906	
Негативний ВЗ; С	1,883	0,319	1,412	0,255	2,57	0,593	2,465	0,252
Без ВЗ; С	1,564		1,157		1,977		2,213	
Негативний ВЗ; М	1,984	0,182	2,055	0,083	2,933	0,183	2,245	0,224
Без ВЗ; М	1,802		1,972		2,75		2,021	
Негативний ВЗ; У	1,483	0,429	2,276	1,199	2,336	-0,15	2,283	1,058
Без ВЗ; У	1,054		1,077		2,486		1,225	
Негативний ВЗ; К	1,688	-0,214	1,525	-0,077	2,538	0,323	2,8	0,342
Без ВЗ; К	1,902		1,602		2,215		2,458	
Папір Filidoro laid avorio								
Негативний ВЗ; без фарби	3,938	0,455	2,605	1,277	2,171	-0,295	3,208	1,225
Без ВЗ; без фарби	3,483		1,328		2,466		1,983	
Негативний ВЗ; С	3,14	0,619	2,515	-0,368	2,436	-0,361	1,541	-0,824
Без ВЗ; С	2,521		2,883		2,797		2,365	
Негативний ВЗ; М	2,225	0,097	2,84	0,19	2,077	-0,199	1,507	0,159
Без ВЗ; М	2,128		2,65		2,276		1,348	
Негативний ВЗ; У	2,406	0,045	1,984	0,824	2,887	1,272	2,908	1,354
Без ВЗ; У	2,361		1,16		1,615		1,554	
Негативний ВЗ; К	2,793	-0,184	2,47	0,218	1,967	0,059	2,049	-0,021
Без ВЗ; К	2,977		2,252		1,908		2,07	
Папір Chimere la hulpe								
Негативний ВЗ; без фарби	2,017	-0,258	2,102	0,987	2,897	0,964	2,524	0,989
Без ВЗ; без фарби	2,275		1,115		1,933		1,535	
Негативний ВЗ; С	2,214	0,705	2,221	0,374	1,804	0,482	1,859	0,11
Без ВЗ; С	1,509		1,847		1,322		1,749	
Негативний ВЗ; М	2,514	1,082	1,916	0,558	1,722	-0,285	2,206	0,201
Без ВЗ; М	1,432		1,358		2,007		2,005	
Негативний ВЗ; У	2,277	0,118	1,912	0,906	1,845	-0,454	2,263	0,987
Без ВЗ; У	2,159		1,006		2,299		1,276	
Негативний ВЗ; К	2,683	0,712	2,249	0,112	1,582	-0,221	2,241	0,035
Без ВЗ; К	1,971		2,137		1,803		2,206	

Додаток Д

Оптична густина відбитків та їх звороту

Таблиця Д.1

Оптична густина відбитків та їх звороту

№ п / п	Назва паперу	Сторона аркуша	Ділянка паперу	Структурні характеристики			Оптична густина відбитка (D)				Оптична густина звороту відбитка (D звор.)			
				Ra	D пр	T	C	M	Y	K	C	M	Y	K
1	Security lunc	Лицьова стор.	Негатив. вод. знак	2,883	0,44	0,072	0,97	0,95	0,77	1,12	0,22	0,23	0,34	0,25
			Без вод. знаку	1,541	0,53	0,093	1,14	1,12	0,95	1,22	0,08	0,18	0,27	0,15
		Сіткова стор.	Негатив. вод. знак	3,334	0,44	0,072	0,91	0,98	0,71	1,02	0,23	0,25	0,32	0,25
			Без вод. знаку	1,906	0,53	0,093	1,21	1,01	0,85	1,24	0,09	0,15	0,27	0,15
2	Filidoro laid avorio	Лицьова стор.	Негатив. вод. знак	2,605	0,47	0,091	0,85	0,97	0,85	1,04	0,17	0,25	0,35	0,24
			Позитив. вод. знак	1,328	0,51	0,104	1,26	1,3	1,01	1,22	0,07	0,12	0,3	0,14
		Сіткова стор.	Негатив. вод. знак	3,208	0,47	0,091	0,92	0,92	0,75	1,01	0,16	0,24	0,35	0,24
			Позитив. вод. знак	1,983	0,51	0,104	1,28	1,13	1,13	1,21	0,03	0,11	0,3	0,11
3	Chimere la hulpe	Лицьова стор.	Негатив. вод. знак	2,102	0,45	0,069	1,04	1,02	0,76	1,11	0,14	0,22	0,35	0,19
			Без вод. знаку	1,115	0,5	0,086	1,26	1,12	1,11	1,32	0,09	0,15	0,25	0,14
		Сіткова стор.	Негатив. вод. знак	2,524	0,45	0,069	1,05	0,91	0,79	1,06	0,15	0,19	0,33	0,22
			Без вод. знаку	1,535	0,5	0,086	1,19	1,22	0,98	1,18	0,1	0,14	0,28	0,15

Додаток Ж

Експериментальні дані визначення структурних характеристик паперу та
колірних характеристик матеріалів та звороту відбитків

Таблиця Ж.1

Структурні характеристик паперу, колірні характеристики матеріалів та звороту відбитків,
отримані експериментальним шляхом (початок)

№ п/п	$\Delta E_{\text{пап./фар}}$	Кількість фарби, г/м ²	Ra, мкм	D _{пр}	T, мм	$\Delta E_{\text{пап/звор}}$
1	84,13	5,09	1,541	0,54	0,089	4,02
2	84,13	5,09	2,883	0,45	0,073	10,82
3	84,13	5,20	1,541	0,54	0,089	4,66
4	84,13	5,20	2,883	0,45	0,073	7,66
5	84,13	4,87	1,541	0,54	0,089	4,54
6	84,13	4,87	2,883	0,45	0,073	10,09
7	84,13	4,65	1,541	0,54	0,089	5,03
8	84,13	4,65	2,883	0,45	0,073	9,78
9	84,13	4,21	1,541	0,54	0,089	4,46
10	84,13	4,21	2,883	0,45	0,073	9,15
11	80,95	5,32	1,541	0,54	0,089	4,45
12	80,95	5,32	2,883	0,45	0,073	7,21
13	80,95	4,65	1,541	0,54	0,089	4,51
14	80,95	4,65	2,883	0,45	0,073	10,26
15	80,95	4,76	1,541	0,54	0,089	4,40
16	80,95	4,76	2,883	0,45	0,073	8,47
17	80,95	4,32	1,541	0,54	0,089	5,01
18	80,95	4,32	2,883	0,45	0,073	6,78
19	80,95	3,99	1,541	0,54	0,089	4,81
20	80,95	3,99	2,883	0,45	0,073	6,33
21	80,95	5,65	1,541	0,54	0,089	5,83
22	80,95	5,65	2,883	0,45	0,073	10,51
23	80,95	5,43	1,541	0,54	0,089	4,16
24	80,95	5,43	2,883	0,45	0,073	6,62
25	80,95	4,98	1,541	0,54	0,089	4,87
26	80,95	4,98	2,883	0,45	0,073	8,02
27	80,95	4,43	1,541	0,54	0,089	5,09
28	80,95	4,43	2,883	0,45	0,073	5,48
29	80,95	4,10	1,541	0,54	0,089	5,07
30	80,95	4,10	2,883	0,45	0,073	6,40
31	84,13	5,43	1,906	0,54	0,089	5,70
32	84,13	5,43	3,334	0,45	0,073	8,17
33	84,13	5,32	1,906	0,54	0,089	4,79
34	84,13	5,32	3,334	0,45	0,073	9,00
35	84,13	4,87	1,906	0,54	0,089	4,96
36	84,13	4,87	3,334	0,45	0,073	9,45
37	84,13	4,43	1,906	0,54	0,089	4,65
38	84,13	4,43	3,334	0,45	0,073	10,29

Структурні характеристик паперу, колірні характеристики матеріалів та звороту відбитків, отримані експериментальним шляхом (продовження)

№ п/п	$\Delta E_{\text{пап./фар}}$	Кількість фарби, г/м ²	Ra, мкм	D _{пр}	T, мм	$\Delta E_{\text{пап/звор}}$
39	84,13	6,31	1,906	0,54	0,089	4,68
40	84,13	6,31	3,334	0,45	0,073	11,22
41	84,13	5,32	1,906	0,54	0,089	5,07
42	84,13	5,32	3,334	0,45	0,073	9,31
43	84,13	4,87	1,906	0,54	0,089	5,27
44	84,13	4,87	3,334	0,45	0,073	8,67
45	84,13	4,54	1,906	0,54	0,089	5,20
46	84,13	4,54	3,334	0,45	0,073	9,45
47	84,13	4,10	1,906	0,54	0,089	5,20
48	84,13	4,10	3,334	0,45	0,073	9,45
49	80,95	4,87	1,906	0,54	0,089	4,73
50	80,95	4,87	3,334	0,45	0,073	7,35
51	80,95	4,65	1,906	0,54	0,089	5,04
52	80,95	4,65	3,334	0,45	0,073	7,08
53	80,95	4,32	1,906	0,54	0,089	4,32
54	80,95	4,32	3,334	0,45	0,073	8,47
55	80,95	3,54	1,906	0,54	0,089	4,83
56	80,95	3,54	3,334	0,45	0,073	10,70
57	80,95	3,65	1,906	0,54	0,089	4,11
58	80,95	3,65	3,334	0,45	0,073	10,47
59	80,95	5,87	1,906	0,54	0,089	4,51
60	80,95	5,87	3,334	0,45	0,073	11,19
61	80,95	5,43	1,906	0,54	0,089	5,09
62	80,95	5,43	3,334	0,45	0,073	10,45
63	80,95	4,98	1,906	0,54	0,089	4,93
64	80,95	4,98	3,334	0,45	0,073	7,19
65	80,95	4,76	1,906	0,54	0,089	4,29
66	80,95	4,76	3,334	0,45	0,073	8,05
67	80,95	4,21	1,906	0,54	0,089	5,03
68	80,95	4,21	3,334	0,45	0,073	7,29
69	84,74	6,53	2,741	0,57	0,079	3,49
70	84,74	6,53	2,057	0,64	0,088	0,45
71	84,74	6,53	3,128	0,5	0,074	5,74
72	84,74	6,20	2,741	0,57	0,079	3,54
73	84,74	6,20	2,057	0,64	0,088	0,98
74	84,74	6,20	3,128	0,5	0,074	5,98
75	84,74	5,43	2,741	0,57	0,079	3,35
76	84,74	5,43	2,057	0,64	0,088	2,32
77	84,74	5,43	3,128	0,5	0,074	5,96
78	84,74	4,76	2,741	0,57	0,079	3,65
79	84,74	4,76	2,057	0,64	0,088	0,41
80	84,74	4,76	3,128	0,5	0,074	5,40
81	84,74	3,77	2,741	0,57	0,079	3,49
82	84,74	3,77	2,057	0,64	0,088	0,82
83	84,74	3,77	3,128	0,5	0,074	4,15
84	81,29	5,54	2,741	0,57	0,079	2,87

Структурні характеристик паперу, колірні характеристики матеріалів та звороту відбитків, отримані експериментальним шляхом (продовження)

№ п/п	$\Delta E_{\text{пап./фар}}$	Кількість фарби, г/м ²	Ra, мкм	D _{пр}	T, мм	$\Delta E_{\text{пап/звор}}$
85	81,29	5,54	2,057	0,64	0,088	2,23
86	81,29	5,54	3,128	0,5	0,074	5,41
87	81,29	5,20	2,741	0,57	0,079	3,33
88	81,29	5,20	2,057	0,64	0,088	2,71
89	81,29	5,20	3,128	0,5	0,074	5,51
90	81,29	4,98	2,741	0,57	0,079	3,60
91	81,29	4,98	2,057	0,64	0,088	2,56
92	81,29	4,98	3,128	0,5	0,074	5,34
93	81,29	4,65	2,741	0,57	0,079	3,64
94	81,29	4,65	2,057	0,64	0,088	1,67
95	81,29	4,65	3,128	0,5	0,074	5,27
96	81,29	4,43	2,741	0,57	0,079	2,80
97	81,29	4,43	2,057	0,64	0,088	1,00
98	81,29	4,43	3,128	0,5	0,074	6,22
99	84,74	4,21	2,92	0,57	0,079	3,51
100	84,74	4,21	2,317	0,64	0,088	2,69
101	84,74	4,21	3,175	0,5	0,074	6,80
102	84,74	4,10	2,92	0,57	0,079	3,79
103	84,74	4,10	2,317	0,64	0,088	1,05
104	84,74	4,10	3,175	0,5	0,074	5,93
105	84,74	3,65	2,92	0,57	0,079	3,97
106	84,74	3,65	2,317	0,64	0,088	1,91
107	84,74	3,65	3,175	0,5	0,074	5,86
108	84,74	3,99	2,92	0,57	0,079	3,42
109	84,74	3,99	2,317	0,64	0,088	2,09
110	84,74	3,99	3,175	0,5	0,074	6,31
111	81,29	4,43	2,92	0,57	0,079	3,22
112	81,29	4,43	2,317	0,64	0,088	1,31
113	81,29	4,43	3,175	0,5	0,074	6,12
114	81,29	4,21	2,92	0,57	0,079	3,31
115	81,29	4,21	2,317	0,64	0,088	0,73
116	81,29	4,21	3,175	0,5	0,074	4,24
117	81,29	3,88	2,92	0,57	0,079	2,85
118	81,29	3,88	2,317	0,64	0,088	2,17
119	81,29	3,88	3,175	0,5	0,074	6,41
120	81,29	3,77	2,92	0,57	0,079	3,03
121	81,29	3,77	2,317	0,64	0,088	1,30
122	81,29	3,77	3,175	0,5	0,074	4,60
123	81,29	3,21	2,92	0,57	0,079	2,74
124	81,29	3,21	2,317	0,64	0,088	1,70
125	81,29	3,21	3,175	0,5	0,074	4,64
126	87,45	6,09	2,682	0,62	0,082	4,11
127	87,45	5,54	2,682	0,62	0,082	3,54
128	87,45	5,43	3,227	0,62	0,082	3,45
129	87,45	4,98	3,227	0,62	0,082	3,91
130	84,62	6,31	3,227	0,62	0,082	3,11

Структурні характеристик паперу, колірні характеристики матеріалів та звороту відбитків, отримані експериментальним шляхом (продовження)

№ п/п	$\Delta E_{\text{пап./фар}}$	Кількість фарби, г/м ²	Ra, мкм	D _{пр}	T, мм	$\Delta E_{\text{пап/звор}}$
131	84,62	5,43	3,227	0,62	0,082	3,81
132	84,62	5,09	3,227	0,62	0,082	3,99
133	84,62	5,20	2,682	0,62	0,082	3,67
134	87,45	5,65	3,227	0,62	0,082	3,37
135	87,45	5,54	3,227	0,62	0,082	3,87
136	87,45	5,32	2,682	0,62	0,082	3,97
137	87,45	5,20	2,682	0,62	0,082	3,46
138	87,45	4,87	2,682	0,62	0,082	3,65
139	84,62	6,31	2,682	0,62	0,082	4,13
140	84,62	5,65	3,227	0,62	0,082	3,64
141	84,62	5,43	3,227	0,62	0,082	3,90
142	84,62	5,32	3,227	0,62	0,082	3,65
143	84,62	4,87	3,227	0,62	0,082	3,55
144	81,97	5,32	2,77	0,72	0,058	2,25
145	81,97	5,20	2,77	0,72	0,058	2,11
146	81,97	4,76	2,77	0,72	0,058	2,23
147	81,97	4,65	2,77	0,72	0,058	2,31
148	81,97	4,43	2,77	0,72	0,058	2,31
149	78,79	5,20	2,77	0,72	0,058	2,36
150	78,79	4,87	2,77	0,72	0,058	2,39
151	78,79	4,87	2,77	0,72	0,058	2,49
152	78,79	4,65	2,77	0,72	0,058	1,76
153	78,79	4,54	2,77	0,72	0,058	2,35
154	85,79	6,67	2,403	1,01	0,171	0,96
155	85,79	5,83	2,403	1,01	0,171	0,91
156	85,79	5,37	2,403	1,01	0,171	0,77
157	85,79	4,63	2,403	1,01	0,171	0,81
158	88,6	5,28	2,477	1,01	0,171	0,77
159	88,6	5,00	2,477	1,01	0,171	0,89
160	88,6	4,81	2,477	1,01	0,171	0,66
161	68,04	1,30	3,37	0,78	0,109	3,09
162	68,04	1,52	3,37	0,78	0,109	3,50
163	68,04	1,86	3,37	0,78	0,109	3,53
164	68,04	2,33	3,37	0,78	0,109	4,14
165	68,04	2,60	3,37	0,78	0,109	5,33
166	68,13	1,25	3,27	0,76	0,107	3,49
167	68,13	1,49	3,27	0,76	0,107	3,61
168	68,13	1,86	3,27	0,76	0,107	3,84
169	68,13	2,33	3,27	0,76	0,107	5,05
170	68,13	2,60	3,27	0,76	0,107	6,56
171	72,11	1,30	3,37	0,78	0,109	3,69
172	72,11	1,49	3,37	0,78	0,109	3,90
173	72,11	1,67	3,37	0,78	0,109	4,10
174	72,11	2,23	3,37	0,78	0,109	6,11
175	72,11	2,57	3,37	0,78	0,109	6,78
176	72,08	1,30	3,27	0,76	0,107	4,17

Структурні характеристик паперу, колірні характеристики матеріалів та звороту відбитків, отримані експериментальним шляхом (закінчення)

№ п/п	$\Delta E_{\text{пап./фар}}$	Кількість фарби, г/м ²	Ra, мкм	D _{пр}	T, мм	$\Delta E_{\text{пап/звор}}$
177	72,08	1,49	3,27	0,76	0,107	4,19
178	72,08	1,77	3,27	0,76	0,107	4,65
179	72,08	2,20	3,27	0,76	0,107	6,46
180	72,08	2,52	3,27	0,76	0,107	6,94
181	67,05	1,12	3,37	0,78	0,109	5,79
182	67,05	1,77	3,37	0,78	0,109	6,03
183	67,05	1,86	3,37	0,78	0,109	6,10
184	67,05	2,05	3,37	0,78	0,109	6,13
185	67,05	2,51	3,37	0,78	0,109	6,53
186	67,05	2,88	3,37	0,78	0,109	6,74
187	67,25	1,40	3,27	0,76	0,107	6,34
188	67,25	1,58	3,27	0,76	0,107	6,38
189	67,25	2,23	3,27	0,76	0,107	6,61
190	67,25	2,51	3,27	0,76	0,107	6,65
191	67,25	2,79	3,27	0,76	0,107	6,79
192	68,12	0,95	3,18	0,61	0,064	4,03
193	68,12	0,95	2,65	0,79	0,091	3,74
194	68,12	0,95	2,29	0,91	0,117	1,26
195	68,12	1,25	3,18	0,61	0,064	4,76
196	68,12	1,25	2,65	0,79	0,091	3,97
197	68,12	1,25	2,29	0,91	0,117	1,92
198	68,12	1,75	3,18	0,61	0,064	5,24
199	68,12	1,75	2,65	0,79	0,091	4,11
200	68,12	1,75	2,29	0,91	0,117	2,24
201	68,12	2,41	3,18	0,61	0,064	6,09
202	68,12	2,41	2,65	0,79	0,091	4,83
203	68,12	2,41	2,29	0,91	0,117	2,83