

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СУХІНА ЄЛИЗАВЕТА ГЕННАДІЇВНА

УДК 655.3.066.36

ДИСЕРТАЦІЯ
КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ БАНКНОТ

05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ Є. Г. Сухіна

Науковий керівник: Киричок Тетяна Юріївна, д. т. н., проф.

АНОТАЦІЯ

Сухіна Є. Г. Комплексна оцінка якості банкнот. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва. – **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України.** – **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, м. Київ, 2018.**

У дисертаційній роботі представлено комплексний технологічний процес забезпечення якості банкнотних відбитків. Актуальність теми зумовлена високими вимогами до збереження якості банкнот в обігу, що проявляється забезпеченням стійкості основи та її поліграфічного оформлення, а також збереженням захисних ознак упродовж усього терміну їх перебування в обігу, з урахуванням постійного зростання тиражів банкотної продукції у світі.

Якість банкотної продукції визначається показниками захищеності, розпізнаваності, машиночитаності, естетичного сприйняття та технологічності, що мають бути притаманні банкнотам упродовж усього часу їхнього перебування в обігу. Збереження цих ознак виражається показником зносостійкості. Оскільки контроль показників якості та їхньої зміни під час обігу мають свої особливості, зумовлені різними фізико-механічними, фізико-хімічними та оптичними властивостями різних структурних елементів, це впливає на якість сортувальних процесів банкнот. Зносостійкість банкотної продукції забезпечується на всіх етапах її виробництва, на кожному з яких отримують набір контрольованих ознак, що в результаті формують зносостійкий комплекс готової банкноти. Він, на думку вчених,

найбільше залежить від характеристик основи, а також технологічних параметрів її поліграфічного оформлення. Результати досліджень зносостійкості банкнот, а саме впливу технологічних параметрів на зміну показників зношеності, досліджено в роботах Т. Киричок, Р. Коезе, П. Маркуса, П. Балка, А. Шевчука, Я. Геузбрука та інших учених.

Відбраковування придатної до обігу банкотної продукції під час сортувальних процесів може відбуватися через розбіжності структурних та поверхневих характеристик банкотного паперу й неврахування допусків друкарських процесів офсетного та металографічного методів друкування, а також за рахунок неточностей коригування допусків під час налаштування сортувального обладнання, що відбувається суб'єктивним експертним чином.

У дисертації проаналізовано показники якості банкотної продукції, визначено їх особливості. Досліджено впливи, що діють на банкноти в обігу, та механізми й ознаки зношення банкнот. Проаналізовано процеси контролю зношеності банкнот. Визначено, що зношеність банкнот можливо визначати за великим переліком ознак і показників, котрі характеризують різні аспекти зношеності з різною точністю. Єдиний показник зношеності відсутній. Тому визначення зносостійкості банкнот потребує урахування багатьох показників зношеності із формуванням комплексного показника зносостійкості. Проаналізовано засоби імітації зношування банкнот і виявлено, що ступінь достовірності штучного зношення банкнот української гривні невідомий і потребує з'ясування. Проаналізовано технологічні особливості металографічного друку, який є надзвичайно важливим для забезпечення як захищеності, так і зносостійкості банкотної продукції. Для забезпечення високого рівня зносостійкості української гривні потребують з'ясування питання стійкості фарбового рельєфу металографічного друку в обігу. Проаналізовано стан наукових досліджень щодо електрофізичних властивостей паперу та з'ясовано, що

механізм формування електрофізичних властивостей банкнотного паперу та банкнот як готових виробів, котрі перебувають в складних умовах зношування, досі не вивчався.

У результаті проведених досліджень розроблено методологію оцінювання показників зношеності банкнот на основі створеного алгоритму із застосуванням елементів кластерного аналізу з відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану зношеності банкнот з урахуванням їхнього кроскореляційного зв'язку з результатами суб'єктивного контролю зношеності банкнот за допомогою експертного оцінювання.

На основі аналізу чинників впливу на банкноти в обігу створено модель технологічного процесу штучного зношування банкнот, що, із залученням вперше запропонованої узагальненої інформаційної моделі процесу визначення зношеності банкнот з дезагрегуванням технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності на функціональні складники, дає змогу нормувати технологічні режими та допуски імітації зношування з метою відтворення реальних процесів зношування в їхнього імітаційних умовах урахуванням питомої частки пошкоджень банкнот у реальному обігу та допусків на їхні значення;

З метою контролю якості рельєфу металографічного друку творено моделі формування електрофізичних характеристик відбитків металографічного друку, які дозволяють пояснити механізм формування електрофізичних властивостей фарбових шарів металографічного друку, встановити залежності поверхневого та об'ємного опорів зразків від параметрів штрихів і таким чином визначити об'єм фарби на відбитках, що дозволяє з використанням запропонованої логічно-структурної схеми побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості металографічного друку через контроль фарбоперенесення з використанням електрофізичних показників відбитків встановити норми фарбоперенесення за заданих параметрів гравійованих елементів

друкарських форм металографічного друку, а також контролювати стійкість шару металографічного друку банкнот у процесі зношування.

У результаті проведення експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність використання електрофізичних показників банкнот як критеріїв зношеності та оцінювання впливу технологічних параметрів виготовлення на показник зносостійкості. У процесі дослідження банкнот з обігу встановлено уніфіковане значення показника об'ємного опору банкнот, як показника зношеності для всіх номіналів банкнот української гривні, на рівні 300 ± 50 МОм. Дослідження електрофізичних показників експериментальних зразків банкнот свідчить, що використання металографічного друку підвищує опір паперу в 1,75 разу через ущільнення структури паперу, яке виникає за рахунок тиску в друкарській парі. Зміни параметрів тиску та швидкості друкування не призводять до подальших змін у дослідному інтервалі.

В результаті проведених досліджень удосконалено технологічний процес сортування з метою визначення непридатних до обігу банкнот, із використанням контактного модуля визначення поверхневого та об'ємного опорів банкнот з метою зниження рівня браку сортувальних процесів та спеціально створеного програмного забезпечення для коригування меж допусків параметрів контролю зношування банкнот для автоматизованого сортування через встановлення обґрунтованих порогових значень вимірюваних показників зношеності в процесі роботи сортувального обладнання з періодичним переналаштовуванням за рахунок зведеного електрофізичного показника зношеності, що дозволить на 24–32 % скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу.

Ключові слова: банкноти, контроль якості, електрофізичні характеристики банкнот, зношування банкнот, зносостійкість банкнот.

SUMMARY

Sukhina Ye. Comprehensive quality assessment of the banknotes. – Manuscript.

The thesis is for getting a degree of engineering sciences candidate in 05.05.01 specialty – «Machines and Processes of Printing Production» from **National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**. – **National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv, 2018.**

In the dissertation the complex technological process of quality assurance of banknotes is presented. The urgency of the topic is determined by high requirements for maintaining the quality of banknotes in circulation, which is manifested by ensuring the stability of the basis and its printing, as well as the preservation of protective features throughout their stay in circulation, taking into account the constantly growing circulation of banknote products in the world.

The quality of banknote products is determined by the indicators of security, recognition, machine readability, aesthetic perception and manufacturability, which must be inherent on banknotes throughout their stay in circulation. Preservation of these signs is expressed as a measure of wear resistance. Since the control of quality indices and their change during circulation have their own characteristics due to different physico-mechanical, physico-chemical and optical properties of different structural elements, this affects the quality of banknote sorting processes. The durability of banknote products is provided at all stages of its production, each of which receives a set of controlled characteristics, which, as a result, form a durable complex of ready-made banknotes. According to scientists, most of that depends on the characteristics of the basis, as well as the technological parameters of its printing. The results of studies on the wear resistance of banknotes, namely,

the influence of technological parameters on the change in wear indicators, have been investigated in many works.

The dissertation analyzes the quality indicators of banknote products, their features are determined. The influence on banknotes in circulation and the mechanisms and signs of banknote deterioration are investigated. The processes of controlling the deterioration of banknotes are analyzed. It is determined that the deterioration of banknotes can be determined by a large list of signs and indicators that characterize various aspects of deterioration with different accuracy. Therefore, the definition of deterioration resistance of banknotes requires taking into account many indicators of wear and tear with the formation of a comprehensive index of deterioration resistance. The means of imitation of banknotes deterioration were analyzed and it was found that the degree of authenticity of artificial deterioration of banknotes of the Ukrainian hryvnia is unknown and needs to be clarified. The technological features of the intaglioprinting are analyzed, which is extremely important for ensuring both security and deterioration resistance of banknote products. In order to ensure a high level of deterioration resistance of the Ukrainian hryvnia, it is necessary to clarify the issue of the stability of the color relief of the intaglioprinting in circulation. The state of scientific researches on electrophysical properties of paper was analyzed and it was found that the mechanism of formation of electrophysical properties of banknote paper and banknotes as finished products, which are in difficult conditions of deterioration, has not been studied yet.

As a result of the conducted research, a methodology for evaluating the indicators of banknote deterioration on the basis of the created algorithm of cluster analysis, software is developed. The algorithm allows to determine the authenticity and accuracy of the results of assessing the state of deterioration of banknotes, taking into account their cross-correlation with the results of subjective control of deterioration of banknotes with the help of expert evaluation.

On the basis of the analysis of the factors of influence on the banknote in circulation, a model of the process of artificial deterioration of banknotes has been created. The information model of the process of determining the deterioration of banknotes by disaggregation of the technological process of evaluating the complex indicator of deterioration on functional components, allows to normalize technological regimes and imitations tolerances deterioration in order to reproduce the real processes of deterioration in their simulation conditions taking into account the proportion of damage en banknotes in circulation and the real tolerances on their values;

In order to control the quality of the intaglioprinting, models of the formation of the electrophysical characteristics of the prints of the intaglioprinting were created, which allow to explain the mechanism of formation of the electrophysical properties of the dye layers of the intaglioprinting, to establish the dependence of the surface and volume impedance of the samples on the stroke parameters and thus determine the amount of paint on the imprints, which allows using the proposed logical-structural scheme for the construction of a complex technological process of quality assurance intaglioprinting by controlling ink settings using electrophysical indicators.

As a result of conducting experimental research the feasibility of using electrophysical indicators of banknotes as deterioration criteria and estimating the influence of parameters on the deterioration resistance index has been substantiated. In the process of studying banknotes from circulation, the unified value of the indicator of the volume resistance of banknotes as a deterioration index for all denominations of banknotes of the Ukrainian hryvnia is set at the level of $300 \pm 50 \text{ M}\Omega$. The study of electrophysical indices of experimental banknotes suggests that the use of a intaglioprinting enhances paper resistance by 1,75 times due to paper structure compaction, which occurs due to pressure in the printing pair. Changes in pressure and speed settings do not result in further changes in the test interval.

As a result of the conducted research, the technological process of sorting was improved with the purpose of determining banknotes unsuitable for circulation, using a contact module for determining the surface and volume resistance of banknotes in order to reduce the level of shortage of sorting processes and specially created software for adjusting the tolerance limits of banknote deterioration control parameters for automated sorting through the establishment of reasonable threshold values of measurable indicators of deterioration in the process of sorting allowing for 24-32% reduction in unjustified withdrawal of banknotes from circulation.

Keywords: banknotes, quality control, electrophysical characteristics of banknotes, banknotes deterioration, durability of banknotes.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kyrychok T. Research of electrophysical parameters of banknote paper and banknotes / T. Kyrychok, S. Havenko, P. Kyrychok, Y. Sukhina, Z. Kazhmuratov// – Przegląd Papierniczy – 2016. – № 72. – С. 50–54.

(іноземне видання)

Авторкою підготовлено методичку проведення експериментальних досліджень та виконано експериментальні дослідження.

2. Киричок Т. Ю. Влияние износа на электрофизические параметры банкнот / Т. Ю. Киричок, В. М. Кириленко, Е. Г. Сухина // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. – М., 2013. – № 6. – С. 3–12.

(іноземне видання)

Авторкою розроблено методичку проведення експерименту та виконано експериментальні дослідження, зроблено висновки.

3. Киричок Т.Ю. Дослідження зміни характеристик зразків банкнот під час імітації зношування / Т. Ю. Киричок, В. М. Нестеренко, Є. Г. Сухина, О. В. Гуца // Технологія і техніка друкарства. – Київ, 2012. – № 4 (38). – С. 4–25. Авторкою проведено аналіз отриманих результатів, зроблено висновки.

4. Киричок Т. Ю. Вплив фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних відбитків / Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухина, О. В. Гуца // Технологія і техніка друкарства. – Київ, 2014. – № 2 (44). – С. 4–22. Авторкою проведено аналіз отриманих результатів, зроблено висновки.

5. Киричок Т. Ю. Методологія дослідження якості штрихів металографічного друку за допомогою профілографування поверхні відбитків / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца, Є. Г. Сухина, М. В. Пінчук // Технологія і техніка друкарства. – Київ, 2015. – № 2 (48). – С. 4–14.

Авторкою побудовано профілограми поверхні відбитків з різними профілями штрихів металографічного друку, зроблено висновки.

6. Киричок Т. Ю. Комплексне оцінювання чутливості електрофізичних показників зношування банкнот / Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухіна, Ж. Т. Кажмуратов // Технологія і техніка друкарства. – Київ, 2016. – № 3 (53). – С. 4–14. *Авторкою підготовлено методологію проведення експериментальних досліджень.*

7. Пат. № 102351 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00, G01N 27/22 (2006.01). Спосіб оцінки зношеності банкнот / Киричок Т. Ю., Сухіна Є. Г., Гуща О. В.; заявник і патентовласник Киричок Т. Ю., Сухіна Є. Г., Гуща О. В.; №u201504060; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 26.10.2015 р. – бюл. № 20. *Авторкою запропоновано використання точкових електродів для вимірювання спаду напруги.*

8. Пат. № 103510 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00. Метод випробування, що імітує процес зношування банкнот / Киричок Т. Ю., Гуща О. В., Сухіна Є. Г.; заявник і патентовласник Т. Ю. Киричок, О. В. Гуща, Є. Г. Сухіна; №u201504058; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 25.12.2015 р. – бюл. № 24. *Авторкою запропоновано склад та дозування забруднювальних компонентів зношування.*

9. Пат. № 118347 Україна, МПК (2016.01) G07D 7/12; G07D 7/20. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтагліодруку / Т. Ю. Киричок, Ж. Т. Кажмуратов, О. В. Коротенко, Н. Л. Талімонова, Д. С. Булатов, Є. Г. Сухіна; заявник і патентовласник Киричок Т. Ю.; № U 201612816; заявл. 16.12.2016 р.; опублік. 10.08.2016 р. – бюл. № 15. *Авторкою запропоновано розташування систем вимірювання профілю поверхні.*

10. Сухіна Є. Г. Дослідження механізмів забруднення паперових банкнот / Є. Г. Сухіна // Друкарство молоде: доповіді XIII Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2013. – С. 54–55.

11. Sukhina Ye. Influence of deterioration on volume and surface resistivity of banknote production/ Ye. Sukhina // Друкарство молоде: доповіді XIV Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2014. – № 2. – С. 13.

12. Киричок Т. Ю. Дослідження факторів, що впливають на зношування паперових банкнот / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца, Є. Г. Сухіна // Технологія і техніка друкарства: новітні технології і обладнання поліграфії: Міжнар. наук.-техн. семінар студентів і аспірантів, професорсько-викладацького складу. – Київ, 2013. – С. 3–4. *Авторкою проведено літературний огляд за темою дослідження.*

13. Сухіна Є. Г. Дослідження точності показників зношеності банкнот / Є. Г. Сухіна // Друкарство молоде: доповіді XIII Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2017. – С. 54.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1	28
СТАН, ПРОБЛЕМИ І НАПРЯМКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАНКНОТНОЇ ПРОДУКЦІЇ В ОБІГУ	28
1.1 Причини та наслідки формування зношеності банкнот	28
1.2 Дослідження стану зношеності банкнот та придатності методів його оцінювання	34
1.2.1 Імітування факторів зношування банкнот в обігу.....	34
1.3 Проблеми автоматизованого сортування банкнот	43
1.3.1 Технічне забезпечення моніторингу та вилучення непридатних банкнот з обігу у системі Національного банку України.....	43
1.3.2 Проблеми автоматизованого сортування банкнот	45
Висновки до розділу 1	47
РОЗДІЛ 2	49
КОНЦЕПТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ БАНКНОТ ПІД ЧАС ЗНОШУВАННЯ	49
2.1 Моделювання технологічного процесу штучного зношування банкнот	49
2.2 Інформаційне моделювання технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності.....	63
2.3 Моделювання формування електрофізичних властивостей відбитків металографічного друку	69
Висновки до розділу 2	77
РОЗДІЛ 3	79
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	79

3.1 Загальні умови проведення експериментальних досліджень.....	79
3.2 Особливості технологічного процесу виготовлення досліджуваних зразків.....	80
3.2.1 Методика проведення експертного оцінювання стану зношеності банкнот.....	85
3.3 Методика штучного зношування експериментальних зразків.....	86
3.4 Методика проведення експериментальних досліджень зміни показників якості банкнот у процесі зношування.....	90
3.4.1 Розробка способу та пристрою для визначення стану зношеності банкнот.....	91
3.4.2 Методика проведення досліджень характеристик фарбового рельєфу металографічного друку.....	93
3.5 Методика оброблення експериментальних даних.....	95
3.5.1 Методика оцінювання показників зношення.....	96
Висновки до розділу 3	99
РОЗДІЛ 4.....	101
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	101
4. 1 Зміна маси та оптичних показників банкнот внаслідок зношування... ..	101
4. 2 Зміна електрофізичних показників банкнот внаслідок зношування	103
4. 3 Дослідження показників якості фарбового рельєфу металографічного друку.....	109
4.3.1 Дослідження стійкості фарбового рельєфу металографічного друку	117
4. 4 Визначення ступеню відповідності показників зношування до результатів оцінювання стану зношеності користувачами банкнотної продукції	119

Висновки до розділу 3	121
РОЗДІЛ 5	124
5.1 Алгоритм та програмне забезпечення прогнозування фарбоперенесення металографічного друку	124
5.2 Система технологічного забезпечення якості металографічного друку через контроль показника фарбоперенесення на відбитках	127
5.3 Система технологічного забезпечення побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості сортувальних процесів	129
5.2.3 Система коригування коригування критичних меж допусків показників зношеності.....	129
5.2.3 Система комплексного технологічного процесу забезпечення якості сортувальних процесів через коригування критичних меж допусків показників зношеності.....	135
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	140
ДОДАТКИ.....	158
Додаток А	
Акти впровадження у виробничий та навчальний процес.....	159
Додаток Б	
Патенти.....	162
Додаток В	
Фотографії досліджуваних зразків	181
Додаток Г	
Параметри друкарської форми металографічного друку	182

ДОДАТОК Д

Програмний код, який визначає програмне забезпечення визначення точності позників зношення 183

ДОДАТОК Ж

Результати експериментальних досліджень профілографування поверхні зразків металографічного друку 189

ДОДАТОК З

Результати експериментальних досліджень впливу геометричних параметрів гравійованих штрихів друкарських форм металографічного друку на характер їх електрофізичних параметрів 193

ДОДАТОК И

Програмний код, який визначає програмне забезпечення для коригування критичних меж показників зношування сортувальних процесів 199

ДОДАТОК К

Інтерфейс програмного забезпечення визначення показника фарбоперенесення металографічного друку 201

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$w_{ав}$ – абсолютна кутова швидкість компонентів зношення в момент відриву;

V_{ϵ} – швидкість руху шару компонентів зношення в тангенціальному напрямі;

P – тиск середовища;

μ – коефіцієнт внутрішнього тертя;

r – внутрішній радіус барабана імітатора зношування;

$r_{зовн}$ – зовнішній радіус барабана імітатора зношування;

m_{soil} – маса розподіленого шару забруднювальних речовин, що осідає на банкнотах у процесі зношування;

μ_0 – коефіцієнт зчеплення, що залежить від умов перебігу процесу (швидкість обертання барабану імітатора і характеристик контактуючих поверхонь);

n – кількість циклів зношування;

p_1 – концентрація банкнот в об'ємі барабана імітатора зношування;

l_0 – коефіцієнт, що враховує розподіл забруднювальних компонентів по поверхні зношувальних агентів та поверхні барабана;

m_i – маса забруднюючих речовин, що додається за 1 цикл зношування;

V_{rel} – відносна швидкість обтікання банкнот зношувальними агентами;

S_b – площа поверхні банкноти.

$v_{ав}$ – абсолютна швидкість компонентів зношення в момент відриву;

R_{fiber} – електричний опір целюлозних волокон банкнотної основи;

$R_{str el}$ – електричний опір захисних включень паперу (синтетичних волокон, металізованих волокон, захисних стрічок тощо);

R_{pores} – електричний опір пор паперу, що заповнені повітрям;

$R_{surface sizing}$ – електричний опір, що визначаються речовинами поверхневого проклеювання;

$R_{volume\ sizing}$ – електричний опір, що визначаються речовинами об'ємного проклеювання;

R_{ink} – електричний опір, що визначається характеристиками фарбових шарів;

R_{soil} – електричний опір, що визначається адсорбованими поверхнею паперу забрудненнями;

R_v – вхідний електричний опір вольтметра;

R_b – електричний опір ділянки банкноти;

V_{ink} – загального об'єм фарби металографічного друку на відбитку

i – кількість штрихів металографічного друку у вимірюваній зоні;

ρ_p – питомий поверхневий опір фарби металографічного друку;

a, h – ширина та висота штриха металографічного друку;

β – кут нахилу бічної грані штриха;

l_p – еквівалентна довжина шару проникнення фарби в папір;

$h_{penetration}$ – еквівалентна висота шару проникнення фарби в папір;

h_p – товщина паперу;

a – висота штриха металографічного друку;

h – висота штриха металографічного друку;

R_{paper} – об'ємний електричний опір пор паперу;

$R_b^{surface}$ – поверхневий електричний опір банкноти;

R_b^{volume} – об'ємний електричний опір банкноти;

δ_x – функціональний допуск на відхилення,

v_x – коефіцієнт варіації;

V_k – критична швидкість обертання барабану імітатора зношування банкнот;

V – швидкість друкування;

ШНМ – штучні нейронні мережі.

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена високими вимогами до збереження якості банкнот в обігу, що проявляється забезпеченням стійкості основи та її поліграфічного оформлення, а також збереженням захисних ознак упродовж усього терміну їх перебування в обігу, з урахуванням постійного зростання тиражів банкотної продукції у світі.

Якість банкотної продукції визначається показниками захищеності, розпізнаваності, машиночитаності, естетичного сприйняття та технологічності, що мають бути притаманні банкнотам упродовж усього часу їхнього перебування в обігу. Збереження цих ознак виражається показником зносостійкості. Оскільки контроль показників якості та їхньої зміни під час обігу мають свої особливості, зумовлені різними фізико-механічними, фізико-хімічними та оптичними властивостями різних структурних елементів, це впливає на якість сортувальних процесів банкнот. Зносостійкість банкотної продукції забезпечується на всіх етапах її виробництва, на кожному з яких отримують набір контрольованих ознак, що в результаті формують зносостійкий комплекс готової банкноти. Він, на думку вчених, найбільше залежить від характеристик основи, а також технологічних параметрів її поліграфічного оформлення. Результати досліджень зносостійкості банкнот, а саме впливу технологічних параметрів на зміну показників зношеності, досліджено в роботах Т. Киричок, Р. Коезе, П. Маркуса, П. Балка, А. Шевчука, Я. Геузбрука та інших учених. Процеси фізичного старіння целюлозної основи, що перебувають у тісній кореляції з процесом загального зношування банкнот, відображені в роботах К. Феллерсе, Д. Флятте, Т. Іверсена, Т. Ліндстрема, Т. Нільсона та ін.

Відбраковування придатної до обігу банкотної продукції під час сортувальних процесів може відбуватися через розбіжності структурних

та поверхневих характеристик банкотної папери й неврахування допусків друкарських процесів офсетного та металографічного методів друкування, а також за рахунок неточностей коригування допусків під час налаштування сортувального обладнання, що відбувається суб'єктивним експертним чином.

Зважаючи на значну кількість компонентів технологічного процесу виготовлення та беручи до уваги зазначені недоліки наявних теоретичних і практичних підходів до оцінювання якості банкнот через контроль їх зношеності, можна вважати, що науково-технічне завдання прогнозування збереження показників якості банкнот в обігу з урахуванням допусків технологічного процесу їх виготовлення має важливе практичне значення та є актуальним. Утілення його в життя вимагає розвитку відомих і розробки нових методів забезпечення та оцінювання показників якості банкотної продукції в процесі обігу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконувалася на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Банкотно-монетному дворі Національного банку України (БМД НБУ) і є складовою частиною досліджень за господарськими договорами:

№ 12.07.98 від 27.04.2012 «Дослідження факторів, які впливають на зносостійкість банкнот, виготовлених на двошаровому папері» (номер державної реєстрації 0112 U 005296), в якому автор дисертації брала участь у розробці методики проведення експериментальних, теоретичних досліджень та проведенні обробки й аналізу отриманих експериментальних даних;

№ 13.07.78 від 25.03.2013 «Дослідження впливу фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні

властивості банкнотних відбитків» (номер державної реєстрації 0113 U 004832), в якому автор дисертації брала участь у розробці та проведенні експериментальних досліджень щодо контролю зношеності шару металографічного друку, що виконаний фарбами різної рецептури;

№ 14-07-117 від 16.04.2014 «Дослідження впливу геометричних параметрів друкарських елементів інтагліо форм на друкарсько-технічні властивості відбитків» (номер державної реєстрації 0115 U 005170), у якому автором дисертації було розроблено спеціальну методику контролю якості штрихів металографічного друку на відбитку та контролю зміни їхньої форми під час зношування за рахунок стирання фарби металографічного друку.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи – встановити закономірності впливу нового комплексного технологічного процесу забезпечення контролю якості банкотної продукції на паперовій основі у процесі зношування на стабільність і прогнозованість показників якості банкнот в обігу з урахуванням допусків технологічного процесу її виготовлення.

1. Дослідити механізми зношування банкнот та розробити нові методи оцінювання стану зношеності банкнот.
2. Створити комплексну інформаційну модель оцінювання рівня зношеності банкотної продукції, що виготовляється на паперовій основі.
3. Розробити комплексну методику проведення теоретичних та експериментальних досліджень з метою визначення об'єктивності використання показників для оцінювання ступеня зношеності.
4. На основі теоретичних та експериментальних досліджень процесів зношування банкнот здійснити моделювання процесу їх штучного зношування з метою визначення норм і допусків для цього технологічного процесу.

5. На основі теоретичних засад контролю зношеності банкнот у поєднанні з визначенням їхніх електрофізичних властивостей розробити комплексний технологічний процес контролю фарбоперенесення на відбитках металографічного друку та контролю зміни товщини фарбового шару металографічного друку, що виникає у процесі зношування банкнот.

6. Розробити алгоритм та програмне забезпечення процесу визначення точності показників зношеності банкнот.

7. Розробити систему технологічного забезпечення визначення ступеня зношеності банкнот з метою імплементації в сортувальні процеси задля мінімізації помилок автоматизованого контролю якості банкнот.

8. Результати експериментальних і теоретичних досліджень комплексного технологічного процесу впровадити на підприємствах галузі та в навчальний процес.

Об'єктом досліджень є технологічні процеси виготовлення, експлуатації та сортування банкнотної продукції.

Предметом досліджень є взаємозв'язок технологічних параметрів металографічного друку з якістю банкнотної продукції та методи визначення зношеності та параметрів фарбового рельєфу.

Методи досліджень.

Поставлені завдання вирішувалися комплексно, через проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Перші з них ґрунтуються на основних засадах технології поліграфічного виробництва, матеріалознавства, фізичної хімії, другі – на використанні стандартних та спеціально розроблених методик із застосуванням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури. Для обробки експериментальних даних застосовувалися методи математичної статистики, регресійного аналізу,

технології великих даних, теорії ймовірності та планування експерименту, спеціально розроблене програмне забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання забезпечення якості банкотної продукції, в результаті чого:

уперше:

- створено модель технологічного процесу штучного зношування банкнот, що, із залученням уперше запропонованої узагальненої інформаційної моделі процесу визначення зношеності банкнот із дезагрегуванням технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності на функціональні складники, дає змогу нормувати технологічні режими та допуски імітації зношування з метою відтворення його реальних процесів в імітаційних умовах з урахуванням питомої частки пошкоджень банкнот у реальному обігу та допусків на їх значення;

- розроблено систему контролю параметрів технологічного процесу сортування з метою зниження рівня браку сортувальних процесів, яка базується на імплементації зведеного електрофізичного показника зношеності як критерію коригування параметрів зношування, що, із залученням вперше запропонованої логічно-структурної схеми технологічного забезпечення якості сортувальних процесів, дозволяє уникнути необґрунтованого вилучення банкнот з обігу;

- розроблено методологію оцінювання показників зношеності банкнот на основі створеного алгоритму із застосуванням елементів кластерного аналізу, що дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану зношеності банкнот з урахуванням їх кроскореляційного зв'язку з результатами суб'єктивного контролю зношеності банкнот за допомогою експертного оцінювання;

удосконалено:

- модель формування поверхневого та об'ємного опорів банкнот, у результаті чого створено моделі формування електрофізичних характеристик відбитків металографічного друку, які дозволяють пояснити механізм формування електрофізичних властивостей фарбових шарів металографічного друку, встановити залежності поверхневого та об'ємного опорів зразків від параметрів штрихів і таким чином визначити об'єм фарби на відбитках, що, із залученням уперше запропонованої логічно-структурної схеми побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості металографічного друку через контроль фарбоперенесення з використанням електрофізичних показників відбитків, дозволяє встановити норми фарбоперенесення за заданих параметрів штрихів друкарських форм металографічного друку, а також контролювати стійкість фарбового шару металографічного друку банкнот у процесі зношування.

набули подальшого розвитку:

- еквівалентні електричні схеми задрукованого різними видами друку банкнотного паперу, які враховують волоконний склад паперу, поверхнєве й об'ємне проклеювання, захисні елементи, а також зношеність, що дозволяє, із залученням уперше отриманих експериментальних залежностей електрофізичних властивостей відбитків від технологічних режимів металографічного та офсетного друку, властивостей паперу, а також зношеності, прогнозувати якість банкнотної продукції, у тому числі в процесі експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Удосконалено технологічний процес сортування з метою виявлення непридатних до обігу банкнот з використанням контактного модуля визначення поверхневого та об'ємного опорів банкнот та спеціально створеного програмного забезпечення для коригування меж допусків параметрів контролю зношення банкнот для автоматизованого

сортування за допомогою встановлення обґрунтованих порогових значень вимірюваних показників зношеності у процесі роботи сортувального обладнання з періодичним переналаштуванням за рахунок зведеного електрофізичного показника зношеності, що дозволить на 24–32 % скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу.

2. Розроблено алгоритм та відповідний програмний продукт визначення достовірності результатів оцінювання ступеня зношеності банкнот, який може застосовуватись як під час досліджень, так і в процесі сортування банкнот в обробних комплексах.

3. Визначено вплив технологічних факторів металографічного друку (швидкості, тиску в друкарській парі) та параметрів гравійованих елементів друкарських форм на електрофізичні властивості відбитків, що дозволяє визначити показник фарбоперенесення та унормувати параметри фарбового рельєфу за рахунок вхідного коригування технологічних режимів друкування та додрукарської підготовки друкарських форм.

4. Запропоновано виробничі заходи забезпечення унормованого процесу сортування банкнот з метою врахування сумарних допусків критеріїв їх зношування.

5. Запропоновано конструктивні рішення пристрою, оцінювання зношеності банкнот, пристрою для контролю механічної стійкості фарбового шару металографічного друку, а також удосконалено методику штучного зношування банкнот з метою забезпечення адекватної деградації їх характеристик під час імітації процесу зношування. Новизну запропонованих технічних рішень захищено патентами на корисну модель України № 118347, № 102351 та № 103510 відповідно.

6. Розроблено технологічні рекомендації щодо контролю вологості паперових матеріалів, які забезпечують економічний ефект у розмірі 47, 54 тис. грн та 42, 23 тис. грн від їх впровадження у виробництво за рахунок зменшення кількості браку матеріалів, що

підтверджено актом впровадження на Державному підприємстві «Київська офсетна фабрика» та в Державному видавництві «Преса України» Державного управління справами.

7. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського під час проведення лабораторних та практичних робіт з дисциплін «Захист інформації в поліграфії» та «Поліграфічне матеріалознавство».

Особистий внесок здобувача.

Робота є результатом самостійних досліджень здобувачки, передбачених обраною тематикою.

У публікаціях у співавторстві здобувачці належить: [1, 2, 9] – підготовлено методологію проведення експериментальних досліджень та проведено експериментальні дослідження; [3] – запропоновано використання точкових електродів для вимірювання спаду напруги; [4] – запропоновано склад та дозування забруднювальних компонентів зношування; [5] – запропоновано розташування систем вимірювання профілю поверхні; [6, 7] – розроблено методику візуальної оцінки зношеності фарбових шарів металографічного друку; [8] – побудовано профілограми поверхні відбитків з різними профілями штрихів металографічного друку, зроблено висновки.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення роботи доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях та семінарах: Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Друкарство молоде», м. Київ, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 рр.; «Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі», м. Київ, 2013, 2014 рр.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях, з

них 2 у міжнародних фахових наукометричних виданнях, 3 патенти України на корисну модель, 4 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

РОЗДІЛ 1

СТАН, ПРОБЛЕМИ І НАПРЯМКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАНКНОТНОЇ ПРОДУКЦІЇ В ОБІГУ

1.1 Причини та наслідки формування зношеності банкнот

Науковці визначають, що процес зношування банкноти визначається поступовою зміною її властивостей під дією чинників, що впливають на неї у процесі обігу, або під час експериментальних випробувань. В результаті дії даних чинників відбувається повна або часткова втрата банкнотами свої властивостей.

Зношеність банкноти як результат – стан, котрий характеризується втратою (повною чи частковою) властивостей через перебування в обігу чи в певних умовах випробувань [1].

Дослідження, спрямовані на виявлення причин та наслідків зношування проводяться науковцям всього світу [5-7, 8-10]. Основною причиною виникнення стану зношеності банкнот визначено забруднення, що виявляється у формуванні на поверхні та в товщі банкнотної основи розподіленого шару внаслідок її контакту з людськими пальцями [5]. Цей факт пояснюється тим, що даний контакт здійснюється під певним кутом та з певною силою, що є основним чинником перенесення бруду на поверхню банкноти та його подальшим адсорбуванням. Накопичення бруду на банкнотах має найбільш інтенсивний акумулятивний ефект у місцях механічних пошкоджень (розриви, згини тощо).

Однак, досі не систематизовано фактори, що обумовлюють зношування банкнот, з позиції інтенсивності їх впливу на банкноти, що, впливає на дослідження визначення якості обігових властивостей банкнот.

На рис. 1.1 представлено узагальнену схему механізму формування зношеності банкнот.

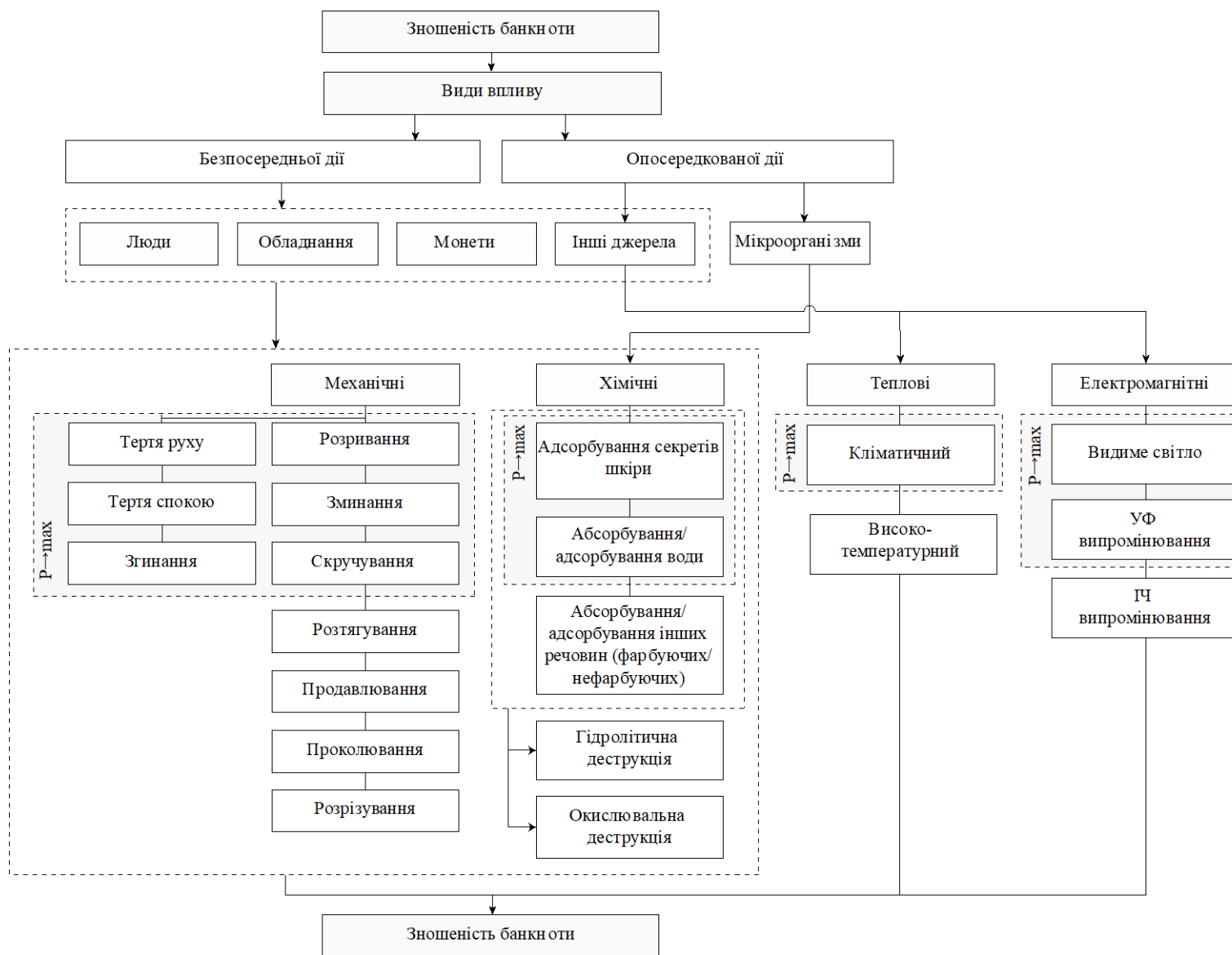


Рис. 1.1. Удосконалена схема механізму формування зношеності банкноти

Дані щодо змін показників зношеності банкнот української гривні досліджені у працях [1, 17, 18, 93]. Визначено вплив технологічних параметрів виготовлення банкнот на характер зміни їх властивостей в обігу. Крім того визначено, що зношеність банкнот можна досліджувати за низкою параметрів, котрі характеризують зношеність банкнот з різною точністю. Необхідним є встановлення точності показників зношення та визначення їх спорідненості з показниками стану зношеності, що визначаються користувачами банкнотної продукції.

1.2 Контроль ознак зношеності банкнот

Ознаки пошкодження банкнот внаслідок перебування їх в обігу встановлюють під час оброблення грошової маси в банківських установах, установах центральних банків, під час досліджень на банкнотних виробництвах в межах системи життєвого циклу банкнот, зокрема і в Україні (рис. 1.2). Так, протягом життєвого циклу з моменту виготовлення та уведення в обіг НБУ банкноти, циркулюючи через банківську систему, торгівельні організації та серед населення та зазнаючи зношування, підлягають періодичному контролю автентичності, а також сортуванню з метою встановлення зношених та придатних до подальшого обігу.

Дані процеси можна пояснити численними причинами: необхідністю заміни готівкової маси в обігу через її зношування, необхідністю оптимізації технологічних процесів виготовлення та раціонального вибору матеріалів для збільшення зносостійкості банкнот за рахунок підвищення стійкості банкнот до забруднень, загального зношування та, частково, механічних пошкоджень і пошкоджень захисних елементів, а також забезпечення сортування готівки для

банкоматів (АТМ), які потребують банкнот високої якості щодо зношування [3].

Процес сортування проводиться з метою виявлення зношених банкнот в обігу апаратним способом (із використанням спеціалізованого обладнання), візуальним, а також комбінацією цих способів [155,159]. Під час оброблення готівки контролюють ознаки зношування та пошкодження, що виражені механічними пошкодженнями, показниками локального та загального забруднення, а також загального зношення.

Дослідження банкнот, що перебували в умовах реального обігу, є основою для висновків щодо зносостійкості банкнот в цілому, розподілу банкнот за якістю в готівковій масі, а також кореляції між режимами обробки банкнот в імітаторах зношування та реальним станом банкнот у відповідний період. Дані щодо основних причин виведення банкнот внаслідок зношування дещо різняться для різних країн. Так, фахівці фірми Louisenthal – одного зі світових виробників банкнотного паперу, з'ясували, що 81 % банкнот виводиться з обігу внаслідок забруднення, 9% – внаслідок механічних пошкоджень, 5% – внаслідок сторонніх написів (графіті), 4% – внаслідок загального зношення, 1% – внаслідок пошкодження захисних елементів. Подібними є дані банків різних країн щодо причин вилучення банкнот з обігу: за даними Банку Нідерландів (DNB), 70 % банкнот виводиться з обігу внаслідок забруднення, 30% – внаслідок механічних пошкоджень (25% – загнуті чи відірвані кутики, 5% – надриви (розриви)); за даними Банку Колумбії, 80% банкнот вилучається внаслідок забруднення, 20% – внаслідок всіх інших причин. Отже, не менше 60% банкнот у світі виводиться з обігу внаслідок загального забруднення. Такий поділ є схематичним, оскільки пошкодження, що є причиною виведення банкнот з обігу, є взаємопов'язаними та зазвичай наявні на банкнотах одночасно [1, 94, 3].

Моніторинг, вилучення та знищення непридатних для обігу банкнот є завданням НБУ, а саме Генерального департаменту регулювання грошового обігу та Центрального сховища НБУ [10]. Метою моніторингу НБУ є вилучення несправжніх та забруднених і пошкоджених в обігу банкнот, отримання статистичних даних щодо вилучення для планової заміни готівкової маси. Сорткування з метою встановлення зношених та придатних до подальшого обігу здійснюється також установами банків на основі нормативних документів [12, 11].

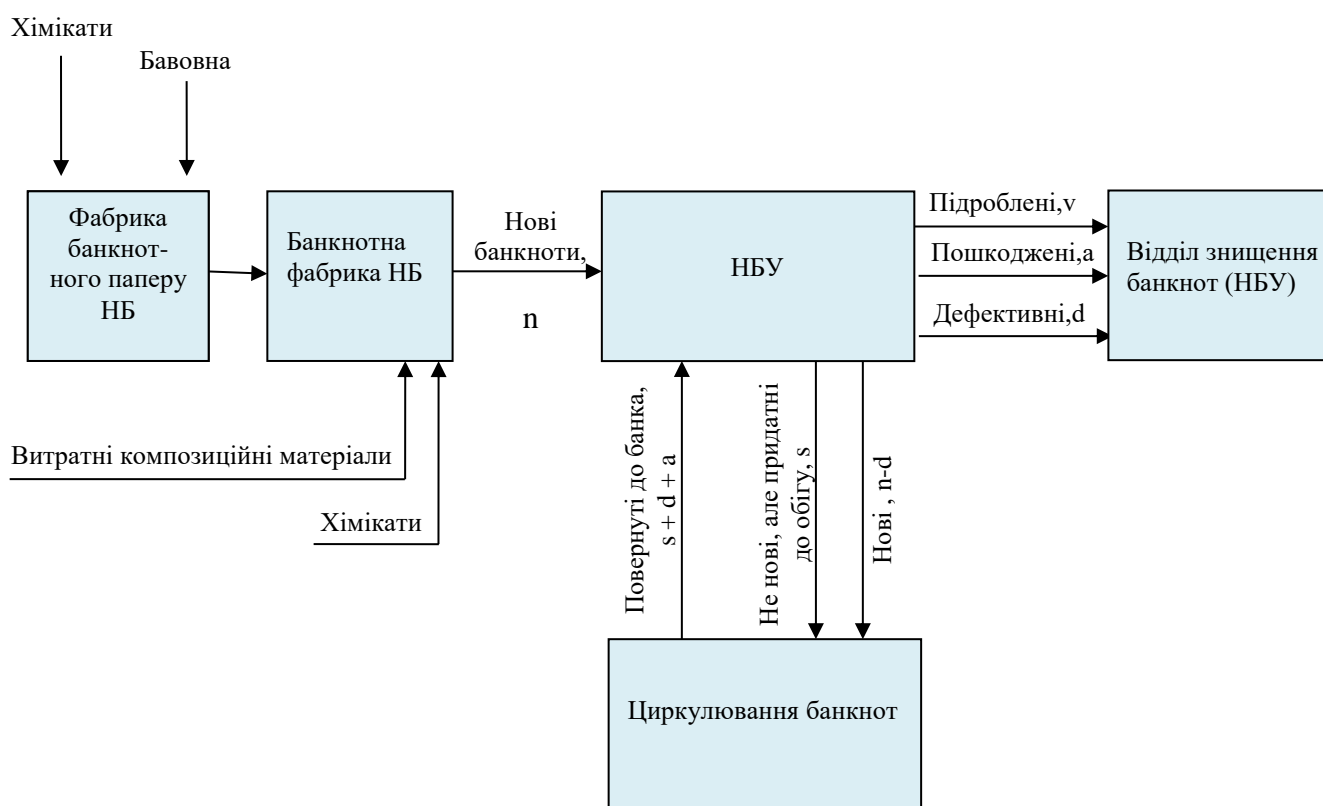


Рис. 1.2. Принципова схема життєвого циклу банкнот в Україні

Аналіз раніше проведених досліджень показує [1, 4], що середня кількість різних видів пошкоджень на банкноту зменшується зі збільшенням номіналу (3,68 усіх видів пошкоджень на банкноту для 1 грн, 1,30 усіх видів пошкоджень на банкноту для 500 грн).

Аналіз даних статистики 2012 р. щодо відносної зведеної кількості пошкоджень проведений авторами [4] показав, що основною причиною

виведення з обігу банкнот української гривні є загальне забруднення (89,19%) (рис. 1.3, рис. 1.4). Порухення структури та форми (5,75%) і локальні забруднення (5,06%) є значно менш вагомими.

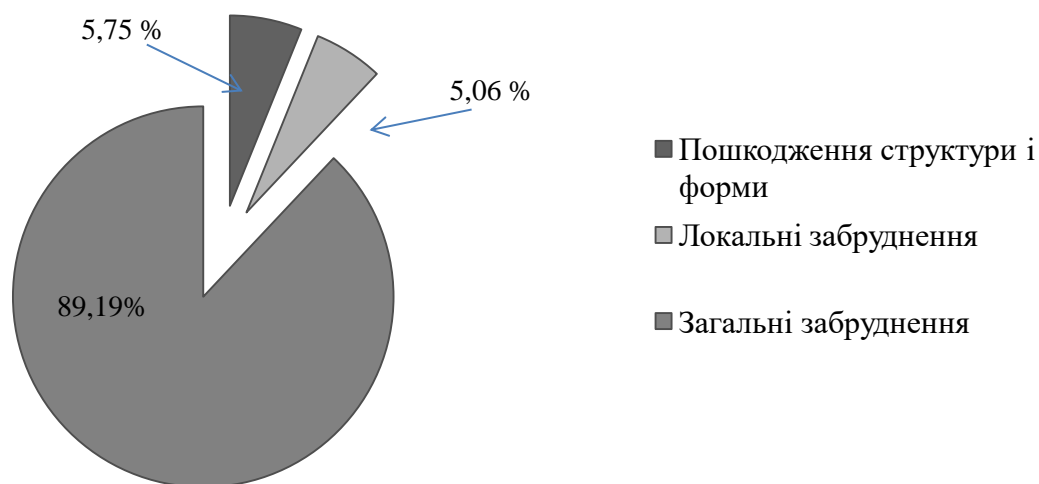


Рис. 1.3. Відносна зведена кількість пошкоджень (вибірка липня 2012 р.)

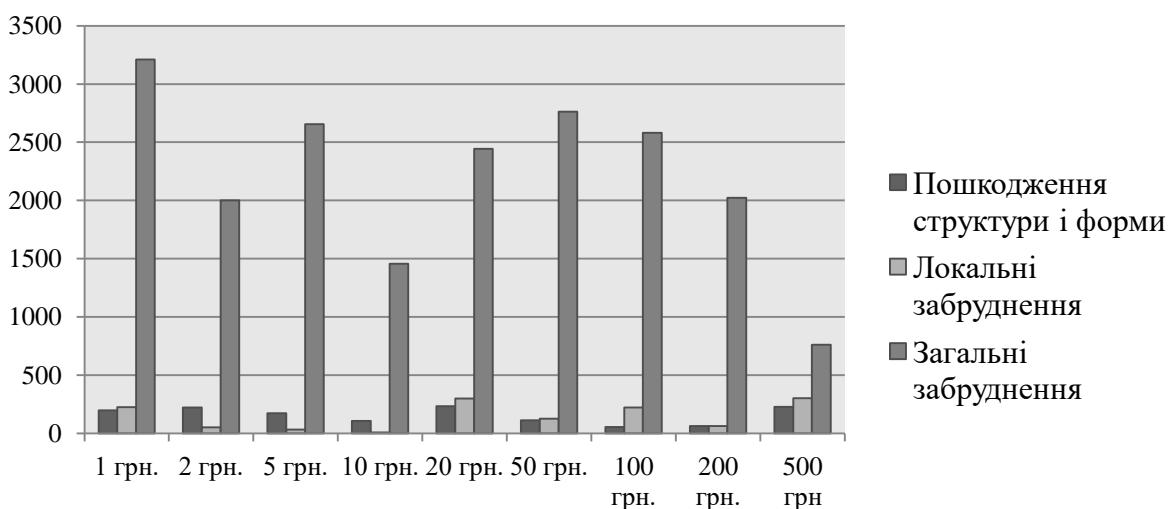


Рис. 1.4. Відносна зведена кількість пошкоджень української гривні в залежності від номіналу (вибірка липня 2012 р.)

Аналіз даних причин виведення з обігу банкнот української гривні показав, що порівняно з іншими грошовими одиницями наша національна валюта частіше виводиться з обігу внаслідок загального забруднення – майже 90% банкнот, тоді як для інших валют такий показник становить

64–81%. Такі дані дають змогу визначити напрям пріоритетних досліджень і розробок для підвищення зносостійкості української гривні – підвищення стійкості до загального забруднення, а також пошук нових методів досліджень визначення зміни показника загального забруднення в обігу.

1.2 Дослідження стану зношеності банкнот та придатності методів його оцінювання

1.2.1 Імітування факторів зношування банкнот в обігу

Будь-які висновки щодо впливу будь-яких технологічних режимів виготовлення, складу композиційних матеріалів на параметри банкнот здійснюються при проведенні досліджень на банкнотах що перебували в умовах реального обігу [20, 21, 26, 28, 29, 224], або були піддані процесу штучного зношування [45, 31, 32]. Вивчення змін показників якості банкнот, що перебували в умовах реального обігу, має більш достовірні результати для висновків щодо зміни якості банкнот, розподілу банкнот за якістю відповідно до номіналу, а також взаємозв'язку між технологічними режимами штучного зношування банкнот та реальними процесами зношування [33]. Однак, потрібно зважати, що часова норма обігу банкнот є досить великою, а отже висновки щодо стану якості банкнот в обігу за рахунок застосування нових матеріалів чи технологічних режимів стає можливим лише за використання процесів штучного зношування. Тому важливим є завдання розробки способів штучного зношування, котрі дозволили б отримати зношені банкноти, максимально наближені за своїми характеристиками до банкнот з реального обігу.

Процес прискореного старіння паперу використовують використовують з метою визначення довговічності як чистого паперу, так і задрукованої продукції протягом тривалого часу [79, 41, 37-39]. Встановлено, що старіння паперу дозволяє зістарити папір на строк до 200

років природного старіння [43, 42]. Такі методи деградації придатні для паперу та широкого спектру друкованих видань. Однак, умови використання банкотної продукції та інших поліграфічних виробів значно відрізняються. Тому і методи імітації зношення банкнот повинні враховувати ці особливості [1]

Розробкою ефективного процесу штучного зношування займаються науковці уже більше двох десятиліть. Однак, забезпечення цього процесу, що дасть змогу отримати зношені банкноти з відповідними характеристиками, які будуть максимально спорідненими з характеристиками зношених банкнот з обігу є складною науковою задачею [33]. Адекватна деградація характеристик банкнот під час імітації процесу зношування можлива тільки на основі детального вивчення, аналізу та систематизація факторів зношування та пошкодження банкнот внаслідок їх дії. Тому розробка методів штучного зношування, що дозволяють отримати зношені банкноти, максимально наближені за деградацією властивостей до банкнот з реального обігу, можливо лише в результаті максимального урахування процесів та факторів зношування та детального аналізу технології зношування.

Під час штучного зношування застосовують як апаратне зношування, так і зношування з залученням персоналу. Для апаратного зношування використовують так звані імітатори обігу – прилади, що з певним ступенем достовірності імітують механічні та хімічні впливи на банкноти [60,1, 146]. Ще одним способом імітації зношування є залучення персоналу, котрий з певною періодичністю здійснює контакт з тестовими банкнотами [29, 7, 13]. В основу даного методу покладено припущення, що найбільш вагомим чинником впливу на банкноти є контакт з людськими пальцями. Всі існуючі технології прискореного зношування банкнот мають певні недоліки. Так, під час використання імітаторів зношування [31] постає питання кореляції результатів що одержані в штучних та реальних умовах. Також не вирішено

питання, що стосуються кореляції результатів зношувань, що виконані з застосуванням різних технологічних режимів та ступеню зношування реальних банкнот [29].

Фахівці постійно працюють над удосконаленням методик штучного зношування. Цікавий підхід до штучного зношування банкнот описаний в дослідженні Центрального банку Нідерландів [45], коли на основі аналізу факторів зношування (механічних, хімічних, теплових, часу) визначено дії, які необхідно застосувати до банкнот (змінання, зволоження, перемішування, нагрівання, тертя тощо) [1].

В багатьох дослідженнях щодо збереження якості банкнот в обігу застосовуються імітатори обігу. Такий пристрій описано в [31], його застосування для штучного зношування банкнот дало можливість отримати зношені банкноти з достатньо погіршеними показниками, що виявлялись у зміні показників повітропроникності, жорсткості, маси та яскравості, однак знову ж таки відсутні щодо кореляції отриманих результатів з показниками банкнот з обігу.

З'ясовано, що для досліджень зносостійкості банкнот української гривні використовують подібні імітатори, необхідно дослідити ступінь достовірності її штучного зношення, удосконалити режими обробки.

1.2.2 Аналіз проблеми оцінювання стійкості фарбового шару металографічного друку

Надзвичайно важливим наслідком механічних впливів процесів зношування на банкноти під час обігу є зменшення фарбового шару, та його відшарування, внаслідок дії різних чинників. Серед основних причин виникнення даного явища можна виділити вплив сортувального обладнання та контакт з монетами. Наявність такого контакту може

спричинити відшарування фарбового рельєфу широких штрихів, що підсилюється деформаціями різних видів.

Також фактором впливу на стійкість фарбового шару є хімічний вплив дії різноманітних хімічних речовин. За умови недостатньої адгезії фарбового шару наслідком хімічного впливу також може бути відокремлення шару фарби металографічного друку з поверхні банкноти. Пошкодження фарбового рельєфу металографічного друку під час зношування можливе двома шляхами:

- відшарування фарбового шару із локальним його видаленням аж до паперової основи. Цей вид пошкоджень легко можна оцінити візуально і встановити багатьма методами. Спричинюються такі пошкодження недостатньою адгезією фарбового шару до паперу;

- зниження висоти фарбового рельєфу внаслідок втрати фарби без її відшарування з поверхні паперу. Цей вид пошкоджень оцінити візуально практично неможливо, особливо за незначних втрат фарби.

Методом оцінювання зміни геометричних параметрів металографічного друку може бути вимірювання магнітних властивостей відбитків у процесі зношування, однак тут таким чином можливо контролювати лише загальне зменшення об'єму фарби на відбитку і лише за умови використання фарб металографічного друку, що мають магнітні властивості.

Також можливим методом визначення змін рельєфу металографічного друку є сканування поверхні за допомогою інтерференційного мікроскопа (рис. 1.5), однак, такі дослідження є достатньо трудомісткими та потребують застосування обладнання високої вартості.

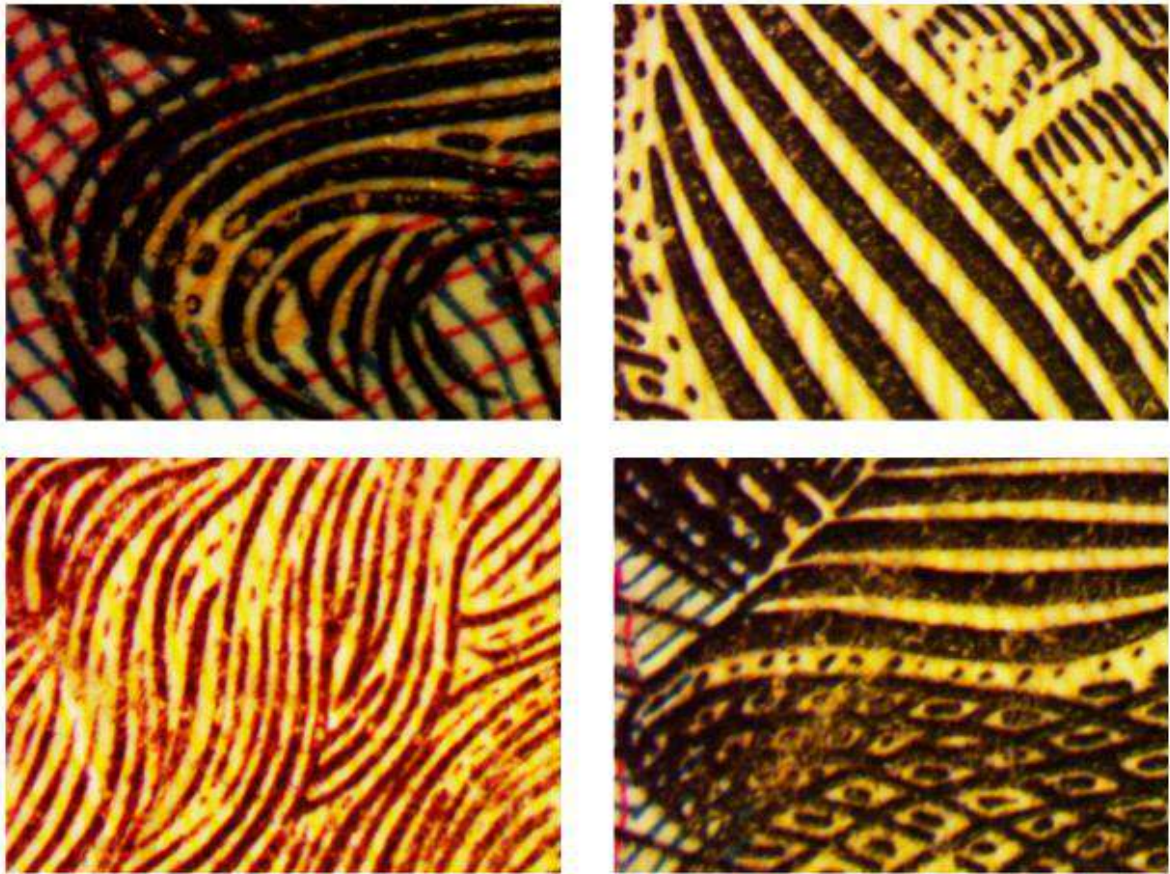


Рис. 1.5. Відшаровування фарбового шару металографічного друку на широких (збільшення $\times 45$)

Наслідком зменшення параметрів фарбового шару є зменшення тактильних властивостей банкноти. Тому для проведення досліджень стійкості фарбового шару металографічного друку може використано метод тактильної дискримінація [69], а також контактні та безконтактні профілометричні дослідження поверхні банкнот.

Зміна геометричних параметрів фарбового рельєфу є невід'ємною частиною процесів зношування банкнот і проявляється на фінальних етапах зношування. Тому саме відшаровування фарби металографічного друку є об'єктом уваги та контролю під час розробки нових видів композиційних фарб металографічного друку та будь-яких змін їх рецептури [62, 64, 65, 67, 68].

Адгезія фарб поліграфічного призначення до банкотної снови – це поверхнєве явище, яке виявляється міцності контакту при контакті адгезиву та основи. В момент початку друкарського контакту та переходу фарби, на основу розпочинаються процеси, що тривають одночасно: збільшення розміру істинної поверхні контакту фарби з основою, проникнення фарби в основу і виникнення адгезійного з'єднання [70].

Розрізняють деяку кількість видів адгезії, а саме: механічну, адсорбційну, хімічну, електричну, дифузійну, релаксаційну [72].

Відповідно до механічної теорії, адгезія здійснюється за рахунок затікання адгезива в пори або тріщини на поверхні субстрату з наступним затвердінням. При цьому вважається, що між адгезивом і субстратом утворюються «заклепки», що зв'язують компоненти адгезійного з'єднання шляхом механічного заклинювання. Таким чином, міцність адгезійного з'єднання визначається пористістю субстрату (включаючи форму пор) і міцністю плівки адгезиву [70].

Після застигання фарбового шару через вплив шорсткості поверхні основи можливим є утворення дефектів, які згодом можуть призвести до послаблення або порушення адгезійної взаємодії. До таких дефектів належать неповне заповнення заглиблень фарбою, утворення тріщин і пор. У процесі твердіння адгезиву виникають внутрішні напруження, внаслідок чого в покритті накопичується енергія, яка протидіє адгезійній взаємодії і спричиняє погіршення адгезійних властивостей покриття [70].

Адгезійна міцність фарбового шару – це величина, що показує зв'язок між фарбовим шаром та основою. Методи оцінювання ступеню адгезійної міцності фарбового шару використовують методи механічного руйнування. Важливо зазначити, що наразі не існує методів неруйнівного контролю міцності фарбових шарів.

Існує припущення, що міцність зчеплення фарби з поверхнею паперу та її проникнення основу залежить від реологічних властивостей фарби [105], міцністних характеристик паперу, параметрів його поверхні, та параметрів друкарського процесу (швидкість, тиск у друкарській парі). Отже, актуальним є удосконалення існуючих та розроблення нових методів контролю показників якості металографічного друку, що полягають у збереженні показників фарбового рельєфу банкнот в обігу.

1.2.3 Застосування електрофізичних методів контролю якості банкотної продукції

Електрофізичні властивості паперу були та є об'єктом досліджень багатьох науковців, а саме: Дж. П. Кейсі [75], Флятте Д. М. [79], Ренне В. Т. [76, 77], Вайсман Л. М. [98], Баум Г. [78].

Всі зазначені науковці у своїх наукових працях досліджували папір як електроізоляційний матеріал. Так, відзначалося, що для електроізоляційного паперу важливими фізичними властивостями є товщина, щільність, пористість, опір розриву та роздиранню. Також важливими є хімічні властивості: вміст вологи та електролітів, зольність, кислотність та наявність струмопровідних часток [75].

Важливо зазначити, що електроізоляційні показники паперу покращуються зі зменшенням пористості та зростанням щільності.

Дослідження електрофізичних властивостей паперу стимулюються його використанням під час процесу електрографії (ксерографії) в копіювальній техніці [84, 132].

Електрофізичні властивості банкнот та банкотного паперу є об'єктом досліджень Киричок Т. Ю. [1, 155, 107] та Кирилєкно В. М. [155]. Авторами досліджено електрофізичні властивості банкотного паперу та їх зміни під час технологічного процесу виготовлення банкотної продукції, а також зміни цих властивостей в обігу.

Електрофізичні властивості паперу визначаються такими основними показниками [76, 79]:

- питомий електричний опір,
- діелектрична проникність,
- величиною діелектричних втрат (тангенс кута діелектричних втрат),
- пробивна напруга;
- число струмопровідних включень.

Електричний опір паперу помітно зростає внаслідок застосування речовин для поверхневого та об'ємного проклеювання. Також при використанні різноманітних технологій лакування та ламінування паперу відбувається збільшення опору [79]. Це відбувається за рахунок зменшення гідрофільності паперу. Діелектрична проникність паперу залежить від характеру його пористої структури [76, 79, 78]. Діелектричні втрати паперу, що виражаються тангенсом кута діелектричних втрат, значно залежать від вмісту вологи в папері.

Механізми формування електрофізичних властивостей звичайного банкнотного паперу є недостатньо вивченими. Дослідники визначають папір як гомогенну структуру з яскраво вираженою анізотропією електрофізичних властивостей [78, 84] або як гетерогенну структуру, що утворюється целюлозними волокнами та порами, заповненими повітрям [76, 79].

В роботах Ренне В. Т. [79, 77] запропоновано еквівалентну електричну схему паперу, яка враховує волоконну структуру паперу, і являє собою інтегральну структуру паперу як послідовні шари в електричному полі між електродами: еквівалентний шар целюлози і еквівалентний шар пори, кожен з яких має свої електричні характеристики (опір, електричну міцність, діелектричну проникність, тангенс кута діелектричних втрат тощо), котрі визначаються

властивостями целюлозного волокна та властивостями матеріалу пори, в яку включають також і просочувальні речовини.

В роботах Киричок Т. Ю. запропоновано удосконалені електричні схеми банкотної папери, що включають опір незадрукованого банкотної папери; опори, що визначають властивості фарбованих шарів всіх видів (інтаглю-, офсетного, трафаретного, високого друку); опір, що визначають адсорбовані на поверхні банкноти, а також ті, що проникли в основу та адсорбовані на поверхні целюлозних волокон, забруднення [1].

Авторами [107, 155] визначено, що електропровідність папери є невеликою, і виникає внаслідок дії таких чинників:

- наявності в складі папери певної кількості електропровідних включень, найважливішим з яких є зола, частка якої в банкотному папері складає біля 2 % маси;
- наявності в целюлозі полярних гідроксильних груп –ОН, що мають спорідненість з полярними молекулами води, що пояснює високу гігроскопічність папери, котра посилюється капілярним характером структури матеріалу. Адсорбована вода, що містить сліди електроліту, є основною причиною електропровідності папери. Через наявність полярних гідроксильних груп, що орієнтуються в електричному полі навколо одинарного зв'язку, проявляється ефект поляризації;
- наявність на бавовняних волокнах основи певної кількості солей марганцю, калію, заліза та інших речовин, що збільшують іонну провідність папери. Електропровідність банкотної папери порівняно з друкарським є більшою внаслідок включення захисних волокон та стрічок. В банкоті, як готовому виробі, електропровідність збільшується через використання захисних фарб з магнітними та УФ-властивостями.

Гетерогенність банкноти виражена ще більше, ніж папери: матеріали, що входять до її складу, значно відрізняються за своїми електрофізичними властивостями. До того ж ці складові нерівномірно

розміщені як у товщі банкнотного паперу, так і на його поверхні. Наявність в структурі банкноти матеріалів з різними електрофізичними властивостями зумовлює появу електростатичних сил, які за рахунок різниці потенціалів поверхонь притягують часточки бруду [155, 107].

Авторами [1, 155, 107] доведено, що забруднення, що накопичуються на поверхні банкнот та у товщі банкнотної призводить до порушення структури паперу і збільшення його електропровідності. Доведено ефективність застосування електрофізичних методів контролю стану зношеності банкнот.

Невизначеним залишається питання впливу забруднення на електрофізичні характеристики банкнот в обігу.

1.3 Проблеми автоматизованого сортування банкнот

1.3.1 Технічне забезпечення моніторингу та вилучення непридатних банкнот з обігу у системі Національного банку України

Національний банк України для проведення контролю якості банкнот під час обігових операцій використовує автоматизовані сортувальні лінії Giesecke & Devrient серії BPS 1000 (рис. 1.2) [125].



Рис. 1.2. Автоматизований сортувальний комплекс BPS 1000 [145]

Модельний ряд даного устаткування досить широкий [126, 122, 131]. Швидкість роботи обладнання сягає 72000–108000 банкнот/годину. Швидкість руху банкнот по транспортувальній лінії сягає 5–7,5 м/с. За

цей час устаткування визначає номінал, автентичність та характеристики зношування (розриви, надписи, загальне забруднення, прями, отвори тощо) завдяки вбудованим сенсорним модулям NotaScan Image та NotaScan Profile, а також на основі отриманих даних робить висновки про Придатність чи непридатність банкнот до подальшого обігу. Для пакування банкнот у обробному комплексі міститься спеціальний інтегрований модуль NotaPack, та для знищення непридатних або банкнот, що не визначені як автентичні – модуль BDS 400, що подрібнює банкноти зі швидкістю 2000 банкнот на хвилину [137].

Дослідниками [1] зазначено, що сенсорний модуль NotaScan Image оснащений трьома камерами, котрі з роздільною здатністю 125 dpi ($0,2 \times 0,2 \text{ мм}^2$) здійснюють цифрову фіксацію зображення: дві з них – на відбивання світла, що падає, лиця та звороту кожної банкноти, одна – на пропускання та поглинання, працюючи в колірних каналах RGB, а також ІЧ-діапазоні. Програмне забезпечення обробки зображень базується на колірній системі XCMS (X Color Management System), котра імітує сприйняття кольору людиною незалежно від засобу виведення. Алгоритми обробки сканованих зображень дозволяють встановити та оцінити номінал, лінійні розміри, орієнтацію під час проходження, серійний номер, ІЧ- захисні ознаки (пропускання та поглинання світла в ІЧ-діапазоні), водяні знаки (пропусканням видимого світла), а також низку ознак зношування та пошкодження. До таких ознак належать отвори (розміром від $1 \times 1 \text{ мм}$), надриви, втрачені частини, загнуті кути, а також забруднення.

Показник загального забруднення банкнот визначається за рахунок:

– сканування незадрукованої або задрукованої, але прозорої для ІЧ-випромінювання області банкноти для порівняння контрасту суміжних пікселів. Можливе також сканування та обробка зображення у видимому

діапазоні у будь-якому з колірних каналів RGB, чи у змішаних кольорах [стаття];

– денситометричні вимірювання в червоному, зеленому, синьому або ІЧ-спектрі чітко визначених для кожного номіналу незадрукованих або задрукованих світлими кольорами областей [1].

Використання описаних обробних комплексів дозволяє достовірно оцінити стан банкнот, хоча й існує ряд проблем, що виникають у процесі сортування, котрі відзначаються фахівцями грошового обігу.

Актуальним для процесів оцінювання стану зношеності банкнот залишається можливість визначення зменшення показника жорсткості банкнот та загального старіння.

1.3.2 Проблеми автоматизованого сортування банкнот

Загальне забруднення є основною причиною вилучення банкнот з обігу як в Україні, так і в усьому світі. Оскільки саме оптичні характеристики використовуються [142, 118, 138, 120, 122, 131] при проведенні експериментальних наукових досліджень та під час сортувальних процесів банкнот, то саме вони потребують подальшого розвитку.

Авторами [144], визначено що поняття критичності показників зношеності банкнот, що визначаються користувачами банкнотної продукції не співпадає з нормативними показниками зношеності під час сортування в обробних комплексах. Виявлено, що втрата загальної жорсткості, або наявність плям чи написів на банкноті не визначається населенням як ритичний дефект. Це саме стосується наявності на банкноті загнутих чи відсутніх кутів.

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. Під час роботи сортувального устаткування оцінюються окремі аспекти зношування на за критичними межами [142]. Тому визначено недоліком сортування в обробних комплексах неврахування можливості наявності декількох дефектів, що не мають критичного рівня.

У процесі сортування банкнот частим є вилучення банкнот з обігу через помилкове їх оцінювання як зношених, що відзначається фахівцями [115, 116, 122, 131, 144].

Невідповідність якості банкнот встановленим критеріям, що реєструються сортувальним обладнанням може бути виявлена у процесі контролю на банкнотному виробництві, що виявляється у належній якості банкнотної основи, несуміщення офсетного та металографічного друку, перебивання фарби, невідповідне розміщення водяного знака чи захисної стрічки, невідповідність машинозчитуваних характеристик банкноти встановленим вимогам тощо [144].

Ще однією з причин необґрунтованого вилучення придатних банкнот є відмінності умов калібрування сенсорів визначення забруднення сортувальних комплексів [122, 131], що відбувається шляхом експертного налаштування критичних меж датчиків забруднення. Усунення цього недоліку можливе за використання нових методів оцінювання стану зношеності банкнот, або нових методів налаштування критичних меж сортувального обладнання.

Існують різноматні підходи до визначення загального забруднення [140, 138]. В Україні, визначення критеріїв непридатності банкнот до обігу за загальним забрудненням та зношенням здійснюється на основі експертної оцінки рівня зношення під час налагодження обладнання для автоматизованого оброблення банкнот [142, 143].

Вимірювання показника загального забруднення відбувається в певних, чітко визначених зонах банкноти біля водяного знаку, в той же час зміни колірних характеристик банкнот через зношеність, зокрема,

фарбового шару металографічного друку, залишаються поза контролем, а методики такого контролю відсутні.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано показники якості банкотної продукції, визначено їх особливості. Досліджено впливи, що діють на банкноти в обігу, та механізми й ознаки зношення банкнот. На підставі аналізу недоліків роботи обробних комплексів сортування банкнот, що зумовлені технологічними параметрами виготовлення банкотної продукції та інтенсивними умовами її використання, обрано напрямки підвищення якості процесу сортування банкнот, що полягають в досягненні максимальної ідентичності відбитків й однорідності структурних елементів банкотної основи, а також розробці нових методів визначення стану зношеності банкнот, використання яких дає можливість отримати результати, що є максимально достовірними з результатами оцінювання зношеності користувачами банкотної продукції.

2. Аналіз процесів контролю зношеності банкнот показав, що зношеність банкнот можливо визначати за великим переліком ознак і показників, котрі характеризують різні аспекти зношеності з різною точністю. Єдиний показник зношеності відсутній. Тому визначення зносостійкості банкнот потребує урахування багатьох показників зношеності із формуванням комплексного показника зносостійкості. Потребують подальшого розвитку як оптичні, так і будь-які інші методи оцінювання зношеності банкнот, в тому числі методи візуального оцінювання та методи оцінювання стійкості фарбового шару.

3. Проаналізовано засоби імітації зношування банкнот і виявлено, що ступінь достовірності штучного зношення банкнот української гривні невідомий і потребує з'ясування.

4. Проаналізовано технологічні особливості металографічного друку, який є надзвичайно важливим для забезпечення як захищеності, так і зносостійкості банкотної продукції. Для забезпечення високого рівня зносостійкості української гривні потребують з'ясування питання стійкості фарбового рельєфу металографічного друку в обігу.

5. Проаналізовано стан наукових досліджень щодо електрофізичних властивостей паперу та з'ясовано, що механізм формування електрофізичних властивостей банкотного паперу та банкнот як готових виробів, котрі перебувають в складних умовах зношування, досі не вивчався. Враховуючи проаналізовані механізми накопичення забруднень на поверхні та їх проникнення в основу, порушення структури паперу, необхідно дослідити взаємний зв'язок зношеності та електрофізичних властивостей банкнот.

6. Сформульовано мету, завдання, методи досліджень, викладені у вступі.

РОЗДІЛ 2

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ БАНКНОТ ПІД ЧАС ЗНОШУВАННЯ

2.1 Моделювання технологічного процесу штучного зношування банкнот

Моделювання процесу прискореного зношування банкнот проведено з метою оптимізації параметрів існуючої технології, що дає можливість нормувати технологічні режими та допуски цього процесу з метою відтворення реальних процесів зношування в їх імітаційних умовах з урахуванням питомої частки пошкоджень банкнот в реальному обігу та допусків на їх значення.

Технологія передбачає циклічне зношування зразків у імітаторі зношування – пристрої, який з певним ступенем достовірності імітують механічні, хімічні, теплові та електромагнітні впливи на банкноти. Зношування відбувається через обертання банкнот в барабані імітатора з заданими параметрами та в наявності зношувальних та забруднювальних агентів, що імітують механічно-деформаційні та хімічні впливи на банкноти під час імітації відповідно. У якості зношувальних агентів передбачено використання полімерних еліпсоїдів розміром з розвиненою морфологією поверхні для імітації деформаційного впливу пальців людини до банкноти. У якості забруднювальних агентів використовуються наступні речовини: біла глина, як аналог гідрофільного сухого бруду із розвиненою морфологією поверхні; соняшникова та оливкова олія, що використовується для імітації жироподібних речовин; спирт, 70 %, що використовується для збільшення на поверхні та в товщі банкнотного паперу речовин, які містять кисневмісні групи; штучна речовина, що за своїм складом близька до складу людського поту. Кількість забруднювальної суміші

визначається з розрахунку ефективної площі внутрішньої поверхні барабану імітатора, банкнот, що зношуються та зношувальних агентів. Для імітування дії на банкноти видимого світла застосовується барабан імітатора з прозорими стінками, для дії УФ світла – лампа УФ випромінювання. Для надання жорсткості банкнотам в процесі імітації зношування використовуються смужки жорсткості, що кріпляться до коротших сторін банкнот за допомогою фторопластових затискачів.

Процес погіршення фізичного стану банкнот згідно обраного технологічного процесу штучного зношування залежить від інтенсивності змішування експериментальних разків та зношувальних компонентів, кількості та складу останніх. При цьому необхідно створити рівнозначні умови взаємодії банкнотних зразків і зношувальних агентів.

Грунтуючись на положенні, що процес змішування супроводжується поділом банкнот та зношувальних агентів, при аналізі характеру впливу різних чинників на процес зношування можна використовувати деякі дані з розділення сумішей.

За обраною технологією прискореного зношування кількість зразків, які підлягають зношуванню, набагато менше кількості зношувальних агентів, так що при багаторазовому їх перемішуванні банкнотні зразки в кінцевому підсумку рухаються практично незалежно один від одного (зокрема, незалежно один від одного потрапляють на них потрапляє забруднювальна суміш). Очевидно, після ретельного перемішування забруднювальна суміш розподіляються приблизно рівномірно і ймовірність розподілу забруднювальної суміші по поверхні банкноти одна і та ж. Зовнішні впливи на процес формування розподіленого шару бруду на поверхні банкнотних зразків обумовлені кількісними характеристиками компонентів зношування і їх фізико-механічними та фізико-хімічними властивостями.

Процес погіршення фізичного стану банкнот згідно обраного технологічного процесу штучного зношування залежить від

інтенсивності змішування експериментальних разків та зношувальних компонентів, кількості та складу останніх. При цьому необхідно створити рівнозначні умови взаємодії банкнотних зразків і зношувальних агентів.

Для опису процесу взаємодії банкнотних зразків та зношувальних агентів можливі ймовірно-статистичні підходи. Цей процес можна описати наступним чином.

Нехай є деяка кількість забруднюючих речовин загальним об'ємом N_0 суміші рідких та сухих агентів зношування, що використовується для штучного зношування банкнот. Зношувальні агенти загальною кількістю n та забруднювальні агенти засипаються в барабан та ретельно перемішуються. Після чого додаються банкнотні зразки загальною кількістю n_b . При обертанні зразків, на їх поверхні утворюються штучний шар розподіленого бруду певної товщини. Нехай на кожен окремий банкнотний зразок, що досліджується накопичує на своїй поверхні певну кількість забруднювальних компонентів m_l .

За обраною технологією кількість зразків, які підлягають процесу штучного зношування, набагато менше кількості зношувальних агентів, так що при багаторазовому їх перемішуванні банкнотні зразки в кінцевому підсумку рухаються практично незалежно один від одного (зокрема, незалежно один від одного потрапляють на них потрапляє забруднювальна суміш). Очевидно, після ретельного перемішування забруднювальна суміш розподіляються приблизно рівномірно і ймовірність розподілу забруднювальної суміші по поверхні банкноти одна і та ж.

Відповідно до технологічного процесу кожна банкнота при русі всередині барабана контактує з іншими банкнотами і зношувальними агентами. Через взаємодію із забруднювальними агентами через контакт поверхонь зношувальних агентів та банкнот протягом обраного проміжку часу t (циклу зношування) окрема банкнота акумулює на своїй поверхні забруднювальний агент. Процес зіткнення банкнот зі зношувальними

агентами і формування розподіленого шару бруду $f(x)$ є типовою випадковою величиною, тому рівномірність цього шару визначається лише сумою математичних очікувань зіткнення зношувальних агентів з поверхнею банкнот, фактичне ж значення зіткнення зношувальних агентів з одиницею площі банкнотних зразків за даний проміжок часу може бути найрізноманітнішим (починаючи від нуля – в разі, якщо за даний проміжок часу дана одиниця площі зношувальних зразків не стикалося з компонентами забруднювальної суміші). Сума $f(x)$ зіткнень всіх ділянок банкноти з усіма забруднювальними агентами за даний проміжок часу є також випадковою величиною з математичним очікуванням, що визначається:

$$m_y = n \times m_x.$$

Відповідно до закону великих чисел (який проявляється тут з винятковою точністю завдяки тому, що число дуже велике) $f(x)$ в дійсності є майже незалежним від випадкових обставин руху окремих банкнот, а саме майже точно рівним своєму математичному очікуванню. Таким чином, можна стверджувати, що процес формування штучного розподіленого шару бруду на поверхні банкнот підпорядковується нормальному закону розподілу.

Технологічний процес нанесення розподіленого шару бруду полягає в нашаровуванні забруднюючих речовин на поверхні та в товщі банкнотних зразків. Накопичення забруднювальних речовин в товщі банкнотної підкладки відбувається за рахунок руйнування поверхневого та об'ємного проклеювання банкнотного паперу за рахунок деформаційних навантажень, що створюються зношувальних агентів, навантажувальних елементів та стінок барабану.

Зовнішні впливи на процес формування розподіленого шару бруду обумовлені кількісними характеристиками компонентів зношування і їх фізико-механічними та фізико-хімічними властивостями.

В умовах нормального функціонування технологічного процесу штучного зношування банкнот записуються вхідні процеси – $x_i(t)$ і вихідні – $y_i(t)$. При проведенні певної кількості експериментів з метою визначення зміни характеристик зразків за певний цикл зношування отримуємо одну і ту залежність $x(t)$, якщо не враховувати похибок, що вносяться вимірними приладами. Таким чином, $x(t)$ є детермінованою функцією.

Для виявлення факторів, що впливають на якість нанесення шару забруднень та механічних навантажень, розглянемо взаємодії банкнот в барабані з кульками, що являються зношувальними агентами, як окремий випадок випадкової функції в детермінованій системі. Почнемо з кінематики руху зразків банкнот в барабані імітатора.

Теоретичне обґрунтування взаємодії утворення розподіленого шару забруднення на банкнотних зразках доцільно проводити моделюванням процесу нанесення забруднювального шару. Для цього необхідно спочатку оптимізувати швидкість руху банкнот в барабані через варіювання маси навантажувальних елементів та міцністних характеристик смужок жорсткості, а потім підібрати геометричні розміри та вагу зношувальних агентів, для забезпечення контакту з поверхонь, при якому має забезпечуватись максимальне перенесення забруднювальних агентів [52, 60].

Якщо N – загальна маса забруднюючих часток, які осіли поверхні банкноти, а N_0 – загальна маса забруднюючих агентів (без урахування летких компонентів), що вводиться за один цикл зношування, то критерієм якості процесу забруднювання та деформації поверхневого проклеювання банкноти буде:

$$k_i = \frac{N}{N_0}$$

Якщо даний показник наближається до 1, то кількість перенесеного забруднюючого розчину є максимальною. Відповідно зміна вимірюваних характеристик має бути максимальною.

Загальна маса забруднюючих часток N , які осіли поверхні та в товщі паперу зразків можна описати наступним рівнянням:

$$N = \mu_0 p_1 S_b S_c v_{rel} t_{sed} q_0,$$

де μ_0 – коефіцієнт зчеплення, що залежить від умов протікання процесу (швидкість) і характеристик контактуючих поверхонь (шорсткість різних ділянок поверхні банкнотних зразків та зрошувальних агентів);

p_1 – концентрація зрошувальних агентів в об'ємі барабану;

S_b – площа поверхні банкноти m^2 ;

S_c – міделевий переріз зрошувальних агентів;

v_{rel} – відносна швидкість обтікання банкнот зрошувальними агентами m/s ;

t_{sed} – час осадження забруднювальних агентів на поверхні банкнотних зразків;

q_0 – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив осадження певної кількості забруднювальних агентів на стінках барабану та визначається геометричними параметрами барабану та коефіцієнтом зчеплення.

$$S_c = \frac{\pi d_c^2}{4},$$

d_c – середній діаметр кульок агентів зрошування.

Загальна маса забруднюючих агентів N_0 визначається порційно для кожного циклу зрошування. Оскільки $k_i \neq 1$, то N_0 для кожного циклу зрошування крім першого буде рівним:

$$N_0 = N_0^{(i-1)k_1} + N_0^i,$$

де N_0^i – загальна кількісна міра забруднюваних компонентів, що запроєктовано для кожного циклу;

$N_0^{(i-1)1}$ – залишок забруднювальних компонентів, що залишилися на стінках барабану та на зношувальних агентах.

Розглянемо детальніше взаємодію контактуючих поверхонь зразків банкнот та зношувальних агентів.

Відносна швидкість обтікання банкнотних зразків рівна:

$$v_{rel} = wl/2,$$

де w – кутова швидкість обертання барабану;

l – ширина основи паралелепіда барабана імітатора зношування.

Час осадження забруднювальних компонентів на поверхні банкнотних зразків визначається відношенням:

Час осадження забруднювальних агентів на поверхні банкнотних зразків визначається характеристикою поверхні банкнот та її здатністю до всотування забруднювальної суміші.

У барабані імітатора, що обертається можна виділити дві принципово різні види руху, що відрізняються наявністю або відсутністю фаз відносного спокою в загальному циклі руху: рух, що складається лише з фази ковзання (рис. 2.1 а) за відсутності зношувальних компонентів процесу та рух компонентів зношування, що передбачає наявність зношувальних та навантажувальних компонентів зношування (рис. 2.1 б).

Для будь-якого усталеного процесу обертання барабану імітатора існує певна критична швидкість обертання (V_k), за якої компоненти зношування починають рухатись разом з барабаном.

При використанні швидкостей, що є нижче критичної, існує певна кількість видів руху компонентів зношування (рис. 2.1 б).

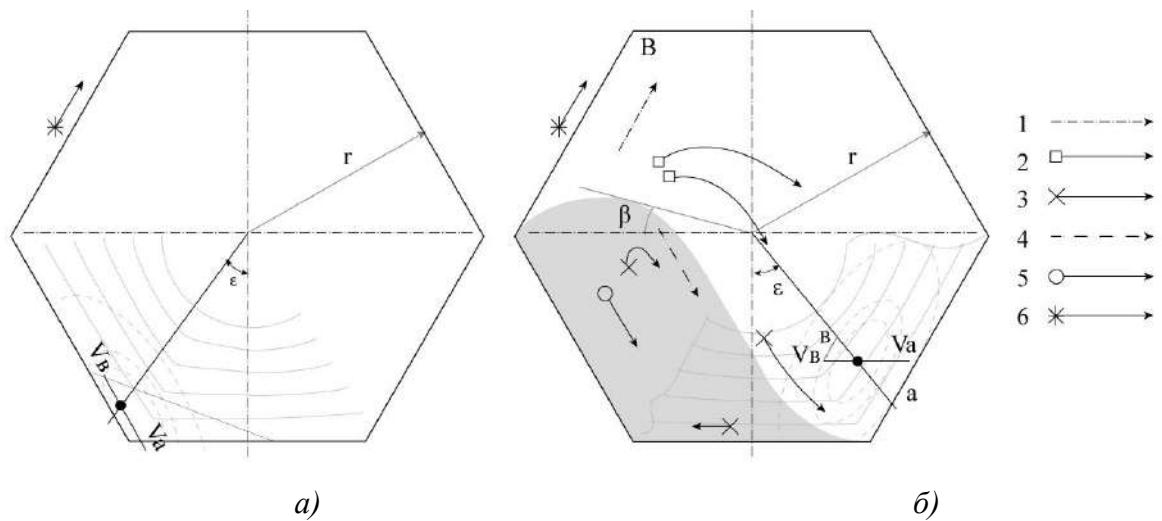


Рис. 2.1 Схема руху компонентів зношування: а) – фаза ковзання; б) – схема видів руху компонентів зношування: 1 – відцентровий; 2 – водоспадний; 3 – каскадний; 4 – перекочування; 5 – ковзання; 6 – напрямок загальної циркуляції

При використанні швидкості обертання, що визначається:

$$V_b = (0.55 - 0.6)V_k,$$

то частина компонентів зношування буде знаходитися в водоспадному русі, тобто через обертання барабану вони будуть підійматись на деяку висоту, з якої падають по параболічній траєкторії.

При такому русі градієнт швидкості окремих елементарних потоків невеликий, окремі шари «обертаються» приблизно з однаковою кутовою швидкістю, але, незважаючи на це, режим водоспадного руху технологічно недоцільний для ефективного змішування і нанесення забруднювальних компонентів.

При меншій швидкості обертання барабану імітатора відбувається каскадний рух компонентів зношування, коли банкноти та зношувальні агенти піднімаються на деяку висоту і скатаються вниз.

Рух компонентів визначається двома складовими:

- доцентровим прискоренням $w_r R^2$;
- тангенціальним прискоренням $R \frac{d\tau_r}{dt}$.

Система рівнянь відносного руху компонентів:

$$\begin{cases} m \frac{d^2\delta}{dt^2} = -mR \frac{d\tau_R}{dt} = mg \sin \beta + fN \\ m \frac{d^2\xi}{dt^2} = -mRw_R^2 = mg \cos \beta - N + mw^2R - 2mw w_R R' \end{cases}$$

при цьому умова відриву ($N=0$)

$$w_{ав} = \sqrt{\frac{g}{R} \sin \psi}, \quad (2.1)$$

де $w_{ав}$ – абсолютна кутова швидкість компонентів зношення в момент відриву, рад/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

R – зовнішній радіус барабана, м

Після відриву компонентів зношення від поверхні барабана починається фаза вільного руху. На основі формули (2.1) ця швидкість визначається величиною:

$$v_{ав} = \sqrt{Rg \sin \psi}$$

Швидкість скочування компонентів можна розрахувати з використанням теореми приросту кінетичної енергії рухомого тіла на безконечно малій ділянці шляху:

$$d\left(\frac{mv_1^2}{2}\right) = (mg \sin \beta + fmg \cos \beta) ds.$$

Використовуючи основні закономірності руху матеріалу в барабані, що обертається, що оптимальним режимом руху компонентів зношення визначено режим перекатування. При цьому режимі основна маса розсипчастої матеріалу рухається по кругових траєкторіях зі швидкістю, що дорівнює кутовій швидкості обертання самого барабана. Досягнувши верхнього краю, матеріал шару певної ширини починає осипатись вниз. При цьому центр тяги завантаження залишається на одному місці, а навколо нього «обертається» завантажений матеріал – біля стінки барабана він піднімається вгору, а по вільній поверхні, що розташована

по центру барабана, знімається вниз. Тому траєкторію руху компонентів зношування можна умовно розділити на дві характерні області: підйом і розсіювання.

Розглянемо режим руху компонентів зношування в барабані імітатора, що обертається з припущенням того, що зношувальні компоненти рухається шарами (рис. 2.1 б), а на параметри руху впливають: сила внутрішнього в'язкого тертя середовища, швидкість обертання барабана і сила тертя між матеріалом і робочою поверхнею барабана.

Для забезпечення максимально ефективного процесу нанесення забруднювальних компонентів на поверхню банкнотних зразків, які зношуються, потрібно надати максимального рівня контакту їхніх поверхонь і зношувальних агентів, що забезпечуватиметься в режимі перекочування останніх. Такі режими спостерігаються і в разі використання сипучого матеріалу за малого ступеня заповнення барабана, і за невеликого тертя об його внутрішню поверхню. З урахуванням геометричних параметрів зношувальних агентів і фізико-хімічних параметрів забруднювальних агентів, за обраної технології штучного зношування банкнот, найдоцільніше застосовувати механіку суцільного середовища, а саме в'язкої рідини, для дослідження цього процесу.

Для аналізу їхнього руху можна використовувати спрощене рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{d^2V_\varepsilon}{dr^2} - \frac{1}{r} \frac{dvV_\varepsilon}{dr} - \frac{V_\varepsilon}{r^2} = \frac{1}{r_\mu} \frac{dP}{d\varepsilon}, \quad (2.2)$$

де ε – кутова координата;

V_ε – швидкість руху шару в тангенціальному напрямі, м/с;

P – тиск середовища, Па;

μ – коефіцієнт внутрішнього тертя, Па×с;

r – внутрішній радіус барабана, м.

Це звичайне нелінійне диференціальне рівняння другого порядку і його загальне рішення представляє досить складну задачу. Для численного рішення приведемо рівняння (2.2) лінійного диференціального рівняння, вводячи нову змінну:

$$r = e^t, \quad (2.3)$$

Звідки отримаємо:

$$dr = e^t dt, \quad (2.4)$$

Підставивши вирази (2.3) та (2.4) у (2.2) отримаємо:

$$\frac{d^2 V_\varepsilon}{dt^2} + \frac{dV_\varepsilon}{dt} - V_\varepsilon = \frac{e^t}{\mu} \frac{dP}{d\varepsilon}, \quad (2.5)$$

Як відомо, рішення рівняння (2.5) буде складатися з загального рішення відповідної однорідного рівняння $V_{\varepsilon 1}$ і часткового рішення неоднорідного рівняння $V_{\varepsilon 2}$. Однорідне рівняння має вид:

$$\frac{d^2 V_{\varepsilon 1}}{dt^2} + \frac{dV_{\varepsilon 1}}{dt} - V_{\varepsilon 1} = 0. \quad (2.6)$$

Введемо нову змінну:

$$V_{\varepsilon 1} = e^{kt},$$

Отримаємо:

$$\frac{dV_{\varepsilon 1}}{dt} = k e^{kt}; \quad \frac{d^2 V_{\varepsilon 1}}{dt^2} = k^2 e^{kt}.$$

Тоді рівняння (2.6) може бути представлено у наступному вигляді:

$$k^2 + k - 1 = 0. \quad (2.7)$$

Отримане характеристичне рівняння має вигляд:

$$k_{12} = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{5}{2}},$$

або

$$k_1 = -\frac{1}{2} - \sqrt{\frac{5}{2}};$$

$$k_2 = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{5}{2}}.$$

Тоді рішенням рівняння (2.6) буде:

$$V_{\varepsilon 1} = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t}.$$

При цьому рішенням неоднорідного рівняння буде:

$$V_{\varepsilon 2} = e^t \frac{1}{\mu} \frac{dP}{d\varepsilon}.$$

Повертаючись до вихідної змінної через співвідношення (2.2), отримаємо:

$$V_{\varepsilon} = C_1 r^{k_1} + C_2 r^{k_2} + e^t \frac{1}{\mu} \frac{dP}{d\varepsilon}.$$

Значення C_1 та C_2 знаходяться із граничних умов. При усталеному русі імітатора зношування:

$$\text{при } t = 0 \quad V_{\varepsilon} = V_a, \quad r = a;$$

$$r = b \quad V_{\varepsilon} = -V_b = V_a,$$

де V_a – кутова швидкість руху барабану імітатора.

В дійсності при встановленні режиму роботи імітатора при $t = 0$ і $r = b$:

$$V_{\varepsilon} = V_b \neq V_a,$$

При чому:

$$|V_b| > |V_a|,$$

Якщо припустити, що

$$|V_B| = \vartheta |V_a|,$$

де $\vartheta = 1,0 - 1,5$, то граничними умовами протікання процесу будуть:

$$\text{при } t = 0 \quad V_\varepsilon = V_a, r = a;$$

$$\text{при } t = 0 \quad V_\varepsilon = \vartheta V_a, r = b;$$

За умови, що $|V_B| = \vartheta |V_a|$, отримаємо:

$$V_\varepsilon = V_a \left[\frac{1}{a^{k_1}} \left(1 + \frac{(\vartheta + \frac{b^{k_2}}{a^{k_1}}) a^{k_2}}{b^{k_2} - a^{k_2 - k_1} \cdot b^{k_1}} \right) r^{k_1} - \frac{\vartheta + \frac{b^{k_1}}{a^{k_1}}}{b^{k_2} - a^{k_2 - k_1} \cdot b^{k_1}} r^{k_2} \right] + e^t \frac{1}{r_\mu} \frac{dP}{d\varepsilon}.$$

В цьому рівнянні $r = 0,5D$, де D – зовнішній діаметр барабана. Константа ν залежить від ступеня заповнення барабана оброблювачем матеріалу, частоти його обертання та механічних властивостей зношувальних агентів.

Суттєва вплив на характер руху оброблюваних банкнот має зміна його внутрішнього тиску P . В якості першого приближення нехтуємо зміною тиску, вважаючи, що i коефіцієнт внутрішнього тертя $\frac{dP}{d\varepsilon} = const = 0,1$. Він залежить від кількісного співвідношення зношувальних агентів, забруднювальних агентів, а також від ступеня зношеності оброблюваних зразків. В силу чого його значення можуть змінюватись в широких межах. Для попередніх розрахунків прийнято $\mu = 0,2-0,8$.

Розв'язання цього рівняння за методом Рунге-Кутта було реалізовано за допомогою програмного забезпечення MATLAB за значень технологічного процесу: $r = b-a = 0,28-0,14$; $r_\mu = 0,52$; $\frac{dP}{d\varepsilon} = const \approx 0,1$; $\vartheta = 1,3-1,8$; $n = 16-60$ об/хв.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що при обертанні барабана зношувальні компоненти робить пошаровий круговий

рух. Важливим є факт, що шар компонентів, що знаходиться на його поверхні, має таку ж кутову швидкість, як і сам барабан імітатора V_a . При $\vartheta = 1\text{ur} = (a + b)/2$ компоненти шару мають нульову швидкість нульову. Таким чином потрібно забезпечити умови протікання процесу з $r < (a + b)/2$. Таким чином, на підставі проведених автором теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що компоненти зношування в барабані роблять пошарові кругові рухи у процесі зношування.

Оптимальний режим обертання, що забезпечує максимальний контакт поверхонь – режим перекочування для обраної форми імітатора зношування виникає за частоти обертання $n = 25\text{--}46$ об/хв при виконанні умови, що загальний об'єм зношувальних агентів з урахування вимоги забезпечення сумарної ефективної площі поверхні зношувальних агентів, що в 30–40 разів перевищує сумарну площу поверхні досліджуваних банкнот становить:

$$V_{opt} = \frac{4r_{зобн}^2 h}{8} (\alpha - \sin\alpha).$$

Кількість забруднювальної суміші визначено з таких міркувань: для банкнот з реального обігу збільшення маси однієї банкноти внаслідок накопичення шару забруднень на поверхні становить $0,046 \pm 0,024$ г. Оскільки імітація зношування проводиться циклічно, то маса розподіленого шару забруднювальних речовин, що осідає на банкнотах з урахуванням всотування за одиницю часу визначається так:

$$m_{soil} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\pi \mu_0 p_1 l_0 \sqrt{1 + V_{rel}^2 (1 - 2 \cos \alpha)}}{S_b 4 \sin \gamma},$$

де μ_0 – коефіцієнт зчеплення, що залежить від умов перебігу процесу (швидкість обертання барабану імітатора і характеристик контактуючих поверхонь);

n – кількість циклів зношування;

p_1 – концентрація зношувальних агентів в об'ємі барабана, $1/\text{м}^3$;

m_i – маса забруднюючих речовин, що додається за 1 цикл зношування, кг;

V_{rel} – відносна швидкість обтікання банкнот зношувальними агентами м/с (за умови забезпечення режиму перекочування компонентів, близька до швидкості руху барабана);

S_b – площа поверхні банкноти м^2 ;

S_{br} – площа внутрішньої поверхні барабана, м^2 ;

S_c – міделевий переріз зношувальних агентів м^2 .

Таким чином, створена модель технологічного процесу штучного зношування банкнот, дає змогу нормувати технологічні режими та допуски імітації зношування з метою відтворення його реальних процесів в імітаційних умовах.

2.2 Інформаційне моделювання технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності

У процесі теоретичного вивчення процесів зношування банкнот постає проблема пошуку методологічної основи об'єктивного оцінювання і контролю інтегрального показника зношеності банкнот. Для оцінювання показника зношеності важливим є визначення ознак зношеності, що є повними або частковими причинами до вилучення банкнот з обігу.

Аналіз відносної кількості пошкоджень кожного виду показує, що на банкнотах, які визнані непридатними до подальшого обігу, присутні одночасно декілька видів пошкоджень їх середня кількість помітно збільшується зі зменшенням номіналу [92]. Саме тому актуальним є побудова інформаційної моделі технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності з дезагрегуванням його на функціональні складові.

Розглянемо кожну окрему характеристику технологічного процесу визначення стану зношеності як невідому лінійну систему. Її можна розглядати як елемент, що визначає зв'язок між вхідними і вихідними параметрами технологічного процесу (рис. 2.2).

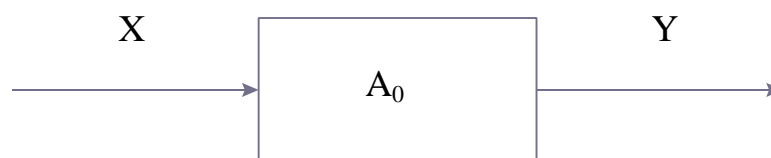


Рис. 2.2 Загальна інформаційна модель з критерієм якості, де
 $Y = A_0X; P(\Delta) \rightarrow \max$

Опис характеристик такого елемента технологічного процесу є дуже корисним для його аналізу. Для технологічного процесу зі зворотним зв'язком завдання синтезу вирішується на основі інформації про властивості кожного елемента цього технологічного процесу. Щоб визначити вплив характеристик технологічного процесу оцінювання зношування банкнот потрібно математично представити зв'язок між його вхідними і вихідними параметрами.

У загальному випадку даний технологічний процес може бути описаний співвідношеннями між вхідними параметрами $x_1(t) \dots x_2(t)$, і вихідними параметрами $y_1(t) \dots y_2(t)$.

Таким чином, інформаційну модель технологічних процесів визначення показників якості банкнот в обігу та оцінки якості їх функціонування можна представити у вигляді наступних структурно-взаємозв'язаних систем (рис. 2.3).

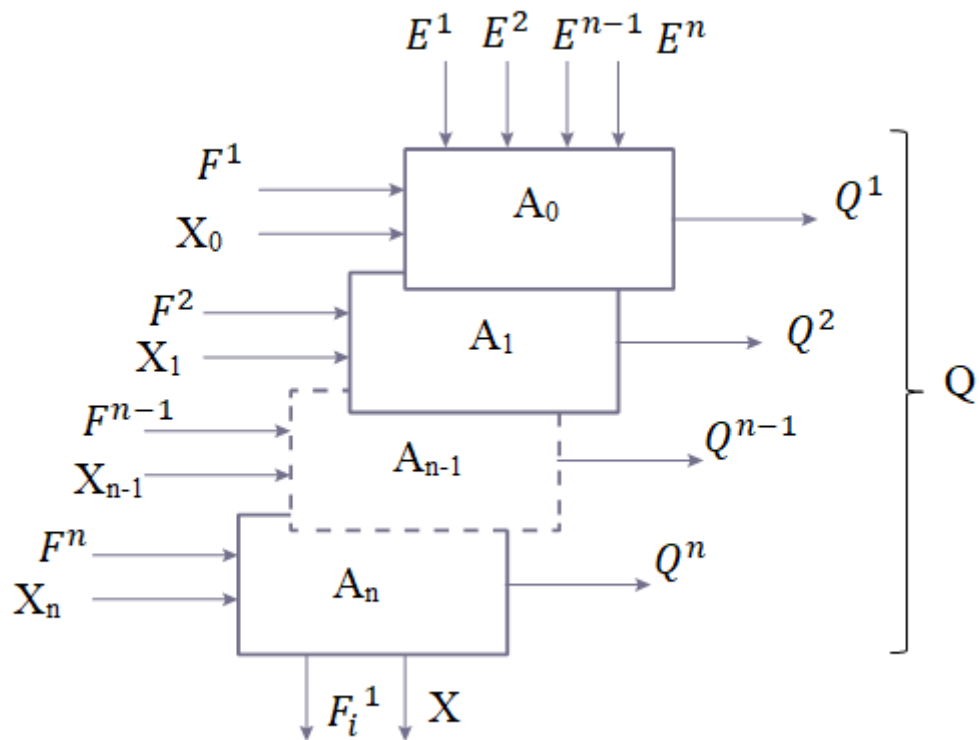


Рис. 2.3 Інформаційна модель оцінки якості технологічних процесів контролю зношеності банкнот ($Y = A_0X$; $P(\Delta) \rightarrow \max$; $Q = A_i(F_iX_{ai}E_i)$)

Оскільки оцінювання стану зношеності банкнот є складним процесом, що включає визначення показників банкнот, то частина вхідних до системи сигналів, поданих у вигляді попередніх операцій ($F^1 \dots F^n$), які виконуються низкою модулів устаткування, режимів та параметрів їхньої роботи ($X_1 \dots X_n$), є кількісно керованими (параметри зони вимірювання, критичні межі тощо). Інша частина вхідних сигналів – некеровані, і вони подані у вигляді попередніх налаштувань ($E^1 \dots E^n$), що здійснюються суб'єктивним чином.

Загальнений показник якості, деяким чином залежить від стану входів:

$$Q = A_i(F_iX_{ai}),$$

де Q – кількісні та якісні показники системи (складові цього вектора показують, наскільки ефективно функціонує система в цілому);

A_i – оператор перетворення вхідних величин.

З урахуванням використання якісних показників якості, функція збереження допуску може змінювати своє значення, а отже потрібно говорити про максимізацію її математичного очікування.

$$\begin{aligned} Q_{cp} &= [X_{a1}, X_{a2}, \dots, E_1, E_2, \dots, F_1, F_2, \dots] = \\ M &= [X_{a1}, X_{a2}, \dots, E_1, E_2, \dots, F_1, F_2, \dots] = \\ &= \int_{E=\Omega}^{E=\Omega} A_i [X_{a1}, X_{a2}, \dots, E_1, E_2, \dots, F_1, F_2, \dots] P(E) dE. \end{aligned}$$

Процедура багатопараметричної оптимізації зводиться до знаходження векторів, які задовольняють наступні нерівності:

$$\begin{aligned} d_{js}[(X_{a1}, X_{a2}, \dots)(E_1, E_2, \dots)(F_1, F_2, \dots)] &\geq Q \\ Q[(X_{a1}, X_{a2}, \dots)(E_1, E_2, \dots)(F_1, F_2, \dots)] &\leq Q^0 \geq Q^*, \end{aligned}$$

де Q^0 – заданий рівень якості системи;

Q^* – найнижчий рівень якості системи.

Таким чином, максимізація ймовірності збереження допуску на процес не передбачає досягнення максимуму усіма його складовими, що можуть приймати певні значення і характеризувати властивості системи.

Завдання оптимізації зводиться до максимізації ймовірності збереження допуску кількісних і якісних параметрів кожного з етапів технологічних процесів Q_n^0 , де вибором вектора керованих параметрів є $X(X_1, X_2, \dots)$. Компоненти вектора Q показують, наскільки ефективно функціонує система в цілому.

Загальна система оцінювання ймовірності збереження допуску та Q^0 і сукупність значень додаткових показників оцінювання q_k^+ є меншим чи рівним за значенням Q^0 та q^0 , причому значення q_k^+ можуть не набувати екстремальних значень.

Завдання оптимізації зводиться до максимізації ймовірності збереження допуску кількісних і якісних параметрів кожного з етапів

технологічних процесів Q , де вибором вектора керованих параметрів є $X(X_1, X_2, \dots)$.

Виконання цих умов передбачає виконання всіх операцій з дотриманням необхідного рівня якості при $P(\Delta) \rightarrow \max$:

$$\left. \begin{aligned} Q_1^0 &\leq Q_{1 \text{ дод}}^0 \\ Q_2^0 &\leq Q_{2 \text{ дод}}^0 \\ Q_2^0 &\leq Q_{2 \text{ дод}}^0 \\ q_1^0 &\leq q_{1 \text{ дод}}^0 \\ q_2^0 &\leq q_{2 \text{ дод}}^0 \\ q_2^0 &\leq q_{2 \text{ дод}}^0 \end{aligned} \right\}$$

Для урахування похибок, що викликані неідентичними умовами оцінювання, що є випадковими функціями часу зі своїми оцінками статистичних характеристик: середніми значеннями $m(t)$, дисперсіями \overline{D}_x , густинами розподілу ймовірностей $f(x)$, кореляційними функціями $R(\tau)$ і їх спектральними густинами $S(w)$, то:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_x \\ R_y(\tau) \\ S_y(w) \end{array} \right\} \Rightarrow f \left\{ \begin{array}{l} D_x \\ R_y(\tau) \\ S_y(w) \\ W(S) \end{array} \right\},$$

де $D_x, R_y(\tau), S_y(w)$ – відповідно дисперсія, кореляційна функція та спектральна густина вихідного процесу.

А отже:

$$\left\{ \begin{array}{l} N \\ A_{vmin} \\ A_{vmax} \\ m_{vs}, \sigma_{vs} \\ m_{vt}, \sigma_{vt} \\ f(vS) \\ f(vt) \end{array} \right\} \Rightarrow f \left\{ \begin{array}{l} \Delta_y^{\text{вих}} \\ p_x(\tau) \\ S_x(w) \\ W(S) \end{array} \right\},$$

де $\Delta_y^{\text{вих}}$ – допуск на поточне значення вихідного технологічного процесу;

N – кількість викидів за встановлений випадковий рівень;

A_{vmin} – мінімальне значення викиду;

A_{vmax} – максимальне значення викиду;

m_{vs}, σ_{vs} – середнє значення і середньоквадратичне відхилення площі викиду;

m_{vt}, σ_{vt} – середнє значення і середньоквадратичне відхилення тривалості викиду;

$f(vS), f(vt)$ – густини ймовірності розподілу площ vS і тривалості викидів vt .

Ймовірність збереження допуску (кількісної оцінки якості протікання процесів) визначається:

$$P_{\Delta} = \int_{-\Delta_x}^{+\Delta_x} f(x) dx,$$

де $f(x)$ – густина розподілу параметрів x .

Розподіл цих параметрів відрізняється від нормального, але при розрахунку допустимих значень оцінок якості технологічних процесів і операцій визначення стану зношеності банкнот можна вважати їх розподіл нормальним. При нормальному розподілі:

$$P(-\Delta x < x < +\Delta x) = \Phi\left(\frac{\Delta x - m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{m_x - \Delta x}{\sigma_x}\right),$$

де $\Phi(x)$ – функція Лапласа.

За умови нормальності розподілу і за умови що інтервал Δ_{x1} та Δ_{x2} є симетричним відносно центру розсіювання, а також $\Delta_{x1} = m_x - \Delta_x$, а $\Delta_{x2} = m_x + \Delta_x$, то справедливим буде запис:

$$P(|x - m_x| < \Delta x) = 2\Phi\left(\frac{\Delta x}{\sigma_x}\right);$$

$$P(|x - m_x| < \Delta x) = 2\Phi\left(\frac{\delta_x}{v_x}\right),$$

де δ_x – функціональний допуск на відхилення,

Φ – функція Лапласа,

$\delta_x = \Delta x / m_x - 1$; $v_x = \sigma_x / m_x$ – коефіцієнт варіації.

Таким чином, кількісною оцінкою якості протікання процесу є допуски, за межі яких процеси на повинні виходити, тому для оптимізації процесу оцінювання стану зношеності в сортувальних процесах потрібно мінімізувати вплив неконтрольованих сигналів на систему, які в даному випадку виявляються в суб'єктивному налаштуванні датчиків контролю забруднення, тобто постає проблема пошуку методологічної основи об'єктивного оцінювання і контролю комплексного показника забруднення банкнот, що може бути кількісно оціненим.

2.3 Моделювання формування електрофізичних властивостей відбитків металографічного друку

Експериментальним чином визначено технологічні основи контролю зміни якості реальних банкнот та банкнот в імітаційних умовах реального обігу за зміною їх структурних та поверхневих властивостей, які базуються на теоретичному обґрунтуванні впливу неоднорідності структури цього продукту на характер залежностей його електрофізичних параметрів (поверхневого опору, об'ємного опору, тангенсу кута діелектричних втрат та електричної ємності), що можуть бути використані як індикатор зношення банкнот [1, 93,94].

Електропровідність банкнотного паперу є невеликою, і виникає внаслідок дії таких чинників:

- наявності в складі паперу певної кількості електропровідних включень [158], найважливішим з яких є зола, частка якої в банкнотному папері складає біля 2 % маси;

- наявності в целюлозі полярних гідроксильних груп –ОН, що мають спорідненість з полярними молекулами води, що пояснює високу гігроскопічність паперу, котра посилюється капілярним характером структури матеріалу. Адсорбована вода, що містить сліди електроліту, є основною причиною електропровідності паперу. Через наявність полярних гідроксильних груп, що орієнтуються в електричному полі навколо одинарного зв'язку, проявляється ефект поляризації [**Error! Reference source not found.**];

- наявність на бавовняних волокнах основи певної кількості солей марганцю, калію, заліза та інших речовин, що збільшують електропровідність готового продукту.

Електропровідність банкнотного паперу підсилюється включенням захисних волокон та стрічок, а в подальшому – використанням захисних фарб з магнітними та УФ-властивостями.

Збільшення електропровідності банкнот в обігу внаслідок зношування відбувається за рахунок адсорбційних процесів вологи та інших забруднюючих речовин на поверхні та в товщі банкнотної основи, накопичення цих речовин в порах паперу, котрі були до забруднення заповнені повітрям, забруднювальних речовин, що мають електропровідність вищу, ніж повітря, а також утворення на поверхні основи банкноти суцільного шару розподіленого бруду (шкірного сала), котрий також має електропровідність вищу за електропровідність незношеного паперу [1,158].

Такий бруд може накопичуватись на банкноті у великій масі (до 18% маси банкноти) [158]. До того ж у процесі зношування відбувається релаксація бавовняних волокон та стирання поліграфічних фарб металографічного друку, збільшується шорсткість поверхні банкнот, та її

пористість. Дані фактори сприяють накопиченню різноманітних видів бруду не тільки на поверхні банкнот, а і в порах бавовняної основи. Всі ці процеси збільшують загальну електропровідність банкнот.

Гетерогенність банкноти виражена ще більше, ніж паперу: матеріали, що входять до її складу, значно відрізняються за своїми електрофізичними властивостями. До того ж ці складові нерівномірно розміщені як у товщі банкнотного паперу, так і на його поверхні. Наявність в структурі банкноти матеріалів з різними електрофізичними властивостями зумовлює появу електростатичних сил, які за рахунок різниці потенціалів поверхонь притягують часточки бруду.

Процес адгезії забруднювальних часток до поверхні банкнот відбувається за рахунок таких взаємодій (з урахуванням поверхневих і фізико-хімічних властивостей забруднювальних речовин та поверхні банкнот, а також їх структурних показників):

- механічні взаємодії, що є обумовленими морфологічними ознаками поверхонь, що контактують;
- фізико-хімічні взаємодії, що визначаються хімічними зв'язками та міжмолекулярними взаємодіями.

В подальшому відбувається дифузія бруду в основу. Тут має місце як фізична адсорбція забруднень на поверхні волокон основи, зумовлена Ван-дер-Ваальсовими (дисперсійними, індукційними чи орієнтаційними), або електростатичними силами (локальними, ємнісними) притягання частинок бруду – адсорбату до адсорбенту, так і хемосорбція на поверхні волокон основи, в результаті якої на межі двох фаз виникає тонкий шар із просторово розділених електричних зарядів протилежного знаку [1].

З метою визначення впливу структурних особливостей банкнот на формування їх електрофізичних властивостей та імплементування останніх як показників зношування здійснено моделювання еквівалентних схем вимірювання поверхневого та об'ємного опору (рис.

2.4) та електричної ємності і кута діелектричних втрат банкнотного паперу (рис. 2.5).

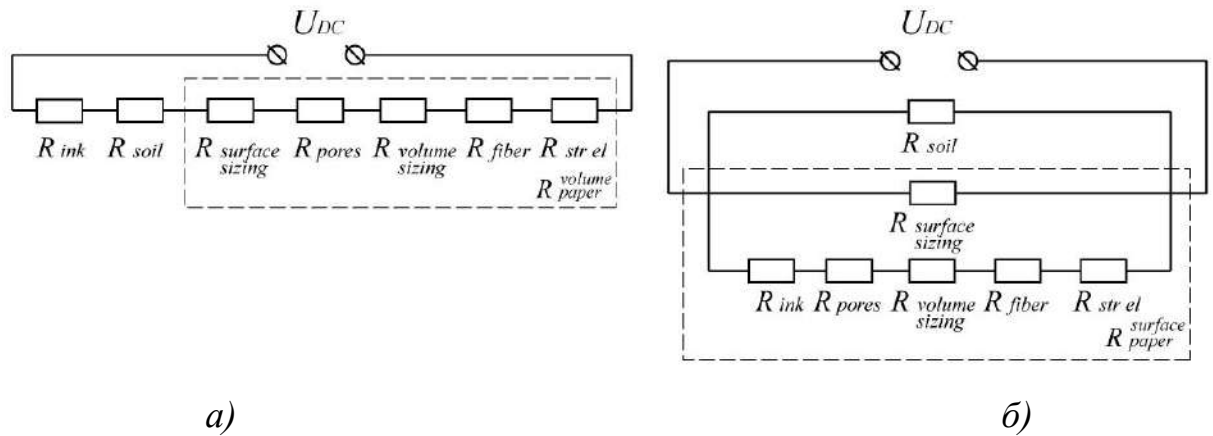


Рис. 2.4 Удосконалені еквівалентні електричні схеми банкноти: а) – об’ємний опір; б) – поверхневий опір

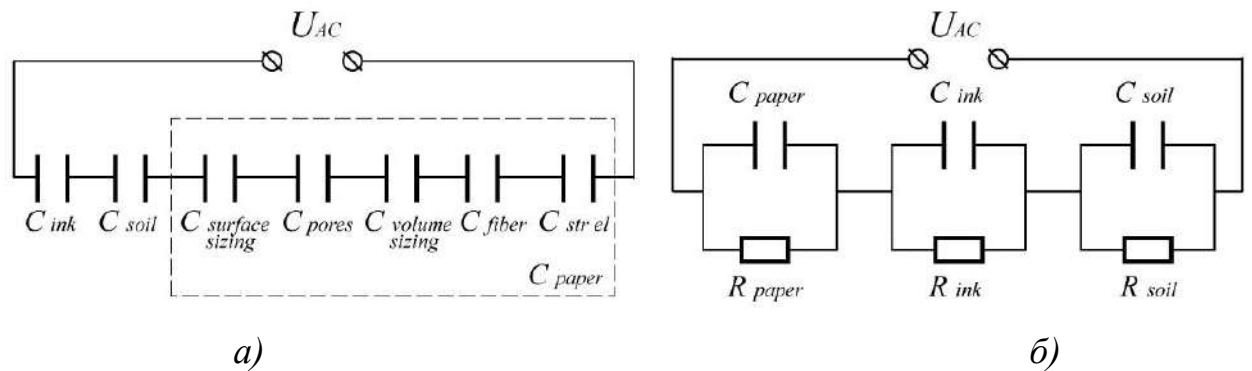


Рис. 2.5 Удосконалені еквівалентні електричні схеми банкноти: а) – електрична ємність; б) – тангенс кута діелектричних втрат

У випадку вимірювання об’ємного опору, коли напруга прикладається до протилежних боків банкноти, опір банкноти R_b^{volume} можна окреслити як опір, еквівалентний послідовно з’єднаним резисторам, опір яких дорівнює опорам різних складових банкноти визначити так:

$$R_b^{volume} = \sum_{i=1}^n R_i,$$

де i – кількість структурних складових банкнотного паперу,

$$R_b^{volume} = R_{fiber} + R_{str\ el} + R_{pores} + R_{surface\ sizing} + R_{volume\ sizing} + R_{ink} + R_{soil},$$

де R_{fiber} – опір целюлозних волокон, Ом;

$R_{str\ el}$ – опір захисних включень паперу (синтетичних волокон, металізованих волокон, захисних стрічок тощо), Ом;

R_{pores} – опір пор паперу, що заповнені повітрям, Ом;

$R_{surface\ sizing}$, $R_{volume\ sizing}$ – опори, що визначаються речовинами поверхневого та об'ємного проклеювання відповідно, Ом;

R_{ink} – опір, що визначається характеристиками фарбових шарів, Ом;

R_{soil} – опір, що визначається адсорбованими поверхнею паперу забрудненнями, Ом.

У випадку вимірювання поверхневого опору, коли напруга прикладається до одного боку банкноти, шар забруднень локалізуються на поверхні та в поверхневому шарі основи банкноти і тому повинні робити вагомий внесок у вимірюваний показник. Поверхневий опір банкнот $R_b^{surface}$ визначається так:

$$\frac{1}{R_b^{surface}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

$$\frac{1}{R_b^{surface}} = \frac{1}{R_{fiber} + R_{str\ el} + R_{volume\ sizing} + R_{pores} + R_{ink}} + \frac{1}{R_{surface\ sizing}} + \frac{1}{R_{soil}}.$$

Для імплементації описаних методів для процесу контролю процесу фарбоперенесення та контролю зношеності шару металографічного друку здійснено моделювання залежності об'ємного та поверхневого опорів від геометричних параметрів штрихів металографічного друку.

Для контролю кількості фарби на відбитку застосовано вимірювання поверхневого та об'ємного опорів.

Вимірювання об'ємного опору відбувається в напрямку, що є перпендикулярним до штрихів (рис. 2.6).

Оскільки банкнотний папір за рахунок компонентів, що він містить є діелектриком, а фарби металографічного друку, якими він задрукований містять магнітні частинки, то струм, що проходить через зразок, рухатиметься шляхом з найменшим опором, а саме: максимально через товщу фарби.

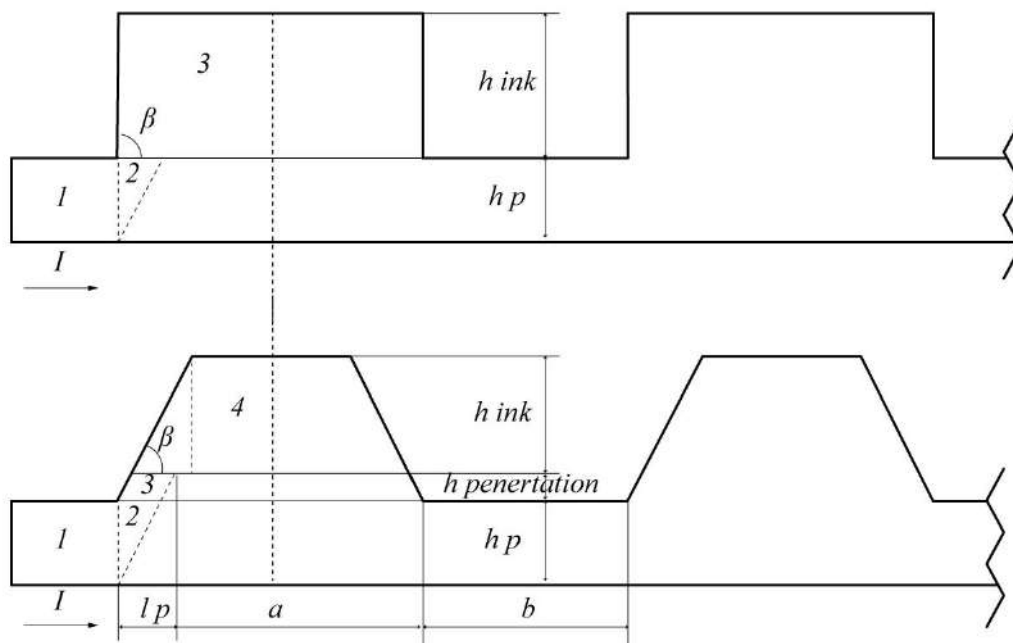


Рис. 2.5 Схема вимірювання поверхневого опору зразків з різним видом профілю: а – прямокутний профіль; б – трапецієподібний профіль

У загальному випадку струм, що проходить через товщу зразка банкноти, перпендикулярно до штрихів металографічного друку можна визначити:

$$R_{ms}^{volume} = \sum_n R_{paper\ elements} + \sum_n R_{ink\ elements},$$

де

$$\sum_n R_{paper\ elements} = (\sum_n \rho_{paper\ elements})b/h_p,$$

$$R_{ms}^{volume} = \sum_n R_{paper\ elements} + \sum_n \rho K_{ink\ element},$$

де ρ_p – питомий поверхневий опір фарби металографічного друку;
 $K_{ink\ element} = a/h$; a, h – ширина, висота зони штриха, м.

Згідно даної моделі (рис. 2.4 а), струм при проходженні з зони паперу 1 в зону проникнення фарби 2 в парів міняє свій напрямок $<45^\circ$ на відстані від початку штриха, що є рівною товщині перехідного шару (шар, що є результатом проникнення фарби металографічного друку в папір). Згодом струм проходить ділянку 3 не міняючи свого напрямку. Опір ділянки, що досліджується можна розрахувати за формулою:

$$R_i = \rho_i h_i / S,$$

де ρ_i – питомий електричний опір шарів зразків, Ом \times м;

l_i, h_i – довжина, поперечного перерізу зони відповідних зон зразка, по яким протікає струм, м.

Опір в зоні 2 визначається наступним чином:

$$R_p = \rho_p l_p / (h_p a),$$

де l_p – еквівалентна товщина перехідного шару, м;

h_p – товщина паперу, м.

Опір ділянки 3 товщиною $h_{penetration}$ при $45^\circ < \beta < 90^\circ$ рівна опору паралелепіпеда з площею поперечного перерізу $h_p a$ та довжиною $h_{penetration}$.

Даний опір визначається:

$$R_{penetration} = \rho_{penetration} / (t_p a),$$

де $\rho_{penetration}$ визначається:

$$\rho_{penetration} = \rho_{surface\ sizing} + \rho_{ink}.$$

Опір ділянки 4 та 5 фарбового шару товщиною t_{ink} при $45^\circ < \beta < 90^\circ$ рівна подвоєному опору паралелепіпеда з площею поперечного перерізу $t_{ink} a$ та довжиною h_{ink} .

Опір цієї ділянки визначається:

$$R_{ink} = \frac{2\rho_{ink}h_{ink}h_{ink}}{h_{ink}a} = 2\rho_{ink}h_{ink}/a.$$

Для штрихів металографічного друку, з крайовим кутом, що друку не перевищує 45° і знаходиться у межах $0^\circ < \beta < 45^\circ$, струм, що проходить через зону 1 (зону паперу) змінює свій напрямок на ділянці 2 на кут β , протікаючи в проміжний шар на величину, що рівна:

$$l_p = h_p / \operatorname{tg} \beta.$$

Важливим є той факт, що при дані моделі струм на ділянці 3 зустрічає більший опір зі сторони фарбового шару ніж при $45^\circ < \beta < 90^\circ$. Це виникає за рахунок збільшення довжини $l_{penetration} = h_{penetration} / \sin \beta$ та при зменшенні ширини ділянки 3: $h = (h_p / \operatorname{tg} \beta) \sin \beta = h_p \cos \beta$. Величина h є мінімальною при $\beta = 45^\circ$ і становить $0,707h_p$. При зменшенні кута β величина h буде наближатись до h_p . Струм на ділянці 4 змінює свій напрямок і протікає по всьому штриху.

$$R_p = \rho_p h_p / (b h g \beta),$$

$$R_{penetration} = \frac{\rho_{penetration} h_{penetration} l_p}{h a} = h_{penetration}^2 \rho (a h_p \cos \beta \sin \beta) = 2\rho_{penetration} h_{penetration}^2 (a h_p \sin 2\beta),$$

$$R_{ink} = \frac{2\rho_{ink} h_{ink}}{a h g \beta}$$

Загальний опір ділянки з штрихами розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} R_{ms}^{volume} &= \sum_n R_{paper\ elements} + \sum_n 2(R_{p\ n} + R_{penetration\ n} + R_{ink\ n}) =, \\ &= \sum_n R_{paper\ elements} + \sum_i (2\rho_p l_p / (h_p a) + 2\rho_{penetration} h_{penetration}^2 \times \\ &\quad (a h_p \sin 2\beta) + 2(R_p + R_{penetration} + R_{ink})), \end{aligned}$$

де n – кількість штрихів в вимірюваній зоні.

Аналогічним чином проведемо розрахунок поверхневого опору відбитка металографічного друку з метою визначення показника поверхневого опору.

Отримаємо:

$$R_{surface} = \frac{1}{\sum_n R_{paper\ elements}} + \frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{\rho_p l_p / (h_p a)} + \frac{1}{\rho_{penetration} / (t_p a)} + \frac{1}{2\rho_{penetration} h_{penetration}^2 (a h_p \sin 2\beta)} \right)}$$

Оскільки штрихи металографічного друку не є ідеальними по своїй формі на відбитку, а саме: перепади по висоті та ширині фарбового рельєфу в одному штриху, важливим є можливість визначення загального об'єму фарби, що міститься на відбитку (на поверхні та в товщі банкнотного паперу). Даний розрахунок можна провести з використанням значення об'ємного опору на вимірюваній ділянці за формулою:

$$V_{ink} = \frac{2\rho_{ink} h_{ink}^3}{a h g \beta} (R_{volume} - R_{paper}).$$

Отже, об'єм фарби на відбитку є прямопропорційним до показника об'ємного опору (вимірюваної зони).

Висновки до розділу 2

1. Здійснено моделювання процесу штучного зношування банкнот, що, із залученням уперше запропонованої узагальненої інформаційної моделі процесу визначення зношеності банкнот із дезагрегуванням технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності на функціональні складники, дає змогу нормувати технологічні режими та допуски імітації зношування з метою відтворення

його реальних процесів в імітаційних умовах з урахуванням питомої частки пошкоджень банкнот у реальному обігу та допусків на їх значення

2. Визначено, що кількісною оцінкою якості протікання процесу оцінювання стану зношеності будуть допуски, за межі яких процеси оцінювання на повинні виходити. Визначено напрямок оптимізації процесу оцінювання зношування в сортувальних процесах, що полягає в мінімізації впливу неконтрольованих сигналів на систему, які в даному випадку виявляються в суб'єктивному налаштуванні датчиків контролю забруднення, тобто постає проблема пошуку методологічної основи об'єктивного оцінювання і контролю комплексного показника забруднення банкнот, що може бути кількісно оціненим.

3. Розвинуто еквівалентні електричні схеми задрукованого різними видами друку банкнотного паперу, які враховують волоконний склад паперу, поверхнєве й об'ємне проклеювання, захисні елементи, а також зношеність, що дозволяє прогнозувати якість банкнотної продукції, у тому числі в процесі експлуатації. Створено модель формування поверхневого та об'ємного опорів банкнот, у результаті чого створено моделі формування електрофізичних характеристик відбитків металографічного друку, які дозволяють пояснити механізм формування електрофізичних властивостей фарбових шарів металографічного друку, встановити залежності поверхневого та об'ємного опорів зразків від параметрів штрихів і таким чином визначити об'єм фарби на відбитках, що, дозволяє встановити норми фарбоперенесення за заданих параметрів штрихів друкарських форм металографічного друку, а також контролювати стійкість фарбового шару металографічного друку банкнот у процесі зношування.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальні умови проведення експериментальних досліджень

Мета проведення експериментальних досліджень – встановити взаємозв'язок технологічних параметрів виготовлення зі стабільністю і прогнозованістю показників якості банкнот в обігу з урахуванням допусків технологічного процесу їх виготовлення, окреслити ефективність застосування методів визначення зношеності та зміни параметрів банкнот в обігу, зокрема параметрів фарбового рельєфу, а також перевірити адекватність запропонованих аналітичних, та математичних моделей.

В основу експериментальних досліджень покладено реалізацію методів визначення параметрів, які є критеріями оцінювання збереження якості банкнот в обігу, а також визначення їхнього взаємозв'язку з технологічними факторами виготовлення банкнот. Критерієм вибору технологічних параметрів досліджуваного процесу є забезпечення та збереження якості готової захищеної продукції.

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних і виробничих умовах на «Банкотно-монетному дворі Національного банку України», а також на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського, на кафедрі відновлюваних джерел енергії факультету електроенерготехники і автоматики КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також на кафедрі інструментального виробництва Механіко-машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Експериментальні дослідження ґрунтувалися на використанні стандартних та спеціально розроблених методик дослідження зміни

яскравості, колірних характеристик, маси, товщини, поверхневого та об'ємного опорів, електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат банкнот з обігу та спеціальних експериментальних зразків, які піддавались процесу штучного зношування, що з певним ступенем достовірності штучно імітує механічні та хімічні впливи, що діють на банкноти в обігу, а також використанні стандартних та спеціально розроблених методик із застосуванням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури.

3.2 Особливості технологічного процесу виготовлення досліджуваних зразків

В експериментальних дослідженнях було використано банкноти української гривні номіналом 1, 2, 5, 10 грн, що були відібрані з обігу та розподілені на 5 груп відповідно до рівня їх фізичного зношення, згідно з результатами експертного оцінювання, а саме: 1 – найновіші, 5 – банкноти з максимально погіршеними характеристиками (табл. 3.1). Вибір даних банкнот даних номіналів обґрунтований найменшою нормою обігу серед усіх номіналів банкнот української гривні. Також використано дослідні зразки банкнот, виготовлені на банкнотному виробництві з дотриманням відповідних умов на аркушевих друкарських машинах *De La Rue Giori S.A Super-Orlof-Intaglio* та *Super Offset Simultan 4*. Ці зразки відрізнялися за технологіями друкування, що були використані для їх виготовлення (без друкування (БД), офсетний друк (ОФ), металографічний друк (М), офсетний друк з одностороннім металографічним друком (ОФ+М), офсетний друк з двостороннім металографічним друком (ОФ+Мд)) та технологічними параметрами металографічного друку (змiна тиску в друкарській парі та змiна швидкості друкування) для оцінювання впливу технологічних параметрів виготовлення банкнот на показник їхньої зносостійкості. Зразки

піддавались багаторазовому штучному зношенню в імітаторі обігу, відповідно до методики, описаної в розд. 3.3. Характеристики друкарського паперу, що було використано для виготовлення зразків наведено в табл. 3.3.




Таблиця 3.1

Розподіл банкнот з обігу відповідно до рівня зношування

№ групи зношення	Банкноти української гривні номіналом 2 грн	Банкноти української гривні номіналом 5 грн
1		
2		
3		
4		
5		

Таблиця 3.2

Розподіл експериментальних зразків банкнот відповідно до обраних технологій виготовлення

Наявні технології друкування	Експериментальні зразки (номінал 2 грн)	Експериментальні зразки (номінал 10 грн)
Без друку		
Офсетний		
Металографічний		
Офсетний і металографічний		
Двосторонній металографічний		

Таблиця 3.3

Характеристики банкнотного паперу для виготовлення експериментальних зразків

№ з/ч	Назва показника	Вид паперу	
		1	2
1	Використання паперу	Тиражний	Тиражний
2	Номінал, грн.	2	10
3	Кількість шарів	Одношаровий	Одношаровий
4	Проклеювання	Меламін-	Меламін-
5	Маса паперу площею 1м ² , г	87,0	85,8
6	Товщина паперу поза водяним знаком, мкм	109±3,0	106±2

7	Поверхнева вбирність води, г/м ² (Кобб ₆₀)	31,5±2,0	25,5±1,0
	- верхній бік паперу	30,5±3,0	
8	Шорсткість, см ³ /хв. верхній бік /сітковий бік	377/384	337/368
9	Масова частка золи, %	2,4	2,5
10	Вологість, %	6,8	6,7

Для дослідження параметрів якості фарбоперенесення та стійкості шару металографічного друку через контроль електрофізичних параметрів відбитків було виготовлено спеціальні зразки металографічного друку (рис. 3.1), що дало можливість оцінити вплив параметрів гравійованих штрихів друкарських форм металографічного друку на показник фарбоперенесення.

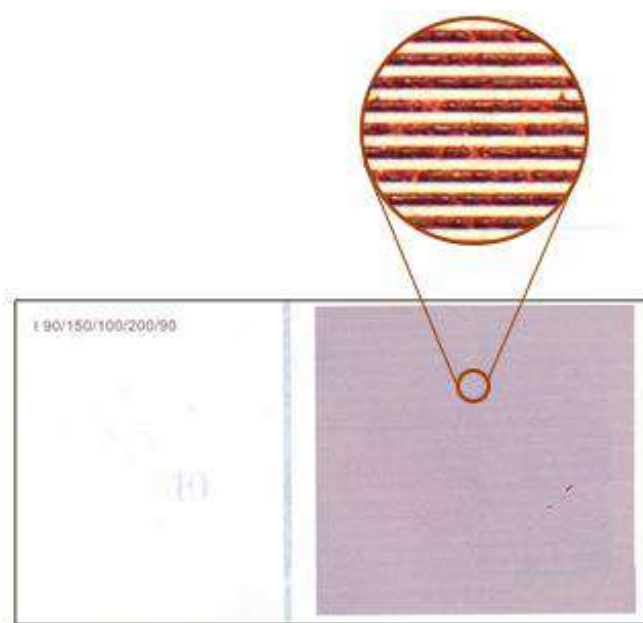


Рис. 3.1. Експериментальний зразок металографічного друку

Як фактори впливу, які досліджувались, виокремлено від профілю гравійованих штрихів друкарської форми (прямокутний, трапецієподібний, трикутний); ширина гравійованих штрихів (a), мкм; глибина гравійованих штрихів (h), мкм; відстань між гравійованими штрихами (b), мкм; кут нахилу бокових стінок штриха (β), град.; тиск у друкарському контакті (P), (у.о.); швидкість друку (V), тис. арк./год. Всі

фактори, окрім тиску у друкарському контакті та швидкості друку враховано під час виготовлення друкарської форми.

Для виготовлення даних експериментальних зразків було виготовлено друкарську форму металографічного друку (рис. 3.2), виготовленої за технологією *DLE (Direct Laser Engraving)*, друкувальні елементи якої, різняться за наступними параметрами:

1. Вид профілю. Обрано симетричні види профілю (прямокутний, трикутний з нахилом грані комірки 51° , 57° , 64° та 72° , а також трапецієподібний з нахилом грані штриха 75° та 60°).

2. Ширина гравійованих штрихів. Для виготовлення друкарської форми обрано ширину штриха 90 мкм і 150 мкм з урахуванням аналізу ширини штрихів металографічного друку на банкнотах української гривні.

3. Глибина гравійованих штрихів, значення якої обрано в 30 мкм, 60 мкм та 100 мкм з урахуванням геометричних обмежень для різних видів профілю.

4. Відстань між комірками форми.

5. Кут нахилу штриха до площини пробільних/друкувальних елементів.

В табл. 3.4 наведено технологічні режими друкування, які використано для виготовлення експериментальних зразків металографічного друку.

Тиск в друкарському контакті під час металографічного друку на машині *De La Rue Giori S.A Super-Orlof-Intaglio* регулювався зміною щілини між друкарським та формним циліндром відносно стандартного значення (середній тиск), встановленого для друкування тиражної продукції.

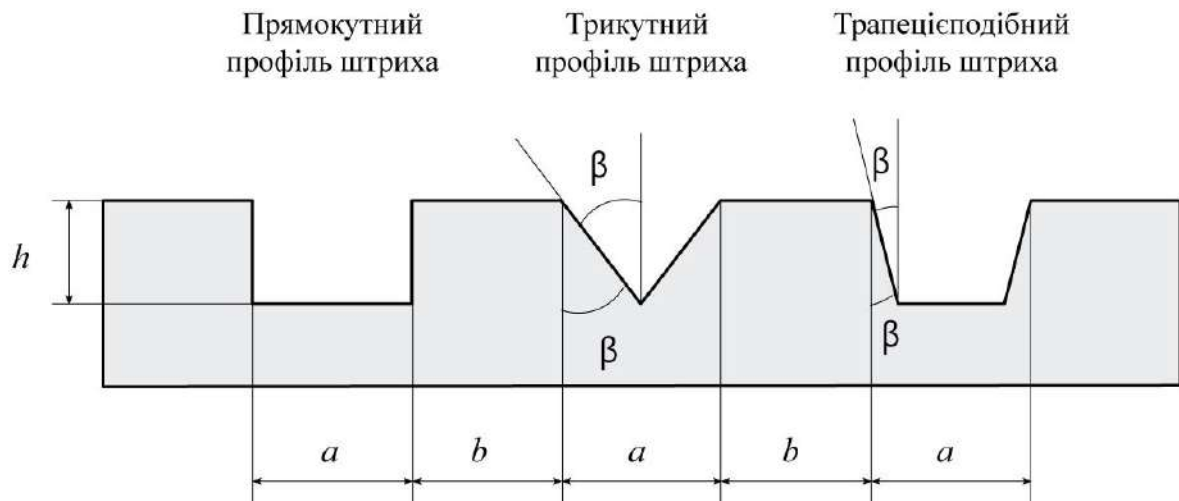


Рис. 3.2. Параметри комірок модельної форми металографічного друку:

a – ширина комірки, h – глибина комірки, b – ширина пробільного елемента, β – кут нахилу бічної грані комірки до площини пробільного/друкувального елемента.

Таблиця 3.4

Технологічні режими друкування зразків

№	Позначення режиму друкування	Тиск у друкарському контакті	Швидкість друкування, тис. арк./год
1.	Норм. тиск, 8 тис.	Нормальний (+0,06)	8
2.	Пониж. тиск, 8 тис.	Понижений (+0,02)	8
3.	Підвищ. тиск, 8 тис.	Підвищений (+0,1)	8
4.	Норм. тиск, 5 тис.	Нормальний (+0,06)	5

У Додатку А наведено технологічні параметри виготовлення друкарської форми.

3.2.1 Методика проведення експертного оцінювання стану зношеності банкнот

З метою оцінювання стану зношеності користувачами банкнотної продукції застосовано методика дискримінації, що базується на альтернативній процедурі відбору «одного з ...». Для дослідження були залучені незалежні експерти для оцінювання банкнот. При цьому їх було поділено на групи, що складались з двох експертів – дослідника та

реєстратора. Експериментаторами було сформовано групи зразків, кожна з якої мала по три варіації банкнот різних ступенів зношення, причому два зразка із варіацій є представниками одного типу, а третій – іншого типу. Дослідниками було здійснено почергове дослідження зразків. В результаті визначено екземпляри, які за їх критеріями якості не є схожим на два інших, тобто відібрано «один із...». [54].

Таким чином було сформовано по 5 груп зношувань для кожного з досліджуваних номіналів, що налічували від 20 до 50 банкнот з реального обігу та для кожного виду експериментальних зразків після процесу їх штучного зношування.

3.3 Методика штучного зношування експериментальних зразків

У процесі проведення експериментальних досліджень з метою детермінування стохастичного простору подій, що відбуваються з банкнотами у реальному обігу, які впливають на зміну показників зношення, а також визначення тенденції щодо їх зміни у процесі зношування у лабораторних умовах було розроблено технологію прискореного зношування банкнот [88].

Забезпечення стану зношеності досягається фізичним зношенням банкнот, які піддаються обертанню протягом 1..5 циклів тривалістю 5..30 хвилин у імітаторі обігу банкнот (рис. 3.3) у присутності зношувальних агентів та забруднювальної суміші.

Забезпечення поступового забруднення банкнот забруднювальною суміш ділиться на рівні частини (в залежності від кількості циклів), які почергово вводяться на початку кожного із циклів.

З метою прискорення старіння основи банкнот в імітаторі обігу банкнот забезпечується температура 20..50 °С.

У якості зношувальних агентів передбачено використання полімерних еліпсоїдів розміром 2...3,8 мм, твердістю по Шору А 20...30,

шорсткістю поверхні Rz 50...200 та середнім кроком нерівностей поверхні Sm 100..200 мкм.

З метою підсилення розтягування та згинання використовуються 2..6 навантажувальних елементів вагою 7..12 г, які фіксуються на краях банкноти попарно симетрично відносно осей симетрії банкноти.

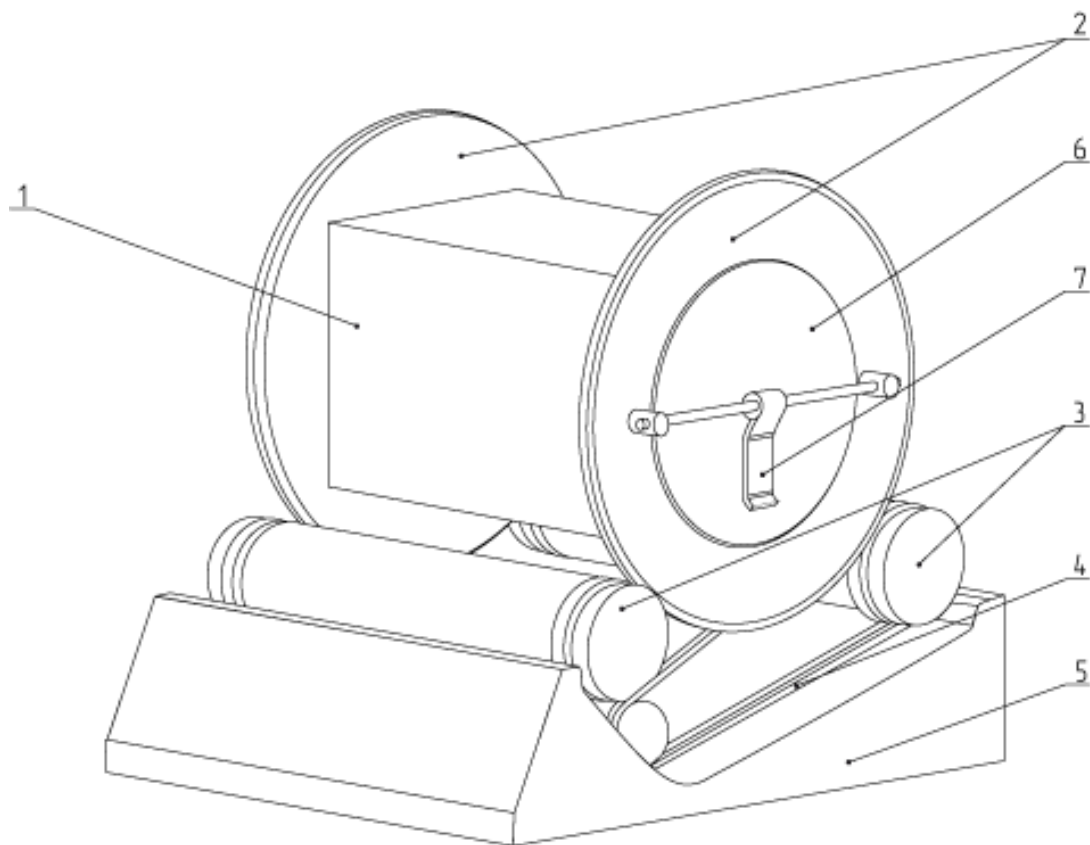


Рис. 3.3. Конструкція імітатора обігу:

1 – барабан імітатора, 2 – основа барабану, 3 – опорні валики, 4 – ремінна передача, 5 – станина, 6 – кришка імітатора, 7 – прижим

Результатом винаходу процесу штучного зношування є штучно зношена банкнота, яка за своїми властивостями відповідає банкноті з обігу з рівнем зношеності, що відповідає кількості циклів зношування, що були застосовані.

Для реалізації поставленого корисною моделлю завдання пропонується конструкція імітатора обігу, що являє собою паралелепіпедоподібний барабан 1 розміром 200..300 x 200..300 x 300..400 мм із круглими основами 2, обертання якого забезпечується

опорними валиками 3 та ремінною передачею 4, які приводяться в рух за допомогою електродвигуна, вмонтованого у станину 5. Введення зношувальних агентів, прес-пластини, забруднювальної суміші та зразків банкнот відбувається через отвір в одній із основ, який щільно закривається кришкою 6, фіксованою прижимом 7.

Зразки банкнот, що піддають зношуванню згідно цього методу, є спеціально підготовленими, що продемонстровано на рис. 3.4, за допомогою пробивання на краях банкноти 2..6 отворів 8 діаметром 2..5 мм та фіксації 2 смужок жорсткості 9 з обох сторін банкноти за допомогою 4 навантажувальних елементів у вигляді гвинта 10 і гайки 11 (діаметр головки дорівнює 10..15 мм, довжина 15..20 мм). Рис. 3.4 відображає комбінації закріплення навантажувальних елементів під час кожного із циклів.

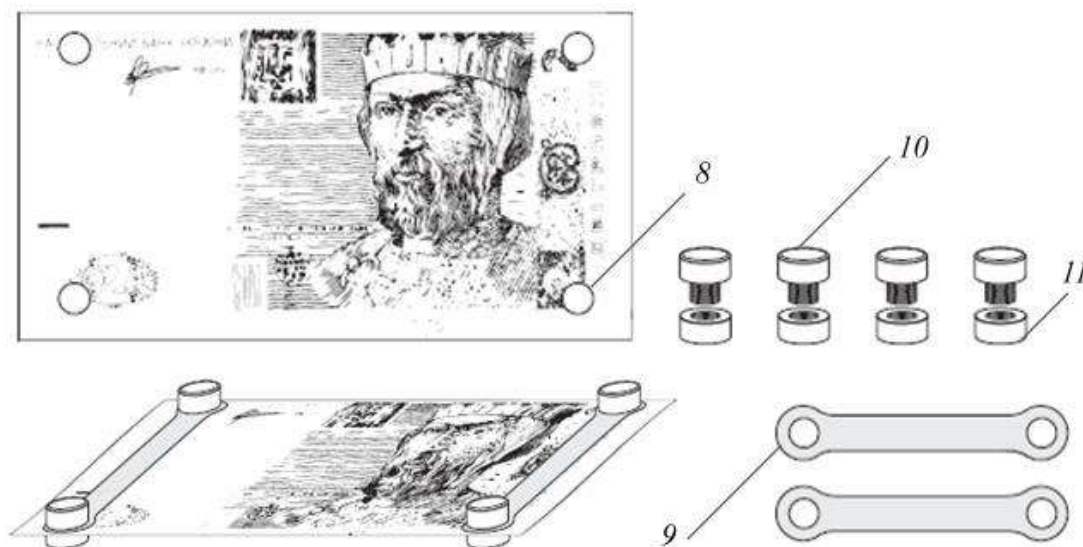


Рис. 3.4. Підготовка експериментальних зразків до зношування:
8 – отвори, 9 – смужки жорсткості, 10 – гвинт, 11 – гайка

Штучне зношування експериментальних зразків банкнот відбувалось циклічно (3 цикли по 10 хвилин) з використанням забруднювальних речовин, що моделюють органічні та неорганічні сполуки, які є основними при забрудненні банкнот в обігу. Накопичення забруднювальних часток на поверхні банкнот може відбуватися за

рахунок як механічних взаємодій, обумовлених морфологічними ознаками контактуючих поверхонь, так і хімічних взаємодій, що визначаються хімічними зв'язками та міжмолекулярними взаємодіями [2].

Тверді забруднювальні речовини:

1) біла глина, як аналог гідрофільного сухого бруду з розвиненою морфологією поверхні;

Рідкі забруднювальні речовини:

1) соняшникова та оливкова олія, що використовується для імітації жироподібних речовин;

2) спирт, 70%, що використовується для збільшення на поверхні та в товщі банкнотного паперу речовин, які містять кисневмісні групи;

3) штучна речовина, що за своїм складом близька до складу людського поту (хлорид натрію (4,5 г); хлорид калію (0,3 г); хлорид амонію (0,4 г); сульфат натрію (0,3 г); молочна кислота, 80% (3,0 мл); сечовина (0,2 г); дистильована вода (1000 мл) [53].

Кількість забруднювальної суміші визначено з таких міркувань: для банкнот з реального обігу збільшення маси однієї банкноти внаслідок накопичення шару забруднень на поверхні становить $0,046 \pm 0,024$ г. Кількісні значення забруднюючих агентів, що використані для зношування 20-ти банкнотних зразків наведені в табл. 3.5:

Таблиця 3.4

Кількісні характеристики забруднювальних речовини штучного зношування

Речовина	Кількість
Глина	0,24 г
Олія соняшникова	0,5 мл
Спирт 70%	0,4 мл
Олія оливкова	0,5 мл
Штучний піт	1,5 мл

Технічним результатом застосованого процесу є штучно зношені зразки банкнот, що за своїми властивостями відповідають банкнотам з обігу з рівнем зношеності, що відповідає кількості циклів зношування, що були застосовані (Додаток В).

3.4 Методика проведення експериментальних досліджень зміни показників якості банкнот у процесі зношування

Якість банкотної продукції визначається показниками захищеності, розпізнаваності, машиночитаності, естетичного сприйняття та технологічності, що мають бути притаманні банкнотам упродовж усього часу їхнього перебування в обігу. Збереження цих ознак виражається показником зносостійкості. Оскільки контроль показників якості та їх зміни під час обігу мають свої особливості, зумовлені різними фізико-механічними, фізико-хімічними та оптичними властивостями різних структурних елементів, це впливає на вибір показників зношеності банкнот.

Дослідження характеристик усіх видів експериментальних зразків паперу проводилися на такому обладнанні:

1. Визначення показників зміни маси банкнот – на вимірювальному приладі *TBE-2,1-0,01* відповідно до ГОСТ Р ІСО 536-2013 [58].

2. Визначення колірності та яскравості – на вимірювальному приладі спектрофотометрі *CS-5 Chroma Sensor datacolor international* відповідно до [57, 56, 91].

3. Визначення поверхневого опору – за допомогою спеціально розробленої методики, описаної в розд. 3.4.1.

4. Визначення об'ємного опору – на вимірювальному приладі *Тераомметр Еб-13А* відповідно до ГОСТ Р 50499-93 [59, 96].

5. Визначення електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат – на вимірювальному приладі *CM7115A*. Для розширення вибірки значень та зменшення похибок, вимірювання відбувалось у трьох зонах банкноти через розташування банкноти між пластинами конденсатора ($D=70\text{мм}$): зона водяного знаку, зона полімерної стрічки та зона портрету. Час витримки – 15 с при прикладенні змінної напруги частотою 1 кГц.

3.4.1 Розробка способу та пристрою для визначення стану зношеності банкнот

Вимірювання поверхневого опору було проведено згідно експериментальної методики, що полягає у вимірюванні напруги між крайовими частинами банкнот під час прикладення до суміжних крайових частин напруги сталої величини (рис. 3.5) [60].

Даний спосіб передбачає прикладання напруги до банкноти між точками 1 та 2 на протилежних краях її коротшої сторони та підтримується постійною напругою (U_{12}), для чого використовується блок живлення 5.

Внаслідок прикладення напруги виникає струм у напрямку від точки 1 до точки 2, котрий є адитивною величиною струмів через усі складові структури банкноти. Вимірювання вольтметром (V) величини напруги між протилежними до місця прикладення напруги ділянками зразків (3 і 4 на рис. 3.5) відбувається за допомогою точкових вимірювальних електродів.

Точки прикладення напруги 1 і 2 розташовані на осі симетрії банкноти в вздовж її довшої сторони, R_{13} – опір цієї ділянки. Точки вимірювання 3 і 4 розташовані на вісі, що є перпендикулярною до осі симетрії з урахуванням вимоги забезпечення відстані між електродами не менш як 2 см. R_{24} – опір ділянки паперу між точками 2 та 4, R_{34} – опір ділянки паперу між точками 3 та 4.

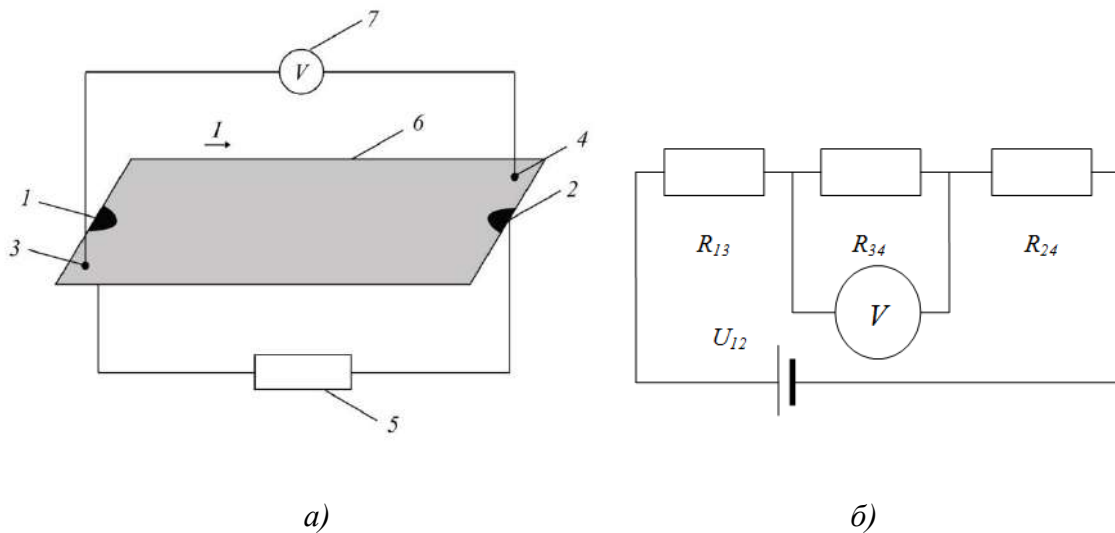


Рис. 3.5. а) – схематичне зображення досліду: 1,2 – точки прикладання напруги, 3,4 – точки вимірювання спаду напруги, 5 – блок живлення, 6 – експериментальний зразок, 7 – мультиметр; б) еквівалентна електрична схема вимірювань: U_{12} – прикладена напруга 10 В, R_v – вхідний опір вольтметра 1 МОм, R_b – опір ділянки банкноти

Значення струму, що проходить через структуру банкноти, змінюється в залежності від величини забруднення та вологості грошового знаку, у результаті чого відбувається падіння напруги, що і вимірюється за допомогою чутливого вольтметра 7. На основі вимірної зміни величини напруги і робиться висновок щодо стану банкноти та її придатності до подальшого обігу.

Оскільки опір ділянки паперу, що вимірюється, суттєво більший за вхідний опір мультиметра, то еквівалентна схема вимірювання може бути спрощено, враховуючи закон Ома для еквівалентної електричної схеми маємо:

$$U_v = U \frac{R_v}{R_b + R_v},$$

Звідки:

$$R_b = R_v \frac{U}{U_v} - R_v.$$

Для застосування даної методики при проведенні експериментальних досліджень використано мультиметр *M830Biz* та блок живлення *NES-75-24*.

3.4.2 Методика проведення досліджень характеристик фарбового рельєфу металографічного друку

У процесі теоретичних досліджень процесів зношування банкотної продукції, було визначено, що одним з показників зношування банкнот є зменшення висоти фарбового рельєфу, що виникає через стирання фарб металографічного друку за рахунок контактних механічних взаємодій поверхні банкнот. Зменшення цього показника виявляється не лише в негативному впливі на тактильні властивості банкнот, а і у забрудненні поверхні паперу банкноти фарбами металографічного друку [1]. Контроль зміни цього показника не відбувається під час сортувальних процесів банкнот, його контроль можливий лише методами контактної та оптичної профілометрії поверхні банкнот.

Вплив геометричних параметрів друкарської форми металографічного друку на параметри отриманих штрихів досліджено вимірюванням параметрів профілю поверхні дослідних зразків металографічного друку на чотирьох різних ділянках в межах задрукованої зони на комп'ютеризованому комплексі на основі контактного профілометра моделі 296 №Э-230 (рис. 3.6). Рух голки профілометра був спрямований перпендикулярно напрямку штрихів, діаметр голки – 10 мкм. Кожна досліджувана вибірка налічувала 4 банкноти кожного з досліджуваних профілів.

Параметри, що досліджувались (рис. 3.6) дають можливість кількісно оцінити фактичну величину фарбоперенесення, а також визначити вплив параметрів комірок форм металографічного друку на параметри штрихів на відбитку.

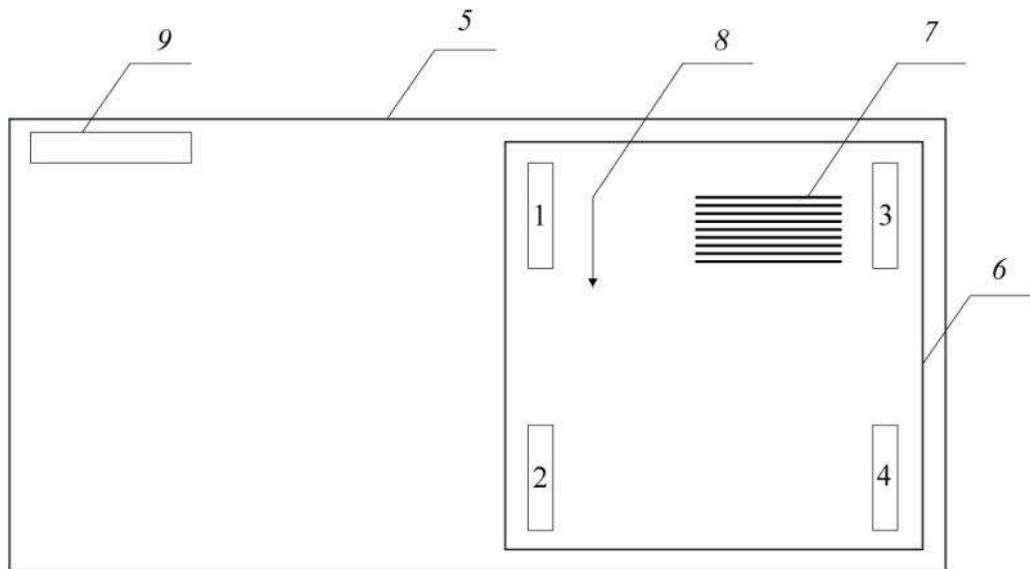


Рис. 3.6. Вимірювання параметрів фарбового рельєфу дослідних зразків металографічного друку: 1, 2, 3, 4 – зони вимірювань; 5 – зразок; 6 – область задрукованої зони; 7 – напрям штрихів в задрукованій зоні; 8 – напрямок проведення вимірювань параметрів профілю штрихів; 9 – позначення зразка

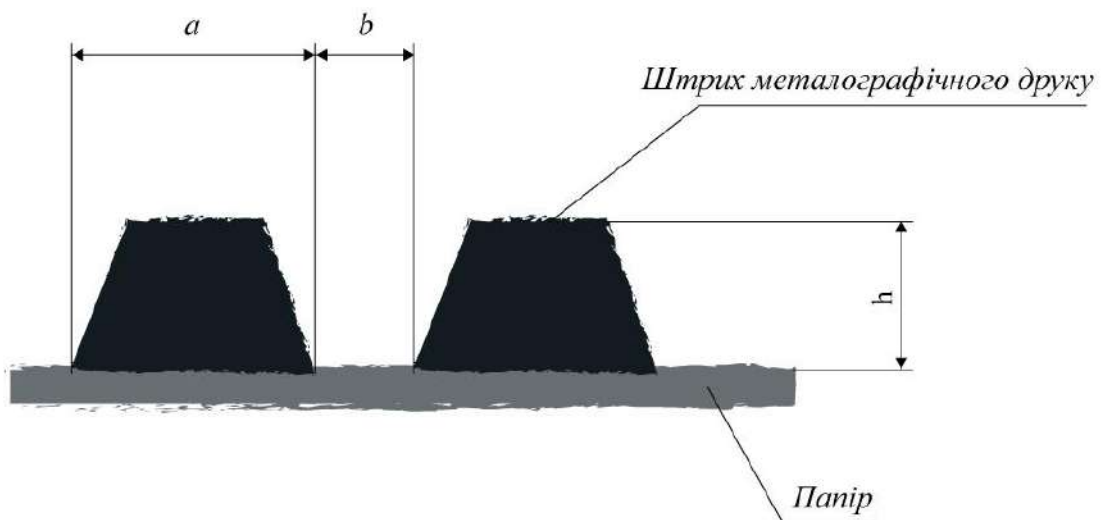


Рис. 3.7. Досліджувані параметри відбитків металографічного друку: a – ширина штриха, h – висота штриха, b – ширина між штрихами

Кожна досліджувана зона налічувала 18-21 штрихів.

Вимірювання електрофізичних характеристик зразків металографічного друку здійснювалось в задрукованій і не задрукованій зонах зразків з метою визначення загального показника фарбоперенесення. Геометричні параметри друкарської форми, яку було

використано для виготовлення експериментальних зразків металографічного друку наведено в Додатку В.

3.5 Методика оброблення експериментальних даних

Після отримання результатів дослідження було проведено їх статистичну обробку. Для визначення викидів вимірювань застосовано критерій Граббса. Для перевірки отриманих експериментальних даних на нормальність розподілу застосовано методику складового критерію за ГОСТ 8.207 [89].

Критерій 1. Відношення α :

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_i|}{n \times \delta},$$

де j – індекс спостережень;

i – індекс вибірки (серії) спостереження;

x_{ij} – результат j -го спостереження в i -тій вибірці (серії);

n – кількість спостережень у вибірці (серії);

x_i – середнє арифметичне результатів результатів в i -ій вибірці (серії).

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n},$$

δ – зміщена оцінка середнього квадратичного відхилення x_{ij} :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_i)^2}{n}},$$

Результати спостережень вибірки (серії) можна вважати розподіленими нормально, якщо

$$d_{1-\frac{q_1}{2}} < \alpha \leq d_{\frac{q_1}{2}},$$

q_1 – вибраний рівень значимості критерію 1;

$d_{1-\frac{q_1}{2}}, d_{\frac{q_1}{2}}$ – квантилі розподілу отриманих значень.

Критерій 2. Можна вважати, що результати спостережень належать нормальному розподілу, якщо не більше m різниць $|x_{ij} - x_i|$ перевершили значення $z_{\frac{p}{2}} \times \sigma$, де σ – оцінка середнього квадратичного відхилення, що розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_i)^2}{n-1}},$$

$z_{\frac{p}{2}}$ – верхній квантиль розподілу нормованої функції Лапласа, який відповідає вірогідності $\frac{p}{2}$.

Відносна зміна показників банкнот та експериментальних зразків внаслідок зношування визначалась:

$$\Delta X = (X_n - X_3) / X_n,$$

де X_n – значення показника для незношених банкнот (ступінь зношеності 1), X_3 – опір зношених банкнот відповідного ступеню зношеності.

3.5.1 Методика оцінювання показників зношення

Встановлено, що сприйняття поняття, ознак та критичності показників зношеності банкнот користувачами банкотної продукції не співпадає з нормативними показниками при визначенні стану зношеності в обробних комплексах [90].

З метою оцінювання ступеню приналежності досліджуваних показників зношеності до результатів експертного оцінювання розроблено спеціальну методологію на основі створеного алгоритму та відповідного програмного забезпечення, написаного мовою програмування *Python*, із застосуванням елементів кластерного аналізу,

що дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану зношеності банкнот з урахуванням їх кроскореляційного зв'язку [111] з результатами суб'єктивного контролю зношеності за допомогою експертного оцінювання користувачами банкнотної продукції.

Розроблений алгоритм (рис. 3.8) базується на використанні кореляційного, детермінаційного та кластерного аналізу – багатовимірної статистичної процедури, що виконує збір даних, які містять інформацію про вибірку об'єктів, і впорядковує об'єкти в порівняно однорідні групи.

Запропонований алгоритм використовує метод k-значень, що мінімізує сумарне квадратичне відхилення точок кластерів від центрів цих кластерів.

Створене програмне забезпечення використовує бібліотеки *NumPy*, *Pandas*, *Matplotlib* (*SciPy Stack*), *Seaborn*, що дозволяє проводити статистичну обробку результатів та візуалізувати результати у вигляді багатовимірної системи визначення належності кожного вимірюваного експериментально значення з вибірки до певного центроїда, що яскраво візуалізує спорідненість або розсіювання характеристик банкнот та банкнотних зразків з рівнем їх зношеності (рис. 3.9). Програмний код, який визначає описане програмне забезпечення наведено в Додатку Д.

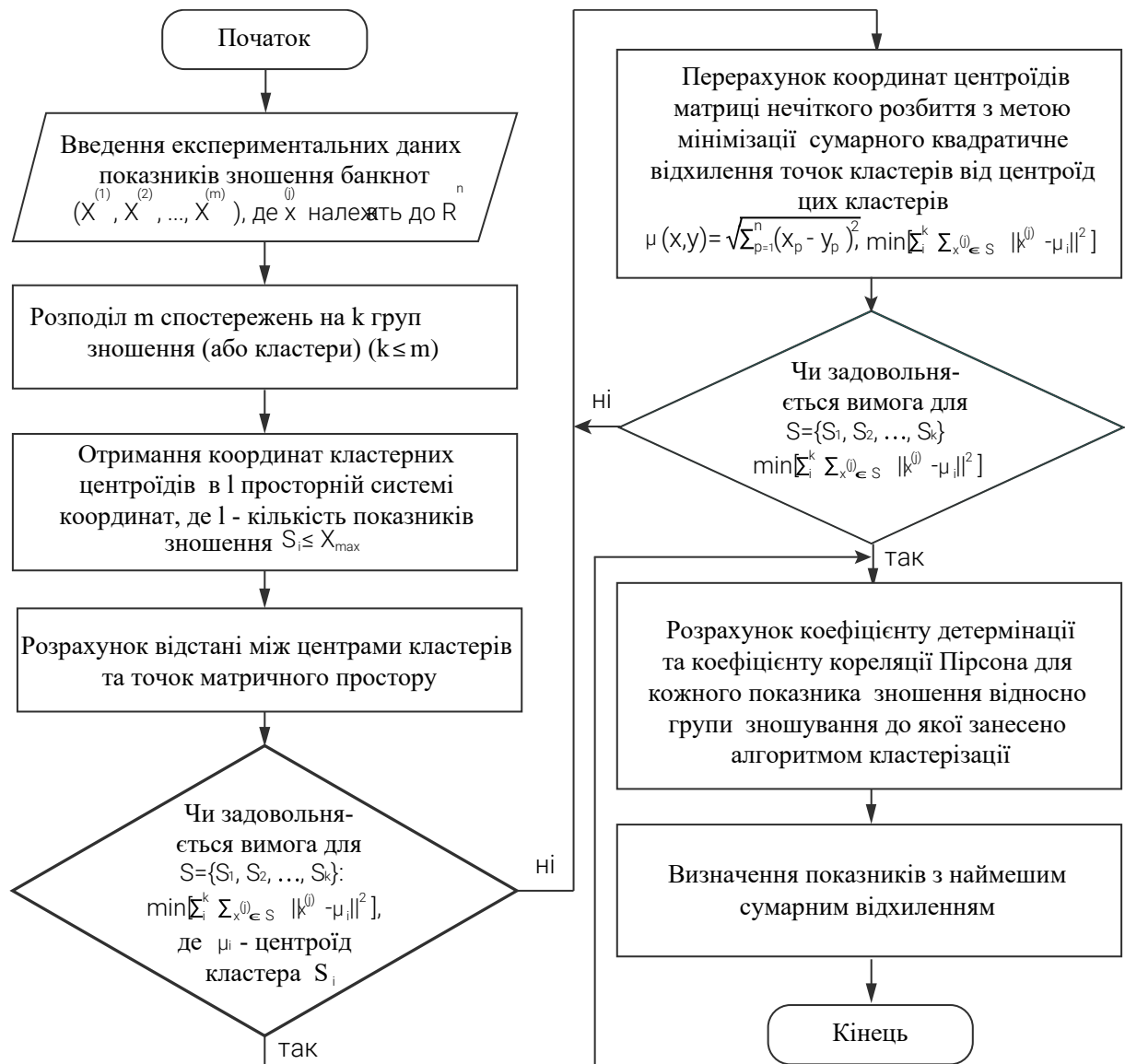


Рис. 3.8 Алгоритм визначення спорідненості або розсіювання характеристик банкнот та банкнотних зразків з рівнем їх зношеності, що визначений експертним чином

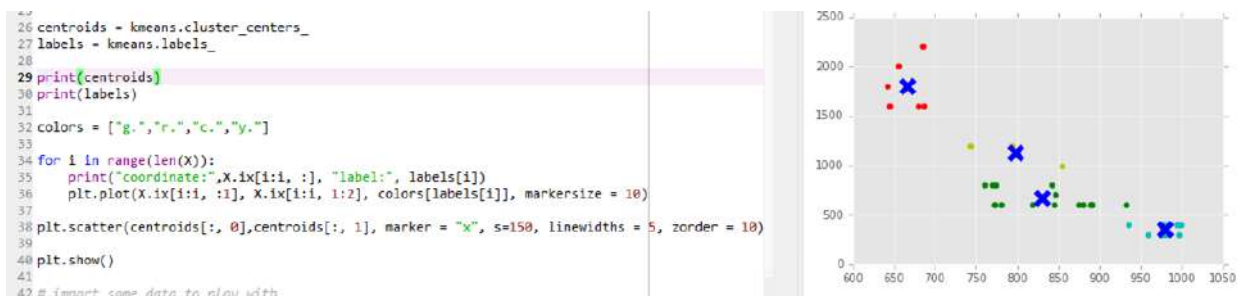


Рис. 3.9 Інтерфейс консолі програмного забезпечення оцінювання спорідненості або розсіювання характеристик банкнот та банкнотних зразків з рівнем їх зношеності, що визначений експертним чином

Таким чином, розроблене програмне забезпечення дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану

зношеності банкнот з урахуванням їх кроскореляційного зв'язку з результатами суб'єктивного контролю зношеності за допомогою експертного оцінювання користувачами банкнотної продукції.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено комплексну методику експериментальних досліджень яка дає можливість усебічно оцінити вплив технологічних параметрів виготовлення банкнот на збереження показників якості в обігу, а також дослідити ефективність використання показників зношеності банкнот.

2. Розроблено спосіб та метод, що імітує процес зношування та може бути використана для досліджень зносостійкості банкнот. В основу методу покладена задача прискорення фізичного зношування банкнот з максимальним наближенням до реальних процесів зношування. Використання цього методу дозволяє інтенсифікувати процеси зношування, що відбуваються з банкнотами у процесі обігу.

3. Розроблено спосіб та пристрій для визначення стану зношеності банкнот, використання якого дає можливість визначення придатності банкнот до обігу. В основу способу покладена задача оптимізації електрофізичних методів контролю зношення банкнот для оперативної автоматизованої обробки.

4. Розроблено та описано методику досліджень фарбового рельєфу металографічного друку, використання якої дозволяє встановити залежності параметрів фарбових шарів від геометричних параметрів друкарських форм металографічного друку, а також встановити норми фарбоперенесення.

5. З метою оцінювання ступеню приналежності досліджуваних показників зношеності до результатів експертного оцінювання користувачами банкнотної продукції розроблено спеціальну методологію

на основі створеного алгоритму та відповідного програмного забезпечення, із застосуванням елементів кластерного аналізу, що дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану зношеності банкнот з урахуванням їх кроскореляційного зв'язку з результатами суб'єктивного контролю зношеності за допомогою експертного оцінювання користувачами банкотної продукції.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Статистичний аналіз показників якості банкотної продукції полягає в дослідженні умов і факторів, що впливають на якість аналізованого об'єкта. Аналіз виконаних експериментальних досліджень, у тому числі із застосуванням кластерного, кореляційного та детермінаційного аналізу дозволив виявити вплив технологічних параметрів виготовлення на збереження показників якості банкнот у процесі зношування [53, 94, 93].

4.1 Зміна маси та оптичних показників банкнот внаслідок зношування

Відповідно до методики, описаної в розділі 3.4, було визначено показники маси, яскравості (*TAPPI*) та колірні характеристики (в системі координат L^* , a^* , b^* простору *CIE Lab*), розраховано величину колірного відхилення внаслідок зношування для експериментальних зразків банкнот та банкнот з обігу.

Для наочності побудовано діаграми залежностей цих показників від рівня фізичного зношення для зразків задрукованого та чистого паперу (рис. 4.1–4.6).

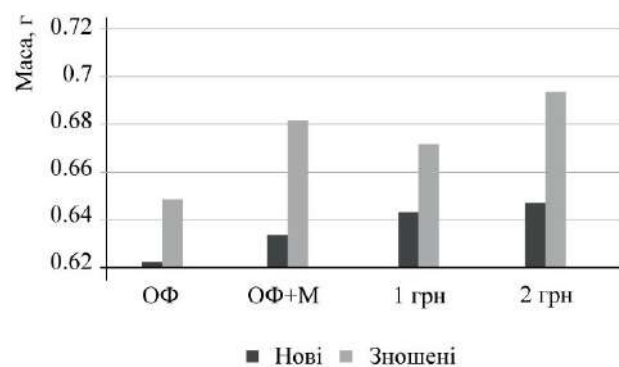


Рис. 4.1. Зміна маси банкнот внаслідок зношування

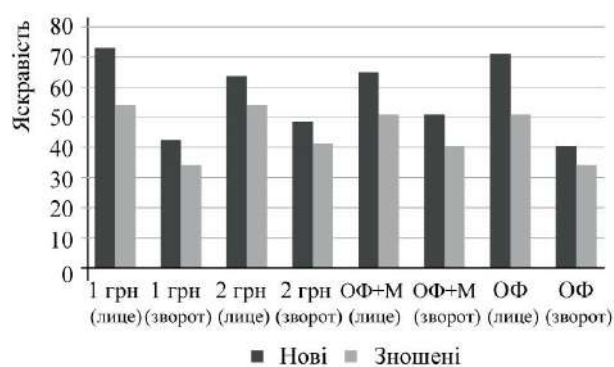


Рис. 4.2. Зміна яскравості банкнот внаслідок зношування

Дані щодо зміни маси та оптичних характеристик банкнот в обігу та штучно зношених зразків дали змогу підтвердити адекватність розробленої моделі імітації зношування банкнот, оскільки зміна маси для банкнот номіналом 1 грн і для зразків банкнот, задрукованих лише офсетним методом друкування, становить 5,93 % та 5,87 % відповідно, для банкнот номіналом 2 грн та зразків, виготовлених за використання металографічного та офсетного методів друкування, – 9,98 % та 9,87 % відповідно.

Визначено зміни колірних координат (рис. 4.3–4.5) та величину колірного відхилення (рис. 4.6), що найповніше характеризує сприйняття людиною зміни кольору банкноти. В результаті зношування цей показник становить $\Delta E_{ab}^{bs} = 3,47\text{--}10,2$ для максимально зношених дослідних зразків та $\Delta E_{ab}^b = 5,17\text{--}7,72$ – для банкнот з обігу.

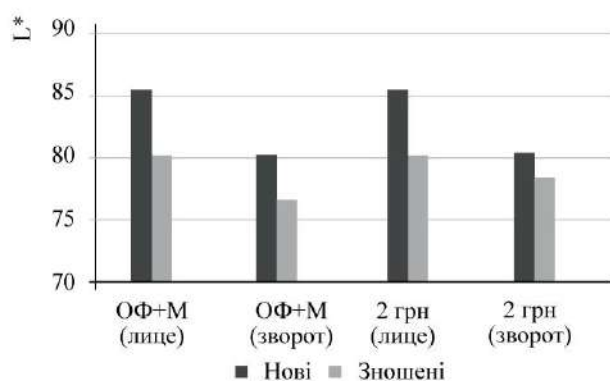


Рис. 4.3. Зміна колірних характеристик (L^*) внаслідок зношування

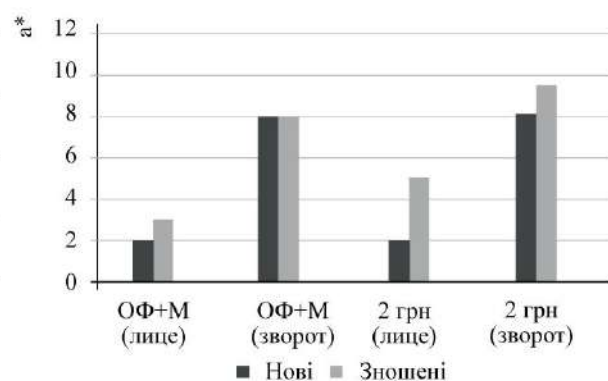


Рис. 4.4. Зміна колірних характеристик (a^*) внаслідок зношування

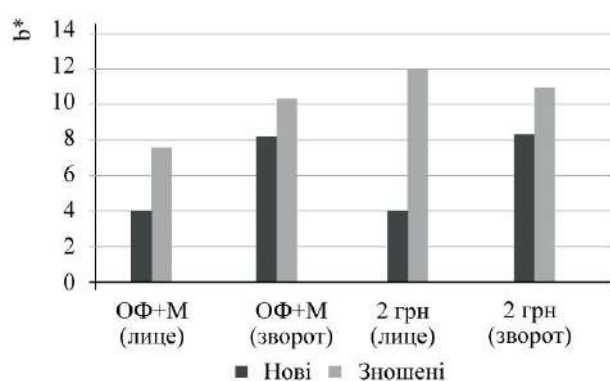


Рис. 4.5. Зміна колірних характеристик (b^*) внаслідок зношування

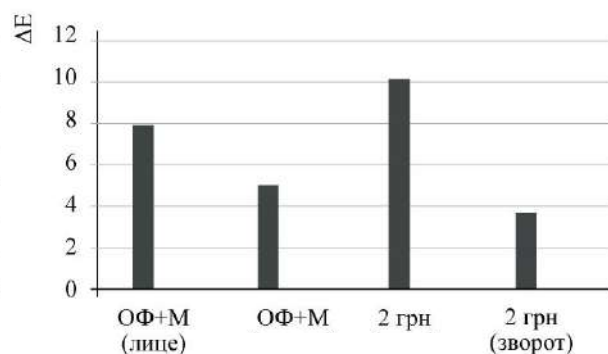


Рис. 4.6. Величина кольорового зсуву внаслідок зношування

Проаналізовано оптичні та колірні характеристики банкнот з обігу та експериментальних зразків. Найвніше суттєве зменшення яскравості (*TAPPI*) банкнот як із лицьового, так і зі зворотного боків (рис. 4.2). Зміна яскравості є значно меншою у банкнот номіналом 2 грн – зміна відбувається на 19 % та 16,4 % для звороту та лицьової сторони банкноти, відповідно, тоді як для банкнот номіналом 1 грн – на 36,4 % та 26,4 % відповідно, що може бути наслідком застосування металографічного друку для цих банкнот. Схожа тенденція спостерігається для експериментальних зразків банкнот, виготовлених з використанням металографічного друку та без цього виду захищеного друку.

4.2 Зміна електрофізичних показників банкнот внаслідок зношування

Відповідно до методики, описаної в розд. 3.4, було визначено електрофізичні показники експериментальних зразків та банкнот з реального обігу. Показник поверхневого опору визначений за спеціальною методикою непрямого вимірювання, яка описана в розд. та 3.4.1, що передбачає вимірювання падіння напруги між крайовими частинами банкноти, коли до суміжних частин підведено напругу. Розрахунок проведено наступним чином:

$$R_b = R_v \times \frac{U}{U_v} - R_v,$$

де U – прикладена напруга 27,5 В, R_v – вхідний опір вольтметра 1 МОм, R_b – опір ділянки банкноти.

Відносна зміна опору банкнот в процесі зношування розраховувалася за формулою:

$$\Delta R = (R_n - R_3) / R_n,$$

де R_n – опір незношених банкнот (ступінь зношеності 0), R_3 – опір зношених банкнот відповідного ступеню зношеності.

В табл. 4.1 та 4.2 приведені отримані показники поверхневого опору банкнот з реального обігу та експериментальних зразків відповідно.

Таблиця 4.1

Отримані показники поверхневого опору банкнот з реального обігу

Номинал	1 грн				
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.	5 група зн.
Падіння напруги U, мВ	15,22	128,64	201,56	347,82	497,08
Середнє значення $R_{\text{п}}$, МОм	1805,83	212,77	135,44	78,06	54,32
Зміна $R_{\text{пов}}$, %	0	88,2	92,5	95,7	97
Номинал	2 грн				
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.	5 група зн.
Падіння напруги U, мВ	11,88	30,88	73,74	134,3	189,88
Середнє значення $R_{\text{пов}}$, МОм	2313,81	889,54	371,93	203,77	143,83
Зміна $R_{\text{пов}}$, %	0	61,6	83,9	91,2	93,8

Таблиця 3.2

Отримані показники поверхневого опору експериментальних зразків (2 грн)

Параметри	Знош у-вання	Наявний метод друку					
		БД	ОФ	ОФ+М (мін)	ОФ+М (сер)	ОФ+М (макс)	ОФ+Мд
Падіння напруги U, мВ	до	5,13	5,28	3,02	3,7	3,14	3,8
	після	22,29	22,01	15,26	15,08	14,98	4,94
Середнє значення $R_{\text{пов}}$, МОм	до	1949,32	1893,94	3311,26	2702,70	3184,7	2631,58
	після	448,63	454,34	655,31	663,13	667,56	2024,29
Зміна опору, %		77	76,03	80,22	75,47	79,05	23,08

В табл. 4.3 та 4.4 приведені отримані показники об'ємного опору банкнот з реального обігу та експериментальних зразків відповідно.

Таблиця 4.3

Отримані показники об'ємного опору банкнот з реального обігу

Номинал	1 грн				
	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.	5 група зн.
Середнє значення $R_{об}$, МОм	1840	1000	669,23	496,65	344,44
Зміна $R_{об}$, %	0	45,65	63,63	73,01	81,28
Номинал	2 грн				
	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.	5 група зн.
Середнє значення $R_{об}$, МОм	3800	2100	1128,57	564,32	354,55
Зміна $R_{об}$, %	0	44,74	70,30	85,15	90,67

Таблиця 4.4

Отримані показники об'ємного опору для експериментальних зразків банкнот

Середнє значення $R_{об}$, МОм	Наявний метод друку			
	ЧП	ОФ	М	ОФ+М
Експериментальні зразки номіналом 10 грн	1397,37	-	2305,00	2752,63

Отримані показники зміни електрофізичних показників банкнот під час реального (рис. 4.7, 4.8) та штучного зношування (рис. 4.9, 4.10) свідчать, що найбільш чутливим параметром зношення для банкнот з реального обігу визначено показник поверхневого опору (може змінюватись у 12–24 рази) та об'ємного опору (може змінюватись у 5,5–11 разів). Таким чином, для номіналів банкнот 1 та 2 грн встановлено граничні показники зношеності, що виражаються поверхневим та об'ємним опорами. Для номіналу 1 грн показником зношеності є значення поверхневого опору банкноти 50 МОм, а об'ємного – 340 МОм.

Для номіналу 2 грн ці величини становлять 140 МОм та 350 МОм відповідно.

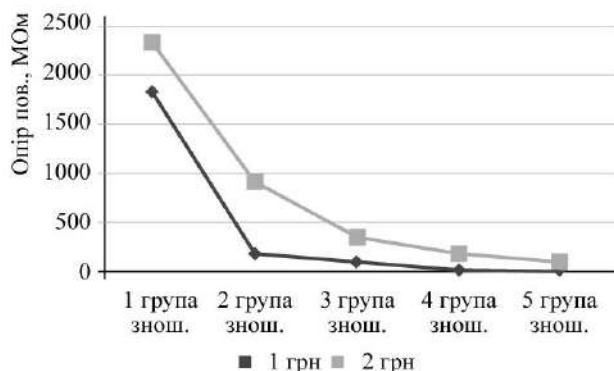


Рис. 4.7. Зміна показника поверхневого опору банкнот з обігу

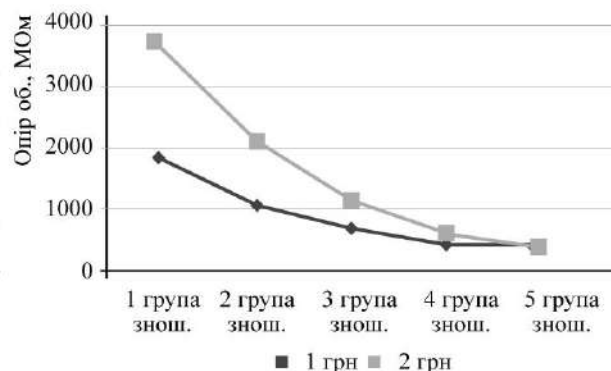


Рис. 4.8. Зміна показника об'ємного опору банкнот з обігу

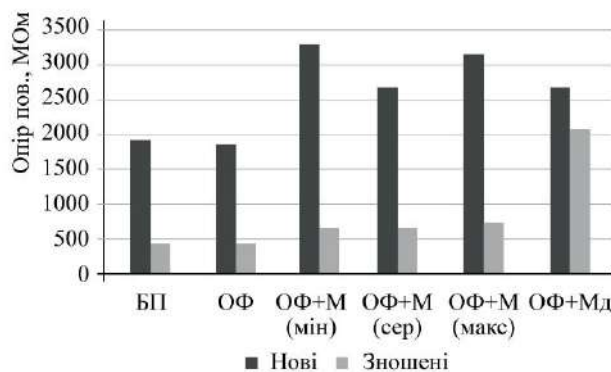


Рис. 4.9. Зміна показника поверхневого опору експериментальних зразків

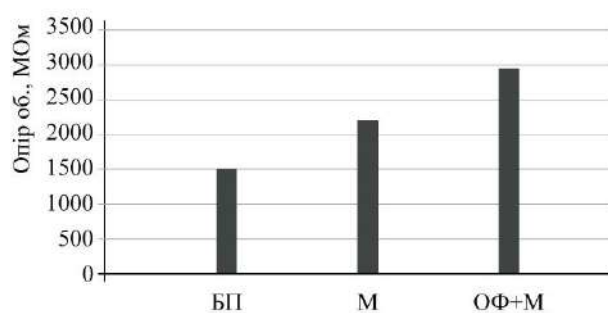


Рис. 4.10. Зміна показника об'ємного опору експериментальних зразків

Дослідження зміни електрофізичних властивостей експериментальних зразків банкнот, виготовлених з використанням різних технологічних режимів дозволяють оцінити вплив технологічних факторів на опір банкнот, а також його зміну в результаті штучного зношування.

Видно, що офсетний друк не впливає суттєво на опір як нових, так і зношених банкнот, в той час як металографічний друк в 1,75 разу підвищує опір паперу за рахунок уже згаданого ущільнення структури. Цікаво, що в межах застосовуваних величин тиску під час металографічний не спостерігалось істотного впливу цього параметра на

опір незношених зразків, навіть для зразків з двостороннім металографічним друком. Це дозволяє зробити висновок, що в дослідженому інтервалі значень тиску при металографічному друці його посилення не призводить до зменшення пористості паперу, і подальше ущільнення структури паперу за даних умов неможливе. Деяко інша ситуація спостерігається після штучного зношування: у зразків з одностороннім металографічним друком зменшення опору в 1,47 разу нижче, ніж для зразків без металографічного друку; зразки з двостороннім металографічним друком мають після зношування опір в 3 рази вище, ніж ті, на яких використовувалася тільки офсетний друк. Таке ослаблення впливу факторів зношування можна пояснити впливом тиску в друкарському контакті металографічного друку на поверхню не тільки лиця, а й звороту банкноти, яка стає більш гладкою, закритою, накопичує менше забруднень і обмежує їх проникнення в папір. Опір менш зношених банкнот є більш високим, а це означає, що двосторонній металографічний друк підвищує зносостійкість банкнот.

В табл. 4.5 та 4.6 приведені отримані показники ємності банкнот з реального обігу та експериментальних зразків відповідно.

Таблиця 4.5

Показники ємності банкнот з реального обігу

Номинал	1 грн			
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.
Середнє значення С, пФ	676,09	547,87	524,66	485,98
Номинал	2 грн			
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.
Середнє значення С, пФ	450,65	484,51	482,04	459,93

Таблиця 4.6

Показники ємності експериментальних зразків банкнот

Середнє значення С, пФ	Без зношення				Після зношування
	ЧП	ОФ	М	ОФ+М	ОФ+М
Експериментальні зразки номіналом 10 грн	644,40	-	436,62	461,36	180,10

В табл. 4.7 та 4.8 приведені отримані показники тангенсу кута діелектричних втрат банкнот з реального обігу та експериментальних зразків відповідно.

Таблиця 4.7

Показники тангенсу кута діелектричних втрат банкнот з реального обігу

Номінал	1 грн			
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.
Середнє значення $\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$	957,27	955,27	1161,67	1293,72
Номінал	2 грн			
Група зн.	1 група зн.	2 група зн.	3 група зн.	4 група зн.
Середнє значення $\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$	627,9	864,62	988,15	1191,91

Таблиця 4.8

Показники тангенса кута діелектричних втрат експериментальних зразків банкнот

Середнє значення $\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$	Без зношення				Після зношування
	ЧП	ОФ	М	ОФ+М	ОФ+М
Експериментальні зразки номіналом 10 грн	903,3	-	482,3	538,4	1323,7

В результаті штучного зношування відзначається зменшення ємності банкнот у 2,64 для експериментальних зразків та у 2,87 для

банкнот з обігу. Значення тангенса кута діелектричних втрат зразків підвищується після штучного зношування в 2,54 раз.

4.3 Дослідження показників якості фарбового рельєфу металографічного друку

Відповідно до методики, описаної в розд. 3.4.2, було визначено параметри фарбового рельєфу металографічного друку. У табл. 4.9–4.17 представлено результати експериментальних досліджень впливу геометричних параметрів комірок друкарської форми на геометричні та електрофізичні параметри отриманих штрихів. Опис параметрів досліджуваних зразків у табл. 4.9–4.16 здійснено наступним чином: * - вид профілю**/кут нахилу грані штриха/ширина штриха/глибина штриха/відстань між штрихами/кут нахилу до машинного напрямку паперу. ** - Вид профілю I – прямокутний; II – трапецієподібний; III – трикутний. ***- в трапецієподібному і трикутному профілях глибина штриха включає в себе глибину «заплечиків» – 8-10 мкм + глибину основного профілю.

Таблиця 4.9

Результати експериментальних досліджень (ключовий параметр – кут нахилу грані комірки форми)

Форма профілю		Прямокутний	Трапецієподібний		Трикутний
Параметри комірок форми		90/150/100/90/90	60/150/100/90/90	75/150/100/90/90	51/150/100/90/90
h, мкм	average	73,2	68,45	69,9	61,5
	min	44,5	47,2	42,5	29,4
	max	100	97,7	92,7	81,6
a, мкм	average	185,9	164,3	158,9	158,5
	min	173,2	143,2	151,3	86,2
	max	190,1	192,7	192,4	192,4
b, мкм	average	84,7	89,97	75,68	88,1
	min	75,1	76,5	72,1	49,8
	max	96,6	94,2	87,2	84,2
R пов, МОм		3756	3563	3531	3421
R об, МОм		2805	2678	2786	2450

С, пФ	346	324	332	298
tg*10(-4)	415	436	429	462

Таблиця 4.10

Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю
(ключовий параметр – висота комірки друкарської форми)

Форма профілю	Прямокутний		
Параметри комірок форми	90/150/ 30 /90/90	90/150/ 60 /90/90	90/150/ 100 /90/90
R пов, МОм	3087	3253	3756
R об, МОм	2451	2771	2805
С, пФ	252	280	346
tg*10(-4)	534	513	415

Таблиця 4.11

Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю
(ключовий параметр – висота комірки друкарської форми)

Форма профілю	Трапецієподібний		
Параметри комірок форми	60/150/ 30 /90/90	60/150/ 60 /90/90	60/150/ 100 /90/90
R пов, МОм	3190	3367	3531
R об, МОм	2341	2517	2786
С, пФ	254	281	312
tg*10(-4)	509	489	439

Таблиця 4.12

Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю
(ключовий параметр – висота комірки друкарської форми)

Форма профілю	Трапецієподібний		
Параметри комірок форми	75/150/ 30 /90/90	75/150/ 60 /90/90	75/150/ 100 /90/90
R volume, МОм	2987	3367	3563
R surface, МОм	2243	2435	2678
С, пФ	245	276	334
tg*10(-4)	515	494	436

Таблиця 4.13

Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми)

Форма профілю	Прямокутний	
Параметри комірок форми	90/ 90 /100/60/90	90/ 150 /100/60/90
R volume, МОм	3556	4263
R surface, МОм	2345	2678
C, пФ	298	344
tg*10(-4)	465	434

Таблиця 4.14

Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми)

Форма профілю	Трапецієподібний	
Параметри комірок форми	60/ 90 /30/90/90	60/ 150 /30/90/90
R volume, МОм	3523	3784
R surface, МОм	2489	2875
C, пФ	281	327
tg*10(-4)	541	462

Таблиця 4.15

Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми)

Форма профілю	Трапецієподібний	
Параметри комірок форми	75/ 90 /30/90/90	75/ 150 /30/90/90
R volume, МОм	3451	3945
R surface, МОм	2501	2941
C, пФ	351	377
tg*10(-4)	612	476

Таблиця 4.16

Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю
(ключовий параметр – відстань між комірками друкарської форми)

Форма профілю	Прямокутний			
Параметри комірок форми	90/150/100/40/9 0	90/150/100/60/9 0	90/150/100/90/9 0	90/150/100/150/9 0
R volume, МОм	4432	4263	3756	3204
R surface, МОм	3204	2805	2678	2289
C, пФ	380	344	323	310
tg*10(-4)	642	434	415	489

Таблиця 4.17

Результати експериментальних досліджень для штрихів трикутного профілю
(ключовий параметр – відстань між комірками друкарської форми)

Форма профілю	Трикутний	
Параметри комірок форми	51/150/100/90/90	51/150/100/150/90
R volume, МОм	3345	3067
R surface, МОм	2504	1989
C, пФ	305	282
tg*10(-4)	520	502

Визначено вплив параметрів друкарської форми (глибини, висоти, ширини комірок, а також відстані між ними та кута нахилу бічної грані комірки) на геометричні параметри штрихів готових відбитків за допомогою контактної профілометрії поверхні експериментальних зразків (Додаток Д).

На рис. 4.11 представлено результати профілометричних досліджень поверхні експериментальних зразків з ключовим параметром – кутом нахилу грані комірки форми.

У Додатку Г представлено результати експериментальних досліджень впливу геометричних параметрів комірок друкарської форми на геометричні та електрофізичні параметри отриманих фарбових шарів.

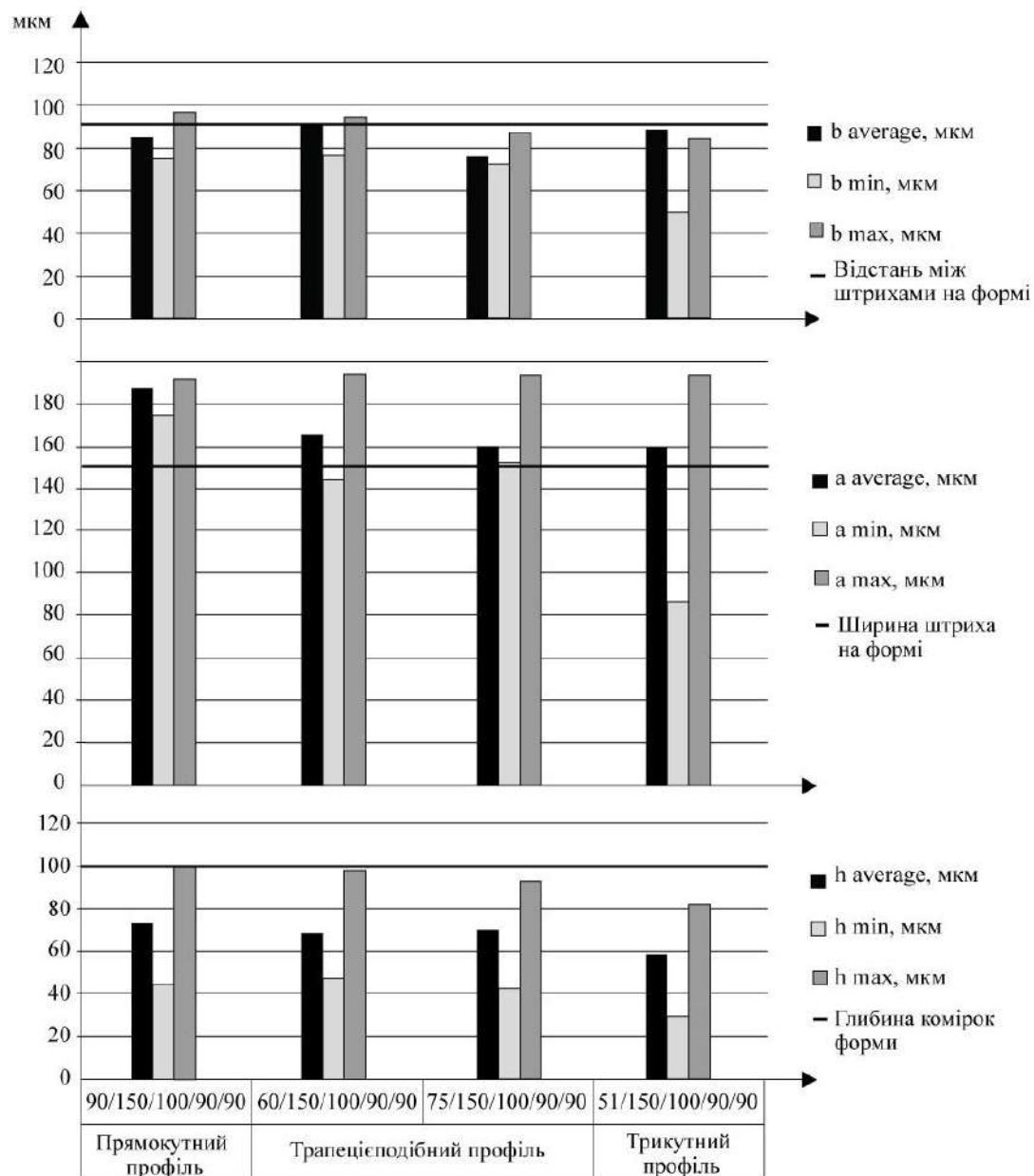


Рис. 4.11. Результати профілометричних досліджень (ключовий параметр – кут нахилу грані комірки форми)

На рис. 4.16 представлені результати експериментальних досліджень електрофізичних параметрів експериментальних зразків металографічного друку, виготовлених з використанням гравійованих штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр дослідження – швидкість друкування).

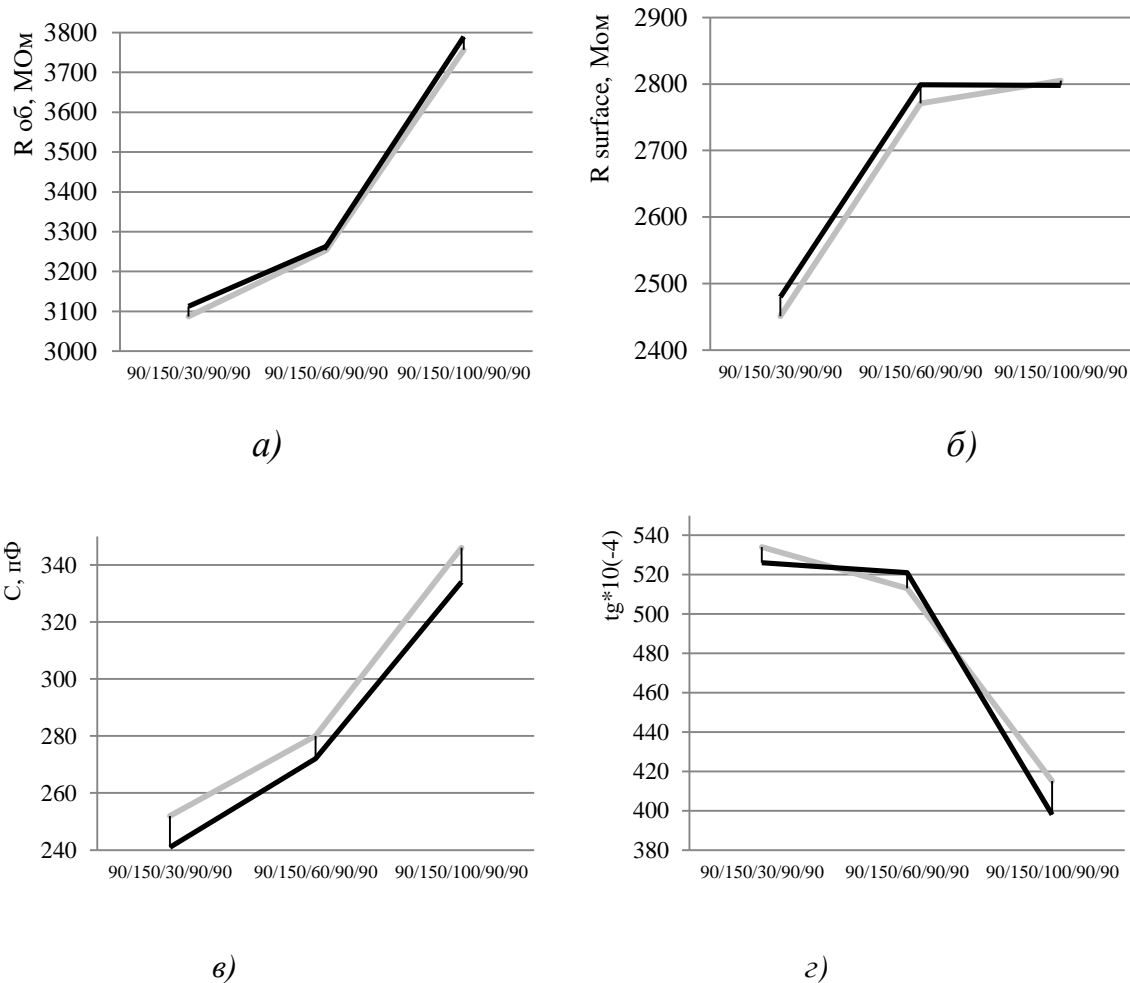


Рис. 4.16. Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр – висота комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат;

■ 5 тис. від./год.;

■ 8 тис. від./год.

Зменшення висоти штриха відносно глибини комірок, що спостерігається на всіх зразках, пояснюється утворенням підфарбового рельєфу. Для всіх зразків спостерігається чітка тенденція збільшення ширини штриха на готовому відбитку відносно ширини комірок форми, відповідно відбувається зменшення відстані між штрихами.

Найбільша зміна цього показника відбувається на зразках з прямокутним профілем, що пояснюється більшим об’ємом комірок друкувальних елементів.

Отримані профілограми дослідних зразків дозволяють зробити висновок, що збільшення кута нахилу бічних граней друкувальних

елементів призводить до підвищення якості друку, що виражається у збільшенні показників висоти надрукованих штрихів (при куті нахилу бічних граней комірок 51° трикутного профілю середнє значення висоти складає 61,5 мкм, при куті 60° трапецієподібного профілю – 68,45 мкм, при куті 75° трапецієподібного профілю – 69,9 мкм, при куті 90° прямокутного профілю – 73,2 мкм) та у збереженні рівномірності та чіткості профілю штрихів. Таким чином, було визначено, що найкращої якості набули зразки, надруковані за допомогою прямокутного профілю друкувальних елементів. Проте з точки зору відтворюваності на відбитку таких параметрів форми, як ширина друкувальних елементів та відстань між ними, прямокутний профіль демонструє погіршення показників якості – значне збільшення ширини штриха з відповідним зменшенням відстані між штрихами (середнє значення ширини штрихів складає 185,9 мкм при номінальному значенні 150 мкм, середнє значення відстані між штрихами 84,7 мкм при номінальному 90 мкм).

Саме тому доцільним є використання моделі розрахунку об'єму фарби, що враховує отримання різних крайових кутів з різних сторін штрихів металографічного друку.

Аналіз впливу технологічних режимів друкування виявив, що зменшення швидкості друкування з 8 до 5 тисяч відб./год. не призводить до збільшення об'єму фарби на відбитку. Що стосується досліджень параметрів тиску, то встановлено, що величина перенесеної фарби на відбиток зі збільшенням тиску збільшується на 0,94% для зразків з прямокутним профілем і зменшується на 0,57% при зменшенні тиску в друкарській парі.

Отримані коефіцієнти кореляції між геометричними параметрами гравійованих штрихів друкарської форми та електрофізичних параметрів відбитків металографічного друку дали змогу зробити висновок, що максимально чутливими показниками до зміни всіх геометричних

параметрів друкарської форми є показники об'ємного та поверхневого опорів (рис. 4.17).

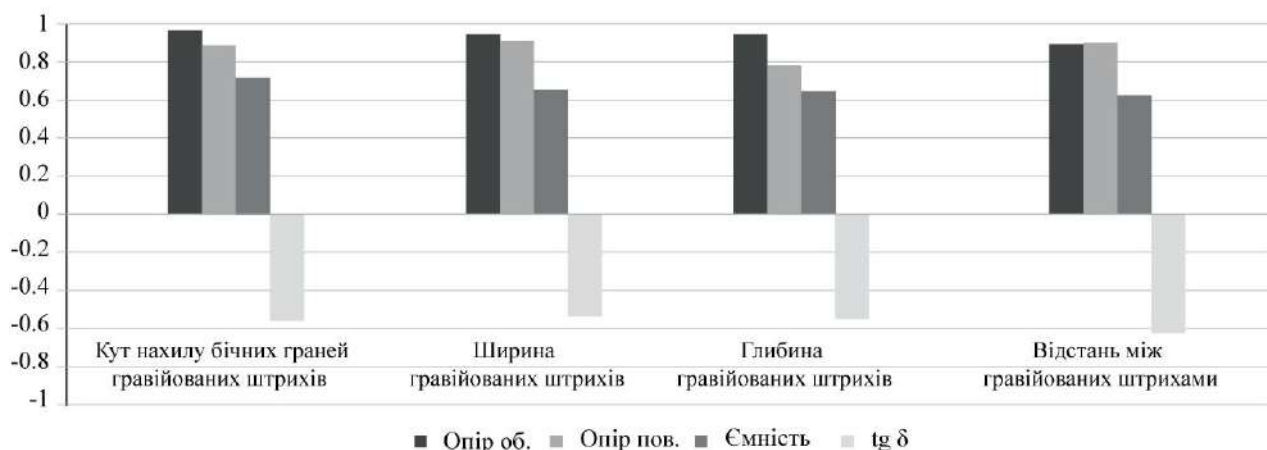


Рис. 4.17. Коефіцієнт кореляції Пірсона між електрофізичними показниками відбитків металографічного друку та параметрами гравійованих штрихів друкарської форми

Результати проведеного кореляційного аналізу взаємозв'язку між геометричними параметрами штрихів металографічного друку, отриманих за допомогою контактної профілометрії поверхні експериментальних зразків та їх електрофізичних параметрів, дозволили виявити закономірність: зі збільшенням кута нахилу бічних граней штрихів збільшуються показник фарбоперенесення та висоти отриманого фарбового рельєфу і ширина штрихів на відбитку, порівняно з шириною комірки друкарської форми. Для штрихів, отриманих з гравійованих штрихів, що мають прямокутний профіль, збільшення ширини штрихів відбувається на 14 %, тоді як для трикутного і трапецієподібного профілів ця зміна становить 4 % та 7 % відповідно.

Розрахунок загального об'єму фарби для експериментальних зразків дав можливість з'ясувати, що для штрихів, отриманих з гравійованих штрихів прямокутного профілю, показник фарбоперенесення досягає 78–92 %, тоді, як для трапецієподібного і трикутного профілів він перебуває у межах 65–76 % відповідно та 42–54 % відповідно з урахуванням наявності підфарбового рельєфу.

Отримані результати підтверджені розрахунками параметрів профілю отриманих шляхом профілометричних досліджень.

4.3.1 Дослідження стійкості фарбового рельєфу металографічного друку

Адгезія фарби металографічного друку до поверхні паперу, подальше проникнення її в основу залежить від в'язкості фарби, пористості паперу, його вбирної здатності, виду та ступеню його проклеювання, а також від тиску та температури в друкарському контакті [55]. Що стосується збереження геометричних параметрів фарбового рельєфу банкнот в обігу, то важливим фактором є наявність підфарбового рельєфу металографічного друку, глибина проникнення фарби в матеріал підкладки та міцнісні характеристики самого фарбового шару після сушки. У процесі аналізу раніше проведених досліджень не виявлено однозначного методу для кількісної оцінки стійкості фарбового рельєфу металографічного друку. Авторами [55] запропоновано використання методу експертного оцінювання відбитків металографічного друку, що не може бути складовою експериментальних досліджень, оскільки являє собою суб'єктивний контроль якості.

У зв'язку із потребою забезпечення достатньої зносостійкості фарбового шару металографічного друку, здійснено комплексне дослідження банкнотних відбитків, що задруковані методом металографічного друку з лицьової сторони з застосування композиційних матеріалів, що застосовуються при виготовленні банкнот української гривні. Стійкість шару фарби перевірено шляхом визначення оптичних та електрофізичних показників банкнотних зразків після процесу їх циклічного штучного зношування, що відбувався без залучення забруднювальної складової процесу.

Відповідно до методики, описаної в розділі 3.4, було визначено показники маси, яскравості (*TAPPI*) та колірні характеристики (в системі

координат L^* , a^* , b^* простору $CIE Lab$), розраховано величину колірною відхилення внаслідок зношування для експериментальних зразків банкнот. Відповідно до методики, описаної в розд. 3.4, було визначено електрофізичні показники експериментальних.

Для наочності побудовано діаграми залежностей цих показників від рівня фізичного зношення (рис. 4.18–4.23).

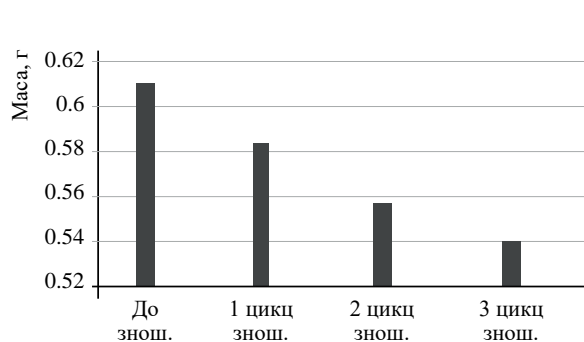


Рис. 4.18. Зміна маси дослідних зразків внаслідок зношування

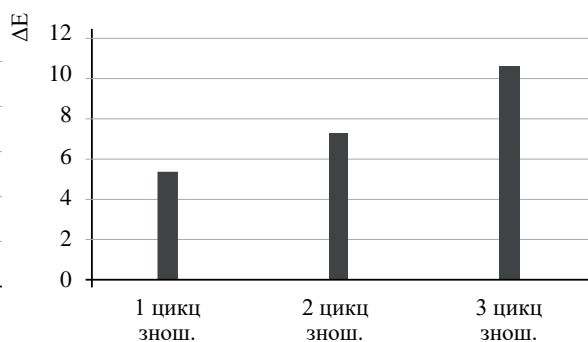


Рис. 4.19. Зміна маси дослідних зразків внаслідок зношування

Зміна показника маси показує тенденцію до зменшення маси зразків внаслідок зношування. Ця тенденція не може бути пояснена насамперед зменшенням висоти фарбового рельєфу, адже у процесі зношування відбуваються значні структурні зміни підкладки зразків.

Зміна колірних характеристик та величина колірною відхилення внаслідок зношування ілюструє зміну кольору підкладки дослідних зразків у синьо-фіолетову частину спектру, що виникла за рахунок стирання фарби металографічного друку фіолетового кольору.

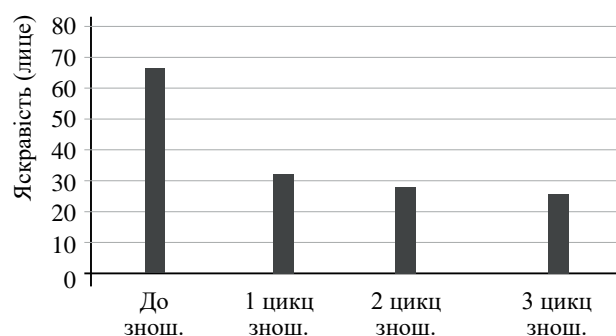


Рис. 4.20. Зміна яскравості (TAPPI) лицевої сторони дослідних зразків внаслідок зношування

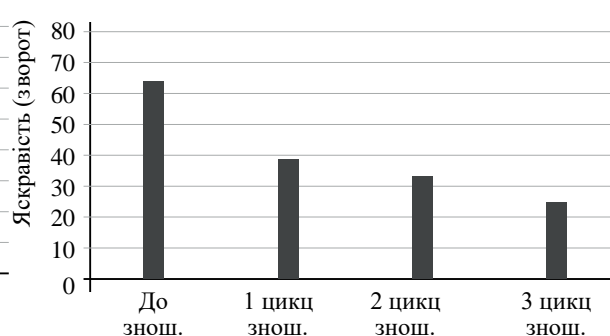


Рис. 4.21. Зміна яскравості (TAPPI) зворотньої сторони дослідних зразків внаслідок зношування

Суттєве зменшення яскравості спостерігається як для лицьової, так і для зворотньої сторони дослідних зразків, що пояснюється стиранням фарб металографічного призначення та забруднення ними чистого паперу оскільки у якості зони вимірювання при проведенні досліджень обрано незадруковану область водяного знаку.

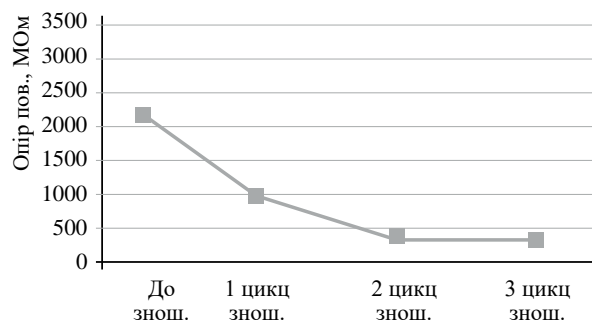


Рис. 4.22. Зміна показника поверхневого опору дослідних зразків внаслідок зношування

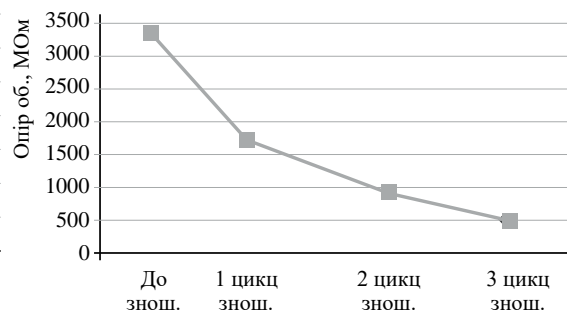


Рис. 4.23. Зміна показника об'ємного опору дослідних зразків внаслідок зношування

Отримані залежності значень показників об'ємного та поверхневого опору від ступеню зношування дослідних зразків дають можливість зробити висновки про доцільність застосування даних показників як критеріїв зношування фарбового рельєфу металографічного друку.

4. 4 Визначення ступеню відповідності показників зношування до результатів оцінювання стану зношеності користувачами банкотної продукції

Результати кореляційного аналізу між результатами вимірювань показників зношеності та ступенями зношеності банкнот, свідчать, що найкращі кореляційні властивості спостерігаються за використання показників об'ємного опору, поверхневого опору та яскравості лицьового боку банкноти, як для реальних банкнот, так і для експериментальних зразків. На рис. 4.24 та рис. 4.25 приведено результати кореляційного та детермінаційного аналізу отриманих результатів.

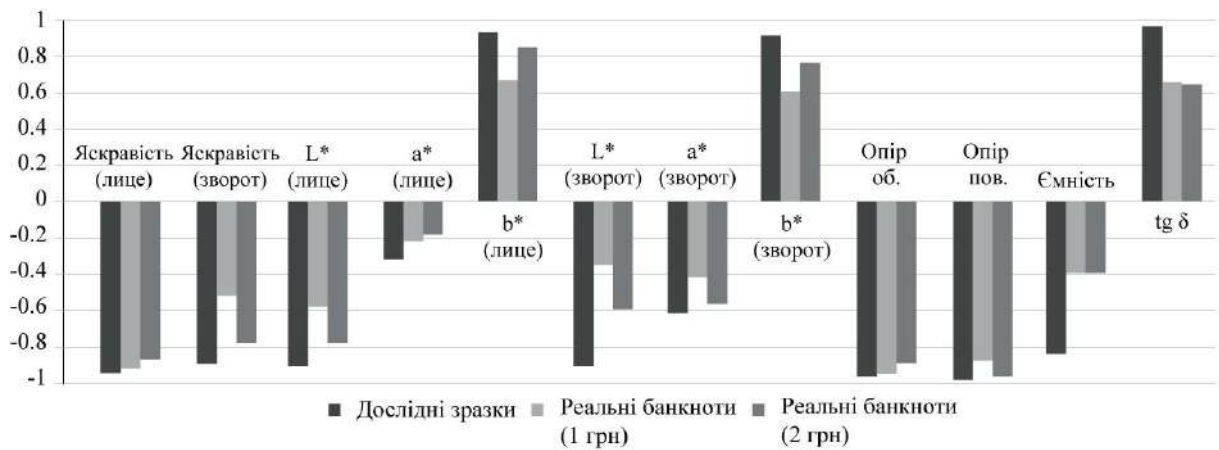


Рис. 4.24. Коефіцієнт кореляції Пірсона між досліджуваними показниками зношення та ступенями зношеності банкнот

Таким чином найкращі кореляційні властивості спостерігають при використанні показника об'ємного опору, поверхневого опору і яскравості лиця банкноти, а також колірної координати b^* , зміна значень якої відповідає за колірний зсув банкнот в жовто-коричневу частину спектру як для реальних банкнот так і для експериментальних зразків. Найгірші кореляційні властивості має показник зміни колірної координати a^* .

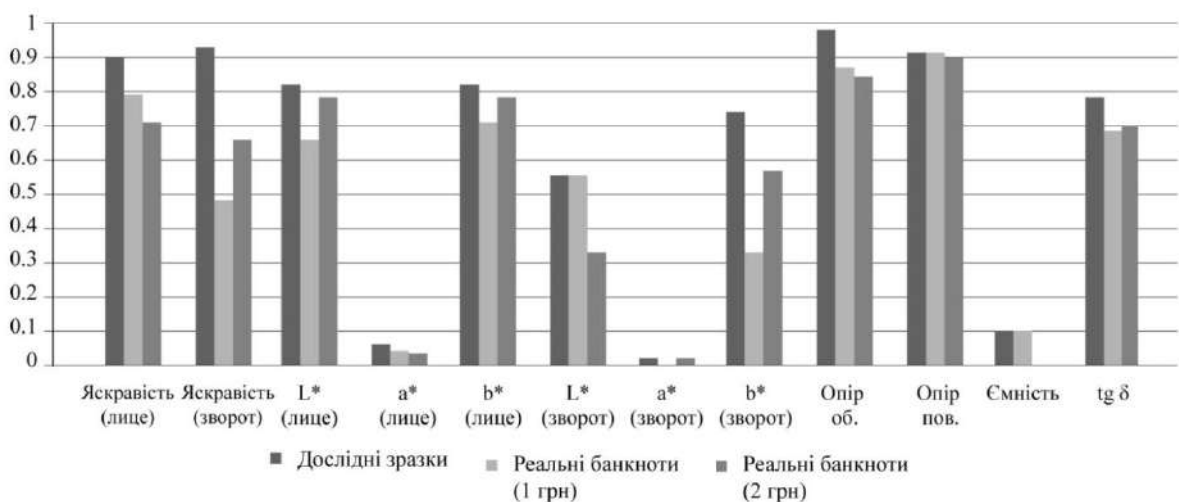


Рис. 4.25. Коефіцієнт детермінації між досліджуваними показниками зношення та ступенями зношеності банкнот

Отримані результати підтверджено даними кластерного аналізу, які представлені у вигляді багатовимірної системи визначення належності кожного вимірюного експериментально значення з вибірки до певного центроїда, що яскраво візуалізує спорідненість або розсіювання

характеристик банкнот та банкнотних зразків з рівнем їх зношеності (рис. 4.26).

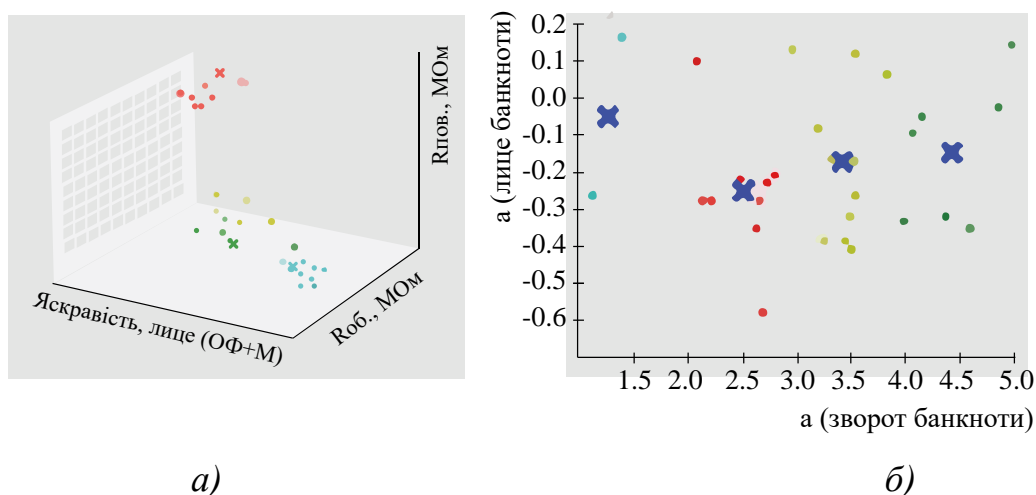


Рис. 4.26. Графічне представлення результатів кластерного аналізу показників експериментальних зразків: а) – тривимірне представлення результатів кластеризації вимірювань показників, що мають найбільшу спорідненість з результатами експертного оцінювання (об’ємний опір, поверхневий опір і яскравість лиця банкноти); б) – двовимірне представлення результатів кластеризації показника, що має найменшу спорідненість з результатами експертного оцінювання (колірна координата a^*)

Висновки до розділу 3

1. Аналіз отриманих експериментальним чином показників зміни маси та оптичних характеристик банкнот в обігу та штучно зношених зразків дали змогу підтвердити адекватність розробленої моделі імітації зношування банкнот, оскільки зміна маси для банкнот номіналом 1 грн і для зразків банкнот, задрукованих лише офсетним методом друкування, становить 5,93 % та 5,87 % відповідно, для банкнот номіналом 2 грн та зразків, виготовлених за використання металографічного та офсетного методів друкування, – 9,98 % та 9,87 % відповідно.

2. Проаналізовано оптичні та колірні характеристики банкнот з обігу та експериментальних зразків. Наявне суттєве зменшення яскравості ($TAPPI$) банкнот як із лицьового, так і зі зворотного боків.

Зміна яскравості є значно меншою у банкнот номіналом 2 грн – зміна відбувається на 19 % та 16,4 % для звороту та лицевої сторони банкноти, відповідно, тоді як для банкнот номіналом 1 грн – на 36,4 % та 26,4 % відповідно, що може бути наслідком застосування металографічного друку для цих банкнот. Схожа тенденція спостерігається для експериментальних зразків банкнот, виготовлених з використанням металографічного друку та без цього виду захищеного друку.

3. Визначено зміни колірних координат та величину колірного відхилення, що найповніше характеризує сприйняття людиною зміни кольору банкноти. В результаті зношування цей показник становить $\Delta E_{ab}^{bs} = 3,47-10,2$ для максимально зношених дослідних зразків та $\Delta E_{ab}^b = 5,17-7,72$ – для банкнот з обігу.

4. Досліджено зміни електрофізичних показників банкнот під час реального та штучного зношування. Найбільш чутливим параметром зношення для банкнот з реального обігу визначено показник поверхневого опору (може змінюватись у 12–24 рази) та об'ємного опору (може змінюватись у 5,5–11 разів). Таким чином, для номіналів банкнот 1 та 2 грн встановлено граничні показники зношеності, що виражаються поверхневим та об'ємним опорами. Для номіналу 1 грн показником зношеності є значення поверхневого опору банкноти 50 МОм, а об'ємного – 340 МОм. Для номіналу 2 грн ці величини становлять 140 МОм та 350 МОм відповідно.

5. Отримані результати кореляційного аналізу між результатами вимірювань показників зношеності та ступенями зношеності банкнот, свідчать, що найкращі кореляційні властивості спостерігаються за використання показників об'ємного опору, поверхневого опору та яскравості лицьового боку банкноти, як для реальних банкнот, так і для експериментальних зразків.

6. Результати проведеного кореляційного аналізу взаємозв'язку між геометричними параметрами штрихів металографічного друку, отриманих за допомогою контактної профілометрії поверхні експериментальних зразків та їх електрофізичних параметрів, дозволили виявити закономірність: зі збільшенням кута нахилу бічних граней штрихів збільшуються показник фарбоперенесення та висоти отриманого фарбового рельєфу і ширина штрихів на відбитку, порівняно з шириною комірки друкарської форми. Для штрихів, отриманих з гравійованих штрихів, що мають прямокутний профіль, збільшення ширини штрихів відбувається на 14 %, тоді як для трикутного і трапецієподібного профілів ця зміна становить 4 % та 7 % відповідно. Для штрихів, отриманих з гравійованих штрихів прямокутного профілю, показник фарбоперенесення досягає 78–92 %, тоді, як для трапецієподібного і трикутного профілів він перебуває у межах 65–76 % відповідно та 42–54 % відповідно.

7. Дослідження впливу технологічних параметрів швидкості та тиску друкування зразків металографічного друку на характер їх електрофізичних залежностей та результатів профілометричного вимірювання не виявило суттєвого впливу зміни цих параметрів у досліджуваному інтервалі на параметри фарбового шару та ущільнення основи зразків.

8. Отримані коефіцієнти кореляції між геометричними параметрами гравійованих штрихів друкарської форми та електрофізичних параметрів відбитків металографічного друку дали змогу зробити висновок, що максимально чутливими показниками до зміни всіх геометричних параметрів друкарської форми є показники об'ємного та поверхневого опорів.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА СОРТУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

5.1 Алгоритм та програмне забезпечення прогнозування фарбоперенесення металографічного друку

Враховуючи специфіку технологічного процесу металографічного друку, що виявляється у впливі параметру тиску в зоні контакту формного і друкарського циліндрів на сприйняття фарби задрукованою, що є значно суттєвішим ніж для інших методів тиражування, адже лінійне навантаження між формним та друкарським циліндром в процесі металографічного друку становить до 1000 кН/м [105, 62, 64, 68], в той час як під час офсетного друку – 5–20 кН/м [105] визначення показника загального фарбоперенесення шляхом визначення геометричних параметрів фарбових шарів на відбитку є некоректним через наявність так званого підфарбового рельєфу, що виникає за рахунок значного тиску на папір під час металографічного друку, що є аналогом каландрування паперу в процесі його виготовлення [104, 105]. Також беручи до уваги результати експериментальних досліджень, щодо впливу геометричних параметрів гравійованих штрихів форми металографічного друку на характер результатів профілографування поверхні відбитків, що не дають змогу оцінити комплексний показник фарборенесення, актуальним є імпаментування електрофізичних методів з метою контролю показника фарбоперенесення.

З цією метою створено алгоритм та спеціальне програмне забезпечення з використанням мови програмування C++, використання якого дозволить визначати показник фарбоперенесення металографічного

друку шляхом попередніх налаштувань додрукарських операцій через задання геометричних параметрів форми металографічного друку.

Алгоритм описаного програмного забезпечення наведено на рис. 5.1 (графічне представлення інтерфейсу наведено в Додатку И).

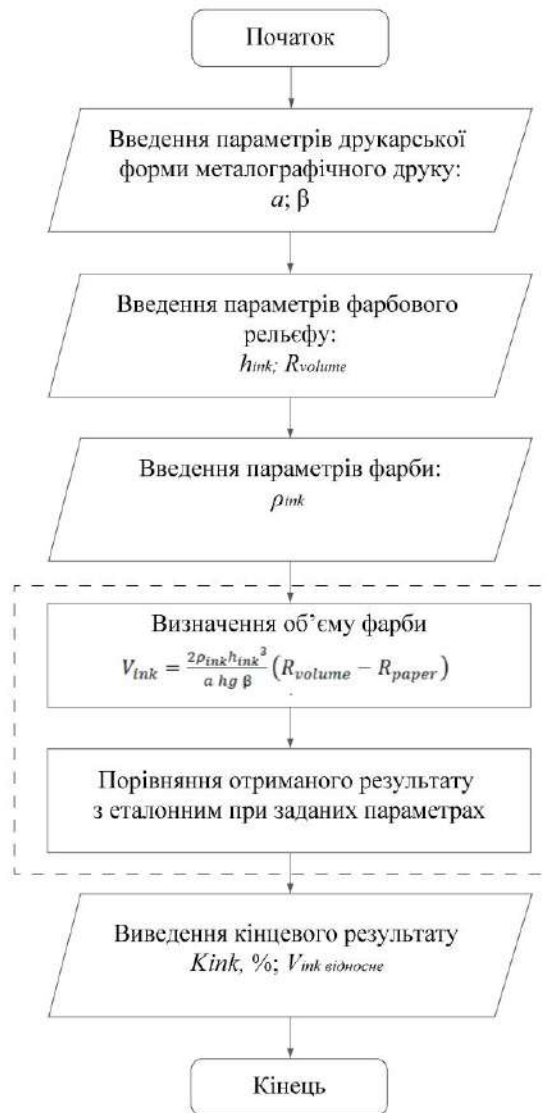


Рис. 5.1 Визначення показника фарбоперенесення металографічного друку

У результаті застосування описаного програмного забезпечення можливим є визначення показника фарбоперенесення з гравійованих штрихів форм металографічного друку на відбиток у вигляді коефіцієнта K

який показує яку відсоткову частину фарби, що заповнює гравійовані штрихи та повністю переноситься на відбиток відповідного до загального об'єму фарби в гравійованих штрихах.

За допомогою розробленого алгоритму з метою імплементування показника об'єму фарби на відбитку металографічного друку, що визначається за рахунок показника об'ємного опору було визначено показники фарбоперенесення для експериментальних зразків металографічного друку (рис. 5.2)

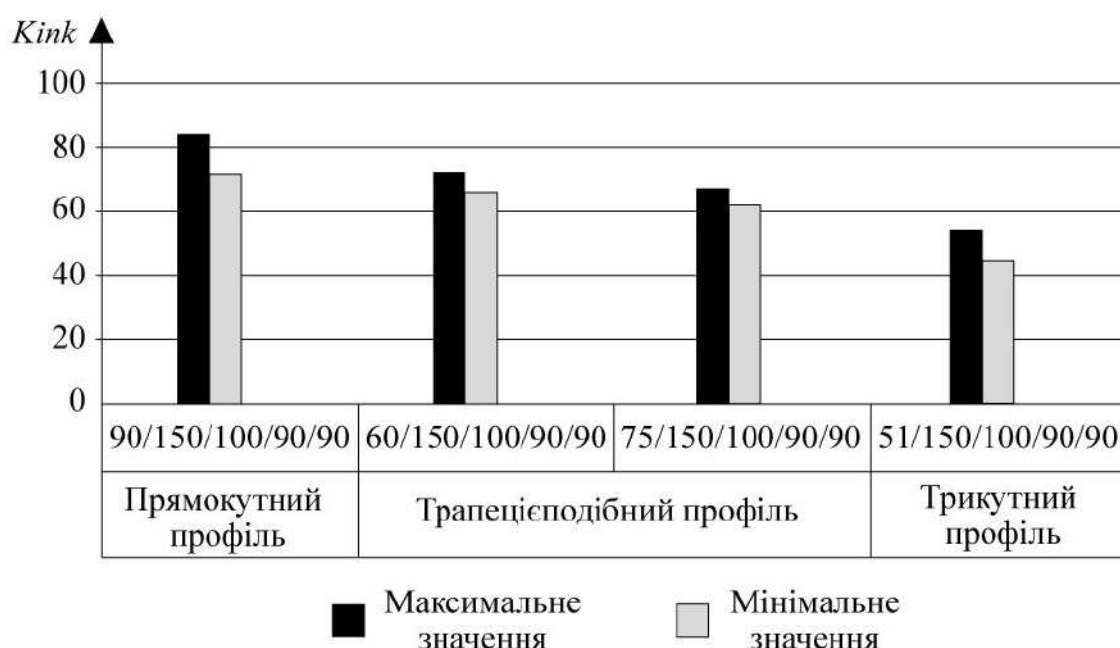


Рис. 5.2. Коефіцієнт фарбоперенесення для відбитків металографічного друку(ключовий параметр – кут нахилу грані комірки форми)

Розрахунок загального об'єму фарби для експериментальних зразків дав можливість з'ясувати, що для штрихів, отриманих з гравійованих штрихів прямокутного профілю, показник фарбоперенесення досягає 78–92 %, тоді, як для трапецієподібного і трикутного профілів він перебуває у межах 65–76 % відповідно та 42–54 % відповідно з урахуванням наявності підфарбового рельєфу. Отримані результати підтверджені розрахунками параметрів профілю отриманих шляхом профілометричних досліджень.

5.2 Система технологічного забезпечення якості металографічного друку через контроль показника фарбоперенесення на відбитках

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 [108].

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено логічно-структурну схему побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості металографічного друку через контроль фарбоперенесення з використанням електрофізичних показників відбитків, що дозволяє встановити норми фарбоперенесення за заданих параметрів гравійованих штрихів друкарських форм металографічного друку, а також контролювати стійкість шару металографічного друку банкнот під час зношування (рис. 5.3).

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 фарбоперенесення металографічного друку.

Розроблена структурно-логічна схема дозволяє здійснювати прогнозування об'єму фарби на відбитках металографічного друку, а також здійснювати цілеспрямоване керування цього показника варіюванням вхідних параметрів при виготовленні друкарських форм.

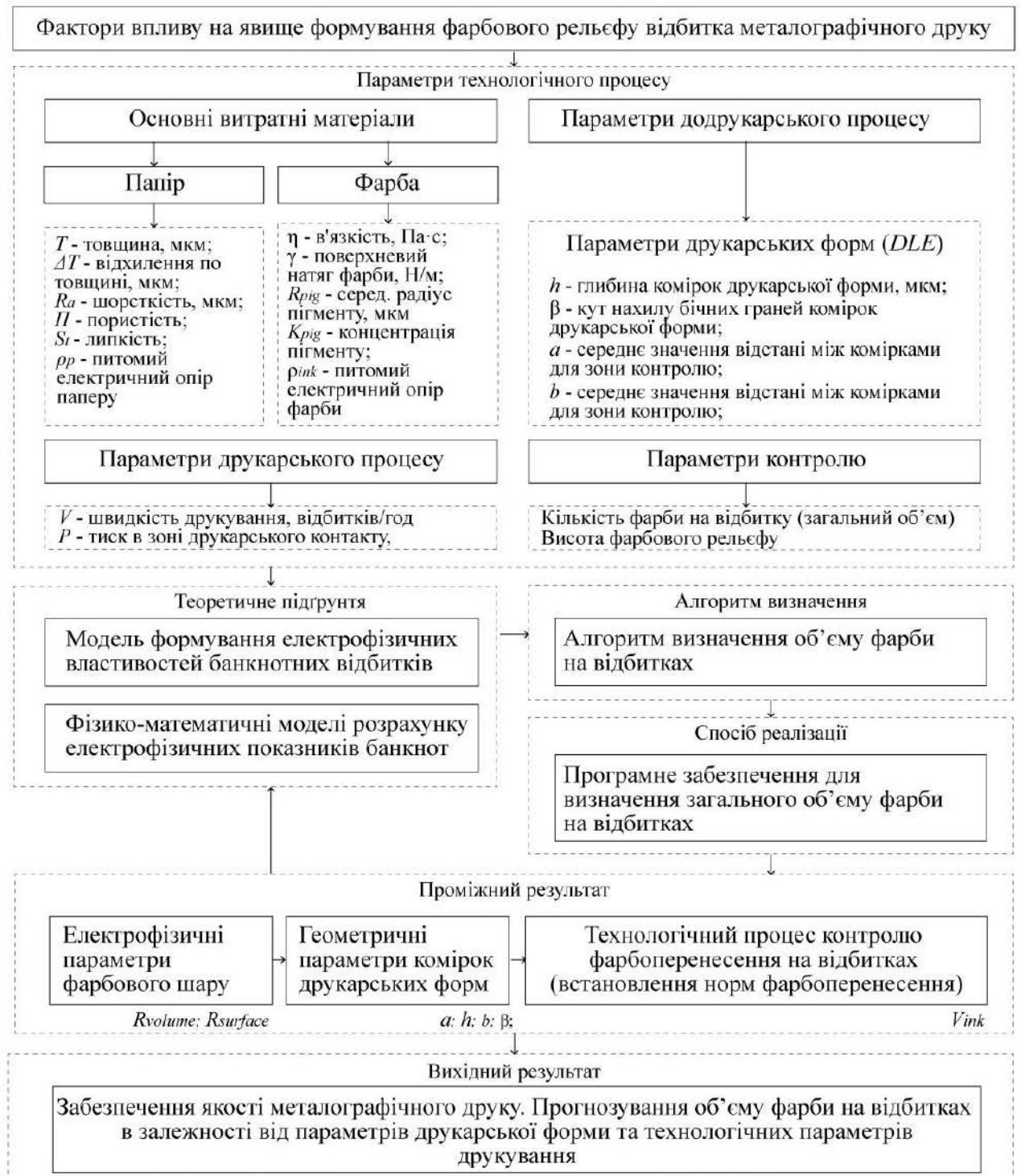


Рис. 5.3. Логічно-структурна схема побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості металографічного друку через контроль показника фарбоперенесення на відбитках

5.3 Система технологічного забезпечення побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості сортувальних процесів

5.2.3 Система коригування коригування критичних меж допусків показників зношеності

Описані у розд. 1 недоліки сортувальних процесів, що викликані неідентичними умовами налаштувань критичних меж показників загального забруднення можуть бути виправлені за рахунок імплементування ефективних показників загального забруднення у сортувальні процеси.

У процесі теоретичного та експериментального вивчення процесів визначення стану зношеності банкнот та ефективності їх використання визначено, найбільш ефективними показниками визначення загального забруднення є показники поверхневого та об'ємного опору зразків.

Оскільки імплементування даних показників у сортувальні процеси не є можливим із врахуванням необхідності контактного методу вимірювань. Для вирішення цієї проблеми слід використовувати штучні нейронні мережі (ШНМ). Крім того, що вони здатні оцінювати поточний стан ступеню зношеності банкнот після навчання.

Штучні нейронні мережі представляють собою математичні моделі, а також їхню програмну та апаратну реалізацію, побудованих за принципом функціонування біологічних нейронних мереж – мереж нервових клітин живого організму [132].

Основною властивістю цих мереж – є здатність до навчання на статистичних даних.

Існує безліч варіантів нейронних мереж і навчальних алгоритмів, на наш погляд, найбільш результативним буде використання багатосарових ШНМ з алгоритмом зворотного поширення помилки [134].

Навчання ШНМ зводиться до модифікації ваг зв'язків між нейронними елементами. Існують три різних підходи до навчання ШНМ: навчання з учителем, навчання з підкріпленням, навчання без вчителя (нейронні мережі, що самоорганізуються).

Розглянемо найпростіший приклад нейронної мережі – одношаровий перцептрон Розенблатта, який складається з одного такого «процесора». Кожне зі з'єднань від входу до ядра включає коефіцієнт, який показує фактор ваги і визначається за допомогою ваги W_i , яка визначає вплив однієї клітини на іншу. Позитивні значення ваг показують посилення, в той час як негативні – послаблення. Схема одношарового перцептрон Розенблатта показана на рис. 5.4.

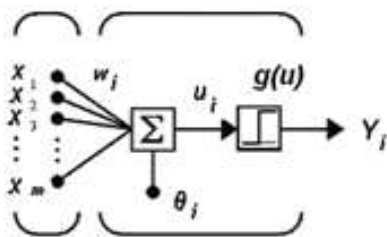


Рис. 5.4. Одношаровий перцептрон Розенблатта [134]

де $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ – вхідні сигнали моделі;

W_i – ваги сигналів;

U_i – сума значень вхідних сигналів, перемножених на вагові коефіцієнти;

θ_i – порогове значення;

$g(u)$ – функція перетворення нейрону (представляє різницю між сумою U_i та пороговим значенням θ_i);

Y_i – вихідний сигнал.

Багатошарові нейронні мережі складаються із вхідного, проміжного (прихованого) та вихідного шару (рис. 5.5).

Завдяки структурі своєї будови багатошарові мережі можуть формувати більш складні, нелінійні зв'язки між вхідними даними та

результатами. Кожний з шарів має власну матрицю ваги W , вектор схильності b та вектор виходу.

Мережа, що показана на рис. , має входи R_1 , нейрони S_1 у першому шарі, нейрони S_2 у другому шарі і т.д. (в даному випадку, для різниці між матрицями ваги, векторами виходу, число шару записано як верхній індекс). Тому шар 2 може бути проаналізований як мережа one-layer з входами S_1 , нейрони S_2 та матрицею ваги W_2 .

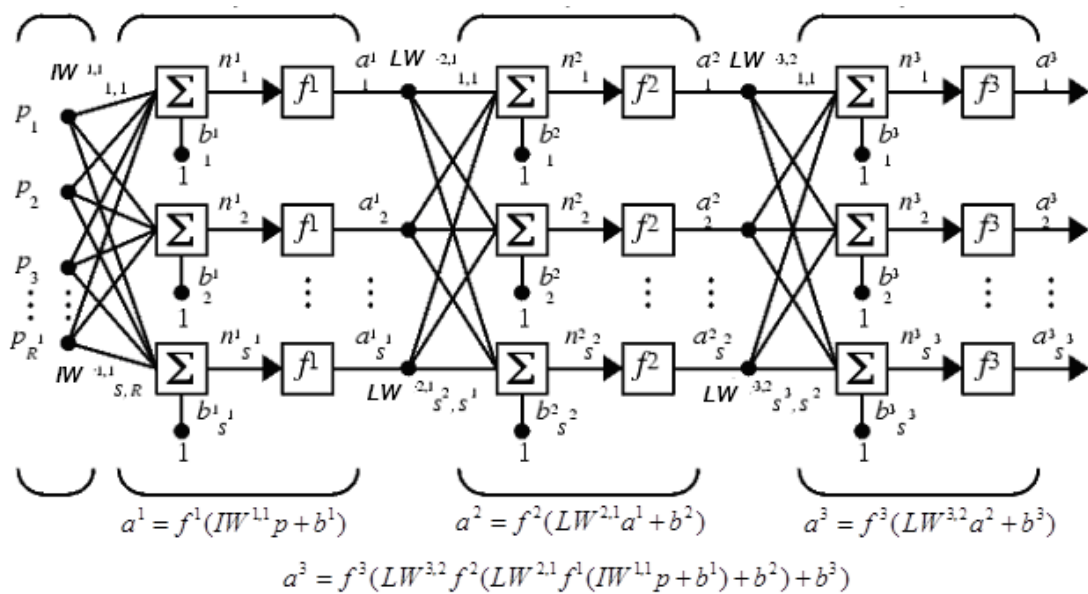


Рис. 5.5. Багатошаровий перцептрон [102]

Багатошарові мережі дозволяють створювати більш складні, нелінійні зв'язки між вхідними даними і результатами на виході. Багатошарова мережа відрізняється тим, що вона складається з декількох рядів, або шарів нейронів таким чином, щоб інформація проходила через ці шари по черзі. Такі мережі налічують не менше двох шарів (перший буде «вхідним», тобто таким, куди поступають початкові дані, другий – «вихідним», тобто таким, який показує вихідні дані). Також між ними існують «приховані» шари [95, 98]. Від кількості таких прихованих шарів та нейронів у них залежить точність розрахунку. Тим не менш, дослідники рідко використовують більше 20 шарів по 30-50 нейронів у

кожному, адже кожний наступний шар збільшує часові витрати у геометричній прогресії.

Алгоритм зворотнього поширення помилки – це найпопулярніший алгоритм для навчання за допомогою зміни ваг зв'язків. Помилка в цьому випадку поширюється від вихідного шару до вхідного, тобто в напрямку, протилежному напрямку проходження сигналу при нормальному функціонуванні мережі. Хоча алгоритм досить простий, його розрахунок може зайняти досить багато часу залежно від величини помилки [98-100].

Виконання алгоритму починається зі створення довільно згенерованих ваг для багат шарової мережі. Потім процес, описаний нижче, повторюється до тих пір, поки середня помилка на вході не буде визнана достатньо малою:

1. Береться приклад вхідного сигналу з відповідним правильним значенням виходу.
2. Розраховується пряме поширення сигналу через мережу (визначаються вагові суми і активатори для кожної комірки).
3. Починаючи з виходів, виконується зворотний рух через осередки вихідного та проміжного шару, при цьому програма розраховує значення помилок.
4. Нарешті, ваги в мережі оновлюються наступним чином відповідно до отриманих значень помилок.

При проведенні будь-якого дослідження визначається коефіцієнти навчання (розмір кроку), тобто така мінімальна величина, на яку мережа може змінити свої внутрішні коефіцієнти між нейронами. Коефіцієнт навчання робить значний вплив на швидкість навчання багат шарового перцептрона і збіжність рішення. Вибір зазвичай здійснюють експериментально. Відносно великі значення забезпечують швидке навчання, але при цьому існує небезпека одержати невірне рішення. Малі значення затягують процес навчання. Крім цього, конкретні значення, обрані на початку процесу навчання, можуть виявитися не зовсім

підходящими в кінці. Тому, в ряді випадків змінюються в ході навчання. Один із способів управління значенням полягає в контролі помилки. Якщо корекція ваг зв'язків при виконанні алгоритму приводить до збільшення помилки, то необхідно їх зменшити. І навпаки, якщо помилка монотонно зменшується, то – збільшити.

Просування вперед по мережі розраховує активації осередків і вихід. Коефіцієнти зв'язків оновлюються таким чином, щоб мінімізувати помилку для даного вхідного сигналу. Коефіцієнт навчання мінімізує відсоток зміни, яка може статися з вагами. Хоча при невеликому коефіцієнті процес може зайняти більше часу, мінімізується можливість пропуску правильної комбінації ваг. Якщо коефіцієнт навчання занадто великий, мережа може ніколи не зійтися, тобто, не будуть знайдені правильні ваги зв'язків.

Результат використання алгоритму зворотного поширення для сортувальних процесів є створення програмного контролеру, який буде коригувати критичні межі датчиків загального забруднення з метою вибору правильного варіанту оцінки стану зношеності банкнот в обробних комплексах.

У якості критеріїв, що будуть «навчати» запропоновано використання зведеного електрофізичного показника:

$$R_{el} = \sum_k \left(\frac{R_{volume\ 1}}{R_{volume\ 0}} + \frac{R_{surface\ 1}^{лице}}{R_{surface\ 0}^{лице}} + \frac{R_{surface\ 1}^{зворот}}{R_{surface\ 0}^{зворот}} \right),$$

де k – кількість вимірювань; $R_{volume\ 0}$ – еталонне значення показника об'ємного опору, МОм; $R_{volume\ 1}$ – виміряне значення показника об'ємного опору, МОм; $R_{surface\ 0}$ – еталонне значення показника поверхневого опору, МОм; $R_{surface\ 1}$ – виміряне значення показника поверхневого опору, МОм.

Дані критерії набуватимуть значення від 0 до 3 (від найменшого до найбільшого) – у відповідності від значень, отриманих при їх розрахунку.

При розробці програмного забезпечення використано мову програмування C++, та бібліотеку FUNN [108-110].

При використанні даного програмного забезпечення спочатку відсоток помилок зменшуються. Це означає, що мережа коректно навчається на структури даних, властиві простору вхідних сигналів. Однак якщо мережа є зайво гнучкою (тобто володіє великою кількістю ступенів свободи, ніж потрібно), то помилка після деякого числа циклів навчання починає зростати. Це означає, що при навчанні мережа швидше враховує особливості властиві конкретному набору даних, а не структурам даних, що надаються для навчання. Наприклад, дані можуть бути зашумлені, і мережа в цьому випадку узагальнює властивості шуму. Тоді говорять, що мережа «перенавчилася». У цьому зв'язку виникає питання про правильність структури нейронної мережі. Якщо помилка перевірки зростає, то необхідно скоротити число нейронів прихованих шарів ШНМ. Разом з тим, якщо помилка а зменшуються, але залишаються відносно великими до кінця процесу навчання, то необхідно збільшити число нейронів прихованих шарів. Альтернативним варіантом є запам'ятовування ваг зв'язків, коли помилка перевірки досягає мінімуму, і видача цих ваг в якості рішення. У цьому випадку структура мережі не змінюється. Такий спосіб виявлення ситуації «перенавчання» називають ранньою зупинкою. Однак це не означає, що навчання необхідно припинити. Навчання слід продовжити, щоб переконатися в тому, що не є локальним мінімумом.

Збільшення періоду навчання знижує рівень ентропії стану мережі та збільшує її коректність.

Вихідний код реалізації алгоритму зворотного поширення для конфігурації мережі наведений в Додатку 3.

Таким чином, ми дійшли висновку, що найкращим методом налаштування критичних меж роботи датчиків оцінювання ступеню загального забруднення буде використання зведених електрофізичних

коефіцієнтів. Також запропоновано сумістити їх з багатошаровою нейронною мережею зі зворотнім алгоритмом повернення помилки, визначено що імплементування зазначеного програмного продукту до сортувальних процесів банкнот дозволить скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу через невідповідність оптичних показників зони контролю зношеності на 24–32 %.

5.2.3 Система комплексного технологічного процесу забезпечення якості сортувальних процесів через коригування критичних меж допусків показників зношеності

Як заходи щодо технологічного забезпечення якості сортувальних процесів розроблено структурно-логічну схему коригування критичних меж показників зношення банкнот для сортувальних процесів (рис. 5.6). Запропоновано алгоритм та спеціальне програмне забезпечення, що створене за допомогою мови програмування C++ та базується на використанні нейронної мережі зі зворотнім поширенням помилки, з метою програмного коригування критичних меж показників зношеності з використанням зведеного електрофізичного показника:

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 фарбоперенесення металографічного друку.

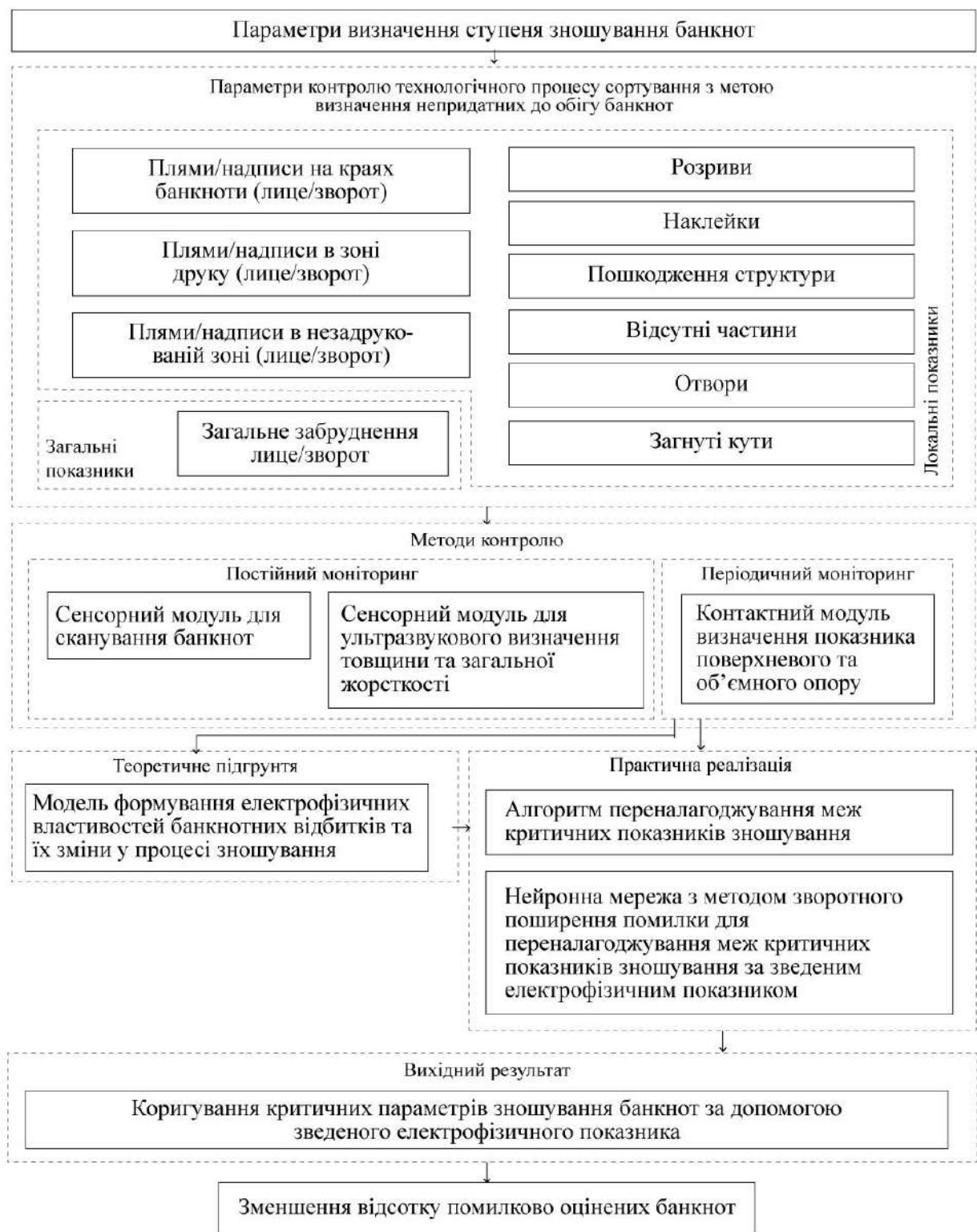


Рис. 17. Логічно-структурна схема побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості сортувальних процесів через коригування критичних меж допусків показників зношеності

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему – забезпечення контролю якості банкотної продукції в обігу. При цьому отримано такі результати:

1. Проаналізовано показники якості банкотної продукції, визначено їхні особливості. Досліджено впливи, що діють на банкноти в обігу, та механізми й ознаки зношення банкнот. На підставі аналізу недоліків роботи обробних комплексів сортування банкнот, що зумовлені технологічними параметрами виготовлення банкотної продукції та інтенсивними умовами її використання, обрано напрямки підвищення якості процесу сортування банкнот, що полягають в досягненні максимальної ідентичності відбитків й однорідності структурних елементів банкотної основи, а також розробці нових методів визначення стану зношеності банкнот, використання яких дає можливість отримати результати, що є максимально достовірними з результатами оцінювання зношеності користувачами банкотної продукції.

2. Розроблено методологію оцінювання показників зношеності банкнот на основі створеного алгоритму із застосуванням елементів кластерного аналізу з відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє визначити достовірність та точність результатів оцінювання стану зношеності банкнот з урахуванням їхнього кроскореляційного зв'язку з результатами суб'єктивного контролю зношеності банкнот за допомогою експертного оцінювання.

3. Створено модель технологічного процесу штучного зношування банкнот, що, із залученням вперше запропонованої узагальненої інформаційної моделі процесу визначення зношеності банкнот з дезагрегуванням технологічного процесу оцінювання комплексного показника зношеності на функціональні складники, дає змогу нормувати технологічні режими та допуски імітації зношування з

метою відтворення реальних процесів зношування в їхнього імітаційних умовах урахуванням питомої частки пошкоджень банкнот у реальному обігу та допусків на їхні значення;

4. Створено моделі формування електрофізичних характеристик відбитків металографічного друку, які дозволяють пояснити механізм формування електрофізичних властивостей фарбових шарів металографічного друку, встановити залежності поверхневого та об'ємного опорів зразків від параметрів штрихів і таким чином визначити об'єм фарби на відбитках, що дозволяє з використанням запропонованої логічно-структурної схеми побудови комплексного технологічного процесу забезпечення якості металографічного друку через контроль фарбоперенесення з використанням електрофізичних показників відбитків встановити норми фарбоперенесення за заданих параметрів гравійованих елементів друкарських форм металографічного друку, а також контролювати стійкість шару металографічного друку банкнот у процесі зношування.

5. Обґрунтовано доцільність використання електрофізичних показників банкнот як критеріїв зношеності та оцінювання впливу технологічних параметрів виготовлення на показник зносостійкості. У процесі дослідження банкнот з обігу встановлено уніфіковане значення показника об'ємного опору банкнот, як показника зношеності для всіх номіналів банкнот української гривні, на рівні 300 ± 50 МОм. Дослідження електрофізичних показників експериментальних зразків банкнот свідчить, що використання металографічного друку підвищує опір паперу в 1,75 разу через ущільнення структури паперу, яке виникає за рахунок тиску в друкарській парі. Зміни параметрів тиску та швидкості друкування не призводять до подальших змін у дослідному інтервалі.

6. Удосконалено технологічний процес сортування з метою визначення непридатних до обігу банкнот, із використанням контактного модуля визначення поверхневого та об'ємного опорів банкнот з метою

зниження рівня браку сортувальних процесів та спеціально створеного програмного забезпечення для коригування меж допусків параметрів контролю зношування банкнот для автоматизованого сортування через встановлення обґрунтованих порогових значень вимірюваних показників зношеності в процесі роботи сортувального обладнання з періодичним переналаштовуванням за рахунок зведеного електрофізичного показника зношеності, що дозволить на 24–32 % скоротити необґрунтоване вилучення банкнот з обігу.

7. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського під час проведення лабораторних та практичних робіт з дисциплін «Захист інформації в поліграфії» та «Поліграфічне матеріалознавство».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Киричок Т. Ю. Зносостійкість банкотної продукції : монографія / Т. Ю. Киричок. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 308 с;
2. Киричок Т. Ю. Вплив фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкотних відбитків / Т.Ю. Киричок, Є.Г. Сухіна, О.В. Гуша // Зб. наук праць: «Технологія і техніка друкарства». – К., 2014. – №3 (43);
3. Киричок Т. Ю. Комплексна оцінка показників зношування банкот української гривні в умовах реального обігу / Т. Ю Киричок, П. П. Когут // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2012. – № 3 (37). – С. 4–26;
4. Киричок Т. Ю. Аналіз зносостійкості банкот української гривні в умовах реального обігу / Т. Ю. Киричок, А. А. Мельниченко, В. М. Нестеренко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 2 (88). – С. 94–104;
5. Balke P. From Fit to Unfit: How Banknotes Become Soiled [Electron. resource] / P. Balke. – Watermark 2011, Rostov-on-Don.– Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
6. Buitelaar T. The Colour of Soil [Electron. resource] / T. Buitelaar. – DNB Cash Seminar 2008 / Amsterdam, 28–29 February, 2008. – De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
7. Geusebroek J.-M. Learning banknote Fitness for Sorting [Electron. resource] / J.-M. Geusebroek, P. Markus, P. Balke. – DNB Betalingsverkeer. Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
8. Marincovic C. Life Cycle Assessment of Canada's Polymer Bank Notes and Cotton-Paper Bank Notes. Final report / C. Marincovic, K. Pritchard, M. Binder, N. da Silva [Electron. resource]. – May 27, 2011. – Офіційний сайт Bank of Canada. – Access link: <http://www.bankofcanada.ca/wp->

- content/uploads/ 2011/06/ Life-Cycle-Assessment-of-Polymer-and-Cotton-Paper-Bank-otes_opt.pdf;
9. Martinez M. Mechanical banknote sorting: an empirical study / M. Martinez, E. Kropnick, J. D. Negueruela. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 6. – October 2009. – P. 16–19;
 10. Офіційний сайт Національного банку України. Статистичний бюлетень. – http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=57897;
 11. Правила визначення платіжності та обміну банкнот і монет Національного банку України (Затверджено Постановою Правління Національного банку України від 17 листопада 2004 р. № 547);
 12. Інструкція про ведення касових операцій банками в Україні (Затверджено Постановою Правління Національного банку України від 01.06.2011 № 174);
 13. Meuer T. The Eurosystem's efforts in the search for a longer lasting banknote / T. Meuer, J. Martin // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April 2011. – P. 22–24;
 14. Sa-nguandekul S. The Bank of Thailand experience with high durability banknotes / S. Sa-nguandekul // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April 2011. – P. 25–27;
 15. Koeze P. The life-length of banknotes. A case study / P. Koeze // *Statistica Neerlandica*, 36 (1982). – P. 187–207;
 16. Coopriider T. E. Resistivity Testing Methods for Conductive Base Paper / T. E. Coopriider. – *Tappi*, 1968. – Vol. 51, №. 11. – P. 520–527;
 17. Kyrychok T. J. Badania odpornosci na zuzycie papieru banknotowego = Testing of Banknote Paper Wear and Tear / T. J. Kyrychok, P. O. Kyrychok, S. F. Havenko, V. M. Nesterenko // *Przegland papierniczy*. – 2013. – N 12. – P. 653–656;
 18. Kyrychok Tetiana. Banknote Paper Deterioration Factors: Circulation Simulator Method / Tetiana Kyrychok, Anatolii Shevchuk, Victor Nesterenko, Petro Kyrychok // *BioResources*. – 2014. – Vol. 9 (1). – P. 710–724;

19. Федеральна служба з інтелектуальної власності, патентів та товарних знаків (ФГУ ФИПС) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www1.fips.ru>;
20. Киричок Т. Ю. Анализ точности показателей общей изношенности банкнот / Т. Ю. Киричок // Измерительная техника. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – Вып. 2. – С. 41–43;
21. Киричок Т. Ю. Багатокритеріальна задача вибору показника зношування банкнот української гривні в умовах реального обігу / Т. Ю. Киричок // Зб. наук. праць «Поліграфія і видавнича справа». – Львів, 2012. – № 4 (60). – С. 89–101;
22. Киричок Т. Ю. Вирішення багатокритеріальних задач розвитку банкнотного виробництва / Т. Ю. Киричок // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 15-ї Міжнар. наук.-техніч. конф. SAIT 2013 (Київ, 27–31 травня 2013 р.). – К. : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2013. – С. 113;
23. Киричок Т. Ю. Вплив металографічного друку на міцнісні характеристики банкнотного паперу / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2012. – № 2 (36). – С. 4–10;
24. 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 // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2010. – № 1. – С. 20–28;
25. 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. – К. : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. – С. 71–75;
26. Киричок Т. Ю. Задача багатокритеріального вибору варіанту переоснащення банкнотного виробництва / Т. Ю. Киричок // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 14-ї Міжнар. наук.-техніч.

- конф. SAIT 2012 (Київ, 24 квітня 2012 р.). – К. : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2012. – С. 69;
27. Киричок Т. Ю. Вплив металографічного друку на міцнісні характеристики банкнотного паперу / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2012. – № 2 (36). – С. 4–10;
28. Киричок Т. Ю. Комплексна оцінка показників зношування банкнот української гривні в умовах реального обігу / Т. Ю. Киричок, П. П. Когут // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2012. – № 3 (37). – С. 4–26;
29. Buitelaar T. The Colour of Soil [Electron. resource] / T. Buitelaar. – DNB Cash Seminar 2008 / Amsterdam, 28–29 February, 2008. – De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
30. Balke P. New Soiling Test Method: Anti-Dirty Fingers [Electron. resource] / P. Balke // Banknote, December, 2009. – Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
31. Bartz W. Circulation simulator method for evaluating bank note and optical feature durability / W. Bartz, and T. Crane // Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI; Edited by van Renesse, Rudolf L. Proceedings of the SPIE. – 2006. – Vol. 6075. – P. 75–83;
32. Kyrychok Tetiana. Banknote Paper Deterioration Factors: Circulation Simulator Method / Tetiana Kyrychok, Anatolii Shevchuk, Victor Nesterenko, Petro Kyrychok // BioResources. – 2014. – Vol. 9 (1). – P. 710–724;
33. Buitelaar T. Consumption of banknotes in the Netherlands [Electron. resource] / T. Buitelaar. – Lecture presented at De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam. – 10 april 2002. – De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
34. Antoci S. FabrianoDnA: durable, natural and authentic / S. Antoci // Billetaria. International Review on Cash Management. – Issue 9. – April 2011. – P. 12;

35. Эткинс П. Физическая химия: пер. с англ. / П. Эткинс, Дж. де Паула. – Т.1. – М. : Мир, 2007. – 494 с;
36. Fellers C. Ageing / Degradation of Paper. A Literature Survey / C. Fellers, T. Iversen, T. Lindström et al. // FoU-Projektet for Papperskonservering, Report No. 1 E, Stockholm, September. – 1989. – С. 153–157;
37. Jablonsky M. Changes in newsprint paper during accelerated ageing / M. Jablonsky, S. Katushchak, F. Kacik, D. Kacikova // Cellulose Chem. Technol. – 2011. – Vol. 45 (5–6) . – P. 405–411;
38. Jenny B. Color design for the color vision impaired / B. Jenny, N. V. Kelso // Cartographic Perspectives. – 2007. – Vol. 57. – P. 61–67;
39. Lajic B. Accelerated and natural ageing of offset prints covered with different varnishes / B. Lajic, I. Majnaric, and I. B. Mirkovic // Nordic Pulp & Paper Res. J. – 2013. – Vol. 28 (1). – P. 101–110;
40. ISO Standards–2008. ISO 5630–5:2008. Бумага и картон. Ускоренное старение. Часть 5. Влияние повышенной температуры при 100 град;
41. Fellers C. Ageing / Degradation of Paper. A Literature Survey / C. Fellers, T. Iversen, T. Lindström et al. // FoU-Projektet for Papperskonservering, Report No. 1 E, Stockholm, September. – 1989. – С. 153–157;
42. ISO Standards–2008. ISO 5630–5:2008. Бумага и картон. Ускоренное старение. Часть 5. Влияние повышенной температуры при 100 град;
43. ASTM D 6819-02 (2007). Standard Test Method for Accelerated Temperature Aging of Printing and Writing Paper by Dry Oven Exposure Apparatus;
44. Geusebroek J.-M. Learning banknote Fitness for Sorting [Electron. resource] / J.-M. Geusebroek, P. Markus, P. Balke. – DNB Betalingsverkeer. Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
45. Balke P. New Soiling Test Method: Anti-Dirty Fingers [Electron. resource] / P. Balke // Banknote, December, 2009. – Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;

46. Киричок Т. Використання методу морфологічного аналізу для проектування поліграфічних виробів / Т. Киричок // Кваліологія книги: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 6–8 червня 2012 р.). – Львів: УАД НДЦ «Heidelberg», 2012. – С. 74–76;
47. European Patent Office (Esp@cenet) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep.espacenet.com>;
48. Всесвітня організація інтелектуальної власності (WIPO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.wipo.int/portal/index.html.en>;
49. Євразійська патентно-інформаційна система (EAPATIS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.eapatis.com>.
50. Державне підприємство «Український інститут промислової власності» (УкрПатент) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrpatent.org>;
51. United States Patent and Trademark Office (USPTO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.uspto.gov>;
52. Balke P. From Fit to Unfit: How Banknotes Become Soiled [Electron. resource] / P. Balke. – Watermark 2011, Rostov-on-Don.– Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
53. Киричок Т.Ю. Дослідження зміни характеристик зразків банкнот під час імітації зношування/ Т.Ю. Киричок, В.М. Нестеренко, Є. Г. Сухіна, О.В. Гуца// Зб. наук праць: «Технологія і техніка друкарства». – К., 2012. – №4 (38). – С. 4-25;
54. Summers I. R. Tactile discrimination of paper / I. R. Summers, R. J. Irwin // Biomedical Physics Group;
55. Киричок Т. Ю. Вплив фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних відбитків / Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца // Технологія і техніка друкарства. – Київ, 2014. –№ 2 (44). – С. 4–22.

56. Griesmer J. J. Electrofax base paper. Accurate and meaningful conductivity measurements / J. J. Griesmer // TAPPI Journal. – 978. – Vol. 61 (3). – P. 97– 99;
57. Datacolor color quality control [Електронний ресурс] // Офіц. сайт Datacolor. – Режим доступу: <http://www.industrial.datacolor.com/color-qualitycontrol.html>;
58. ГОСТ Р ИСО 536-2013 Бумага и картон. Определение массы [Текст] – Введ. 2015-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 16 с;
59. ГОСТ Р 50499-93 ГСИ. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления [Текст] – Введ. 1993-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. – 20 с;
60. Пат. № 102351 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00, G01N 27/22 (2006.01). Спосіб оцінки зношеності банкнот / Киричок Т. Ю., Сухіна Є. Г., Гуца О. В.; заявник і патентовласник Киричок Т. Ю., Сухіна Є. Г., Гуца О. В.; №u201504060; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 26.10.2015 р. – бюл. № 20;
61. Kyrychok Tetiana. Research of paper structure with watermarks / Tetiana Kyrychok, Tetiana Klymenko, Nadya Malkush // Proceedings of the 42th Conference of International Circle of Educational Institutes for Graphic Arts, Technology and Management IC 2010 (Moscow, 19–20 October, 2010). – М. : МГУП, 2010. – P. 75–79;
62. Киричок Т. Ю. Тактильна дискримінація паперових банкнот після лакування вододисперсним лаком / Т. Ю. Киричок, А. М. Мережинська, О. В. Гуца // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2014. – № 1 (43). – С. 13–20;
63. Pat. US 4966628 A, МПК C09D 11/08. Security document printing ink / Amon A. et al.; Sicpa Holding SA, Switzerland. – US 07/313092; заявл. 21.02.1989; опубл. 30.10.1990;

64. Pat. US 5569701, МПК C08L 67/08. Soybean oil-based intaglio ink and method for making same / Moynihan J. T.; Bureau of Engraving and Printing, Washington D. C. – 455994; заявл. 31.05.1995; опубл. 29.10.1996;
65. Pat. US 005723514A, МПК C09D 11/10. Heatset intaglio printing ink / Nachfolger S. J. et al.; Sun Chemical Corporation, Fort Lee N. J. – 489912; заявл. 13.06.1995; опубл. 03.03.1998;
66. Pat. 006833395 Canada, МПК C09D 11/10; C08L 67/08; C08K 5/16; C08K 5/17. Intaglio printing inks having improved dispersibility and chemical resistance / Rygas, Ted P.; Canadian Bank Note Company, Limited. – заявл. 5.10.2001; опубл. 21.12.2004;
67. Pat. CA 2559557A1 Canada, МПК C09D 11/00. Rheologically unique intaglio printing inks / Malanga, J. et al.; Sun Chemical Corporation (USA). – заявл. 12.03.2004; опубл. 12.09.2006;
68. Pat. US20120199029 A1, МПК C09D 11/10. Intaglio printing ink / Fukuura A.; National Printing Bureau Incorporated, Japan. – 13/501904; заявл. 08.10.2010; опубл. 09.08 2012;
69. Киричок Т. Ю. Тактильна дискримінація паперових банкнот після лакування вододисперсним лаком / Т. Ю. Киричок, А. М. Мережинська, О. В. Гуца // 3б. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2014. – № 1 (43). – С. 13–20.
70. ДСТУ 2047-92 (ГОСТ 300 22. 2-93) (ISO 8791-2: 1990). Бумага и картон. Метод определения шероховатости (метод с применением пропускания воздуха). Метод Бендстена;
71. Алиев, И. И. Электротехнические материалы и изделия : справочник / И. И. Алиев, С. Г. Калганова. – М. : Энергоиздат, 2006. – 352 с;
72. Золотов М. С. Влияние различных факторов на прочностные характеристики лакокрасочных покрытий / М. С. Золотов, М. А. Любченко // Науковий вісник будівництва. Вип. 43. – Харків : ХДТУБА, 2007. – С. 123–127;

73. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А. Д. Яковлев – Л. : Химия, 1989.– 384 с;
74. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с;
75. Кейси Дж. П. Свойства бумаги и ее переработка / Дж. П. Кейси. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 650 с;
76. Ренне В. Т. Электрические конденсаторы / В. Т. Ренне. – М. : Энергия, 1969. – 592 с;
77. Renne V. T. Influence of inorganic impurities on dielectric properties of electric insulating paper / V. T. Renne // Zellstoff Papier, 1968. – Vol. 17. – P. 343–345;
78. Borch J. Handbook of Physical Testing of Paper / J. Borch, M. B. Lyne, R. E. Mark, C. Habeger // CRC Press, 2001. – Vol. 2. – 560 p;
79. Флятте Д. М. Свойства бумаги / Д. М. Флятте. – М. : Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с;
80. Киричок Т. Ю. Покращення клімат-контролю приміщень поліграфічних підприємств за рахунок оптимізації газових сенсорів / Т. Ю. Киричок // Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы VI ежегодной Промышленной конф. с международным участием (п. Славское, Карпаты, 20–24 февраля 2006 г.). – К. : УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2006. – С. 433–434;
81. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания / Л. А. Козаровицкий. – М. : «Книга», 1965. – 368 с;
82. Atkinson R. W. Static and Static Controls in Printing [Электронный ресурс] / R. W. Atkinson, J. K. Hewson – Офіційний сайт TAKK Industries Incorporated. – Режим доступу: <http://www.takk.com/takk-technical-specs.html>;
83. Diamond A. S. Handbook of imaging materials / A. S. Diamond, D. S. Weiss. – New York: CRS Press, 2002. – 682 p;

84. Josefowicz J. Electrical Conductivity of Paper: Measurement Methods and Charge Transport Mechanisms / J. Josefowicz, Y. Deslandes // *Colloids and Surfaces in Reprographic Technology*, 1982. – Vol. 200. – P. 493–530;
85. Kappel Ch. Measurement of printing ink penetration in uncoated papers and its influence on print quality / Ch. Kappel, U. Hirn, M. Donoser, W. Bauer // *Proceedings of 94th Annual Meeting of Pulp and Paper Technical Association of Canada*. – Montreal, Canada, February 5–7, 2008. – P. 539–542;
86. Renne V. T. Influence of inorganic impurities on dielectric properties of electric insulating paper / V. T. Renne // *Zellstoff Papier*, 1968. – Vol. 17. – P. 343–345;
87. Sabo R. Effect of environmental conditions on the mechanical properties and fungal degradation of polycaprolactone / microcrystalline cellulose / wood flour composites / R. Sabo, L. Jin, N. Stark, R. E. Ibach // *BioResources*. – 2013. – Vol. 8 (3). – P. 3322–3335;
88. Пат. № 103510 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00. Метод випробування, що імітує процес зношування банкнот / / Киричок Т. Ю., Гуца О. В., Сухіна Є. Г.; заявник і патентовласник Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца, Є. Г. Сухіна; №u201504058; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 25.12.2015 р. – бюл. № 24;
89. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст] – Введ. 01.01.1977. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1978. – 7 с;
90. Van der Horst F. What is a fit banknote? The Dutch public responds / F. van der Horst, M. Meeter, J. Theeuwes, M. van der Woude. – *DNB Occasional Studies*. – Vol. 9/No. 4. – 2011. – De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam. – 47 p;
91. TAPPI Standards–1998. T 452 om–98. Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm);

92. Киричок Т. Ю. Класифікація пошкоджень банкнот в обігу / Т. Ю. Киричок // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2011. – № 4 (34). – С. 11–20;
93. Kyrychok T. Research of electrophysical parameters of banknote paper and banknotes / T. Kyrychok, S. Havenko, P. Kyrychok, Y. Sukhina, Z. Kazhmuratov // – Przegląd Papierniczy – 2016. – № 72. – С. 50–54;
94. Киричок Т. Ю. Влияние износа на электрофизические параметры банкнот / Т. Ю. Киричок, В. М. Кириленко, Е. Г. Сухина // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. – М., 2013. – № 6. – С. 3–12;
95. Werbos P. J. 1974. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Masters thesis. Harvard University. 60. Grossberg S. 1974;
96. Classical and instrumental learning by neural networks. Progress in theoretical biology, vol. 3, pp. 51–141. New York: Academic Press;
97. Stornetta W. S., Huberman B. A. 1987. An improved three-layer, backpropagation algorithm. In Proceedings of the IEEE First International Conference on Neural Networks, eds. M. Caudill and C. Butler. San Diego, CA: SOS Printing;
98. Lippman R. P. 1987. An introduction to computing with neural nets. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, April, pp. 4-22;
99. Perlovsky L. Neural Networks and Intellect. Using Mode-based concepts. 2001. Oxford University Press;
100. Kimura T., Shima T. Synapse weight accuracy of analog neuro chip // Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks. – Japan, Nagoya, October 25-29, 1993. – Vol.1. – P. 891-894;
101. Anguita D., Ridella S., Rovetta S. Limiting the effects of weight errors in feed forward networks using interval arithmetic // Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'96). – USA, Washington, June 3-6, 1996. – Vol.1. – P. 414-417;

102. Edwards P., Murray A. Modeling weight- and input-noise in MLP learning // Proceedings Of International Conference on Neural Networks (ICNN'96). – USA, Washington, June 3-6, 1996. – Vol.1. – P. 78-83;
103. А.Н. Горбань Нейронные сети на персональном компьютере // Горбань А.Н., Россиев Д.А. – Новосибирск: Наука, 1996. С 176;
104. Holik H. Handbook of paper and board / H. Holik. – Wiley-VCH, 2006. – 505 p;
105. Kipphan H. Handbook of Print Media. Technologies and Production Methods / H. Kipphan. – Springer, 2001. – 1207 p;
106. IEC 60093. Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials;
107. Kyrychok T. Research of electrophysical parameters of banknote paper and banknotes / T. Kyrychok, S. Havenko, P. Kyrychok, Y. Sukhina, Z Kazhmuratov// – Przegląd Papierniczy – 2016. – № 72. – С. 50–54;
108. libfann/fann [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/libfann/fann>;
109. Fast Artificial Neural Network Library (FANN) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leenissen.dk/fann/wp/>;
110. NODE/fann [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/rlidwka/node-fann>;
111. 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. 58–6;
112. 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;
113. Остреров М. А. Бумага, защищенная от подделок / М. А. Остреров // КомпьюАрт. – 2008. – № 10. – С. 29– 31;

114. Van der Horst F. What is a fit banknote? The Dutch public responds / F. van der Horst, M. Meeter, J. Theeuwes, M. van der Woude. – DNB Occasional Studies. – Vol. 9/No. 4. – 2011. – De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam. – 47 p.
115. Лист НБУ від 11.08.2000 р. №11-111/1246-5428 «Про визначення критеріїв зношення банкнот»;
116. Лист НБУ від 31.07.2012 р. № 11-117/2963;
117. Geusebroek J.-M. Learning banknote Fitness for Sorting [Electron. resource] / J.-M. Geusebroek, P. Markus, P. Balke. – DNB Betalingsverkeer. Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
118. Правила визначення платіжності та обміну банкнот і монет Національного банку України (Затверджено Постановою Правління Національного банку України від 17 листопада 2004 р. № 547). 120. Президент Европейского Центрального Банка представил новую банкноту 5 евро [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.itartass.com/c1/618324.html>;
119. Federal Reserve Bank Services Fitness guidelines for Federal Reserve note (FRNs) [Electron. resource]. – Currency Technology Office, Federal Reserve Bank, USA. – 2008. – Access link: http://www.frbservices.org/files/operations/pdf/FRB_fitness_guidelines_2008_dec_11.pdf;
120. Bartz W. Circulation simulator method for evaluating bank note and optical feature durability / W. Bartz, and T. Crane // Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI; Edited by van Renesse, Rudolf L. Proceedings of the SPIE. – 2006. – Vol. 6075. – P. 75–83;
121. Takagi M. Toshiba's banknote processing machines / M. Takagi. – Billetaria. International Review on Cash Management. – Issue 4. – October 2008. – P. 24–25.

122. Kropnick E. Measurement of banknote soiling by sorting machines: An empirical study / E. Kropnick. – *Billetaria. International Review on Cash Management* 11. – 2012. – P. 24–26;
123. Martinez M. Mechanical banknote sorting: an empirical study / M. Martinez, E. Kropnick, J. D. Negueruela. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 6. – October 2009. – P. 16–19;
124. Meuer T. The Eurosystem's efforts in the search for a longer lasting banknote / T. Meuer, J. Martin // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April 2011. – P. 22–24;
125. Banknote Processing Systems. Офіційний сайт компанії Giesecke & Devrient [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.gi-de.com/en/products_and_solutions/products/banknote_processing_systems/banknoteprocessing-systems.jsp;
126. Cantero F. Banknote authentication devices / F. Cantero // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 8. – October 2010. – P. 21–22;
127. Perron M. Patenting of new banknote security features / M. Perron // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April 2010. – P. 22–23;
128. Peters D. An alternative to foxing? Oxidative degradation as a cause of cellulosic discoloration / D. Peters. – *Papier Restaurierung – Mitteilungen der IADA (Internationale Arbeitsgemeinschaft der Archiv-, Bibliotheks- und Graphikrestaurationen)* 1. – 2000. – P. 801–806;
129. Cao M. J. Average banknote lifespan / M. J. Cao M.J., D. J. Negueruela. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 12. – October 2012. – P. 15–19;
130. Landis F. H. Prevention is better than a cure: electric shock injuries from static electricity discharges / F. H. Landis // *Industry Applications Magazine*. – IEEE, 2012. – Vol. 18 (3). – P. 57–60;

131. Martinez M. Mechanical banknote sorting: an empirical study / M. Martinez, E. Kropnick, J. D. Negueruela. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 6. – October 2009. – P. 16–19;
132. Williams E. M. The physics and technology of xerographic processes / E. M. Williams. – New York : Wiley, 1984. – 288 p;
133. Artificial neural network [Електронний ресурс] / Artificial neural network – Офіційний сайт wikipedia. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org>;
134. Multilayer perceptron [Електронний ресурс] / Multilayer perceptron – Офіційний сайт wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Multilayer_perceptron;
135. Takagi M. Toshiba's banknote processing machines / M. Takagi. – *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 4. – October 2008. – P. 24–25;
136. 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;
137. Leon F. Varnishing solutions for a long-lasting banknote / F. Leon, A. Walter // *Billetaria. International Review on Cash Management*. – Issue 9. – April 2011. – P. 25–27;
138. DIN 32757. Shred Particle Security Levels;
139. Federal Reserve Bank Services Fitness guidelines for Federal Reserve note (FRNs) [Electron. resource]. – Currency Technology Office, Federal Reserve Bank, USA. – 2008. – Access link: http://www.frbervices.org/files/operations/pdf/FRB_fitness_guidelines_2008_dec_11.pdf;
140. Leslie G. Enhancing modern banknotes with traditional features / G. Leslie // *Currency News*. – Vol. 3, No. 1. – January 2005. – P. 8–9;
141. Comments to «The Bank of Russia Notes Fitness Criteria» [Electron. resource]. – Access link: http://www.cbr.ru/eng/bank-notes_coins/?Prtid=unfit;

142. Lisowsky M. Issues of volume resistivity measurement of solid dielectrics and evaluation of uncertainty of results by approximate method at a confidence level of 0.95 / M. Lisowsky // Metrology and Measurement Systems. – 2009. – Vol. XVI (2). – P. 233–248;
143. Інструкція про ведення касових операцій банками в Україні (Затверджено Постановою Правління Національного банку України від 01.06.2011 № 174);
144. Pat. WO2012/165959 A1 WIPO, МПК G07D 7/20. Method and device for classifying security documents such as banknotes / P. Balke, J.-M. Geusebroek, applicant: De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam. – PCT/NL2012/050380; заявл. 01.06.2011; опубл. 06.12.2012;
145. Van der Horst F. What is a fit banknote? The Dutch public responds / F. van der Horst, M. Meeter, J. Theeuwes, M. van der Woude. – DNB Occasional Studies. – Vol. 9/No. 4. – 2011. – De Nederlandsche Bank NV, Amsterdam. – 47 p;
146. Long Life. The banknote paper that «lives» longer. – Офіційний сайт фірми Louisenthal [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.louisenthal.com/en>;
147. Malakooti B. Generalized polynomial decomposable multiple attribute utility function for ranking and rating multiple criteria discrete alternatives / B. Malakooti and S. Subramanian // Applied Mathematics and Computation. – 1999. – Vol. 106 (1). – P. 69–102;
148. Meuer T. The Eurosystem's efforts in the search for a longer lasting banknote / T. Meuer, J. Martin // Billetaria. International Review on Cash Management. – Issue 9. – April 2011. – P. 22–24.
149. Norliana S. The health risk of formaldehyde to human beings / S. Norliana, A. S. Abdulamir, F. Abu Bakar, A. B. Salleh // American J. of Pharmacology and Toxicology. – 2009. – Vol. 4 (3). – P. 98–106.

150. Normand N. How Green is your Banknote / N. Normand // Proceedings of Currency Conference [Electron. resource]. – Prague. – October 12–15, 2008. – Access link: <http://currencyresearch.com/conferences/currency-conference>.
151. Oittinen P. Fundamental rheological properties and tack of printing inks and their influence on behaviour in a printing nip / P. Oittinen // Acta Polytechnica Scandinavia, Chemistry Including Metallurgy Series. – No. 131. – Helsinki, 1976. – 192 p;
152. Гавенко С. Ф. Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посіб. / С. Ф. Гавенко, О. В. Мельников. – Львів : Афіша, 2000. – 120 с.
153. O'Reilly T. X Users Guide Motif R5: Motif Edition. Vol. III (Definitive Guides to the X Window System) / T. O'Reilly, V. Quercia. – Second Edition. – O'Reilly Media, 1994. – 955 p.
154. Paesano G. New technologies in the intaglio workflow: towards digital systems and eco-friendly processes / G. Paesano, N. Mainieri // Billetaria. International Review on Cash Management. – April 2012. – Issue 11. – P. 20–21.
155. Киричок Т. Ю. Влияние износа на электрофизические параметры банкнот / Т. Ю. Киричок, В. М. Кириленко, Е. Г. Сухина // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. – М., 2013. – № 6. – С. 3–12;
156. Правила визначення платіжності та обміну банкнот і монет Національного банку України (Затверджено Постановою Правління Національного банку України від 17 листопада 2004 р. № 547);
157. Киричок Т. Ю. Анализ точности показателей общей изношенности банкнот / Т. Ю. Киричок // Измерительная техника. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – Вып. 2. – С. 41–43.
158. Buitelaar T. The Colour of Soil [Electron. resource] / T. Buitelaar. – DNB Cash Seminar 2008 / Amsterdam, 28–29 February, 2008. – De Nederlandsche Bank NV. – Access link: <http://www.dnb.nl/binaries>;
159. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. – М.: Энергия, 1969. – 592 с;

160. Giesecke & Devrient: офіційний сайт фірми [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: <http://www.gi-de.com>;
161. Фляте Д.М. Свойства бумаги. - М.: Лесная промышленность; 1986. –
680 с;

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Акти впровадження у виробничий та навчальний процес

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший заступник директора
Видавничо-поліграфічного інституту
КПІ ім. Ігоря Сікорського

к. т. н., доцент Лотоцька О.І.

 2017 р.

ДОВІДКА

Про впровадження у навчальний процес

Цим підтверджуємо авторський пріоритет на науковий доробок аспірантки кафедри технології поліграфічного виробництва Сухіної Є. Г. у впровадженні положень дисертаційної роботи «Комплексна оцінка якості банкнот» у начальному процесі підготовки фахівців на кафедрі технології поліграфічного виробництва ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського за освітнім ступенем «бакалавр» спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія під час проведення лабораторних та практичних робіт з дисципліни «Поліграфічне матеріалознавство», а також за освітнім ступенем «магістр» спеціальності 186 Видавництво та поліграфія спеціалізації «Поліграфічні медіатехнології» під час проведення практичних та лекційних занять з дисципліни «Захист інформації в поліграфії».

Заступник директора за навчально-методичної роботи

Завідувач кафедри технології поліграфічного виробництва



А. В. Кваско

Т. А. Роїк

ЗАТВЕРДЖУЮ
Головний інженер
Державного видавництва
«Преса України» Державного управління
справами

А. О. Костінський
« 15 » травня 2017 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
Наукових розробок дисертаційної роботи
Сухіної Єлизавети Геннадіївни

Даний акт констатує, що Державним видавництвом «Преса України» були використані наукові розробки дисертаційної роботи Сухіної Єлизавети Геннадіївни, що спрямовані на підвищення показників якості контролю вологості композиційних матеріалів, що використовуються для друкування поліграфічної продукції.

Температура і відносна вологість повітря істотно впливають на поведінку паперових матеріалів для друкування, що пояснюється їх гігроскопічністю. Набута у процесі їх зберігання надмірна абсорбційна волога, що накопичується на поверхні целюлозних волокон у вигляді мономолекулярного шару, а також структурована волога, яка конденсується в порах і капілярах волокнистих матеріалів, спричиняє істотний вплив на стабільність результатів друку. Для контролю вологості паперових матеріалів запропоновано спеціальну методологію, що включає алгоритм з відповідним апаратним забезпеченням, що базується на використанні показників поверхневого та об'ємного опору. Дана методологія забезпечує можливість оперативного неруйнівного контролю показника вологості будь-якого паперового матеріалу.

В умовах виробництва за участю Сухіної Є.Г. відпрацьовано та прийнято до впровадження технологічний процес контролю вологості паперових матеріалів. Визначено можливий річний економічний ефект від впровадження запропонованого технологічного процесу, що становить сорок сім тисяч п'ятсот сорок гривень (47,54 тис. грн).


ВИКОНАВЕЦЬ:
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
Інститут імені Ігоря Сікорського»

Директор ВПІ, д.т.н., професор
 Т.Ю. Киричок

к.т.н., доцент
 О.І. Лотоцька

асистент
 Є.Г. Сухіна

ПОГОДЖЕНО:
ДВ «Преса України» ДУС

Заступник директора, к.т.н.
 О.О. Палюх

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
Державного підприємства
«Київська офсетна фабрика»


I. С. Пришляк
«9» жовтня 2017 р.
Київ

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
Наукових розробок дисертаційної роботи
Сухіної Єлизавети Геннадіївни

Даний акт констатує, що Державним підприємством «Київська офсетна фабрика» були використані наукові розробки дисертаційної роботи Сухіної Єлизавети Геннадіївни, що спрямовані на підвищення показників якості контролю вологості композиційних матеріалів, що використовуються для друкування поліграфічної продукції.

Температура і відносна вологість повітря істотно впливають на поведінку паперових матеріалів для друкування, що пояснюється їх гігроскопічністю. Набута у процесі їх зберігання надмірна абсорбційна волога, що накопичується на поверхні целюлозних волокон у вигляді мономолекулярного шару, а також структурована волога, яка конденсується в порах і капілярах волокнистих матеріалів, спричиняє істотний вплив на стабільність результатів друку. Для контролю вологості паперових матеріалів запропоновано спеціальну методологію, що включає алгоритм з відповідним апаратним забезпеченням, що базується на використанні показників поверхневого та об'ємного опору. Дана методологія забезпечує можливість оперативного неруйнівного контролю показника вологості будь-якого паперового матеріалу.

В умовах виробництва за участю Сухіної Є.Г. відпрацьовано та прийнято до впровадження технологічний процес контролю вологості паперових матеріалів. Визначено можливий річний економічний ефект від впровадження запропонованого технологічного процесу, що становить сорок сім тисяч п'ятсот сорок гривень (47,54 тис. грн).

ВИКОНАВЕЦЬ:

Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
Інститут імені Ігоря Сікорського»

Директор ВПУ, д.т.н., професор


Т.Ю. Киричок

к.т.н., доцент

О.І. Лотоцька

асистент

Є.Г. Сухіна

ПОГОДЖЕНО:

ДП «Київська офсетна фабрика»

Головний інженер


П. Д. Кошай

ДОДАТОК Б

Патенти





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103510** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G07D 7/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 04058**
(22) Дата подання заявки: **27.04.2015**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.12.2015**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.12.2015, Бюл.№ 24**

(72) Винахідник(и):
**Киричок Тетяна Юріївна (UA),
Гуца Олена Володимирівна (UA),
Сухіна Єлизавета Геннадіївна (UA)**
(73) Власник(и):
**Киричок Тетяна Юріївна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA),
Гуца Олена Володимирівна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA),
Сухіна Єлизавета Геннадіївна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA)**

(54) МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ, ЩО ІМІТУЄ ПРОЦЕС ЗНОШУВАННЯ БАНКНОТ

(57) Реферат:

Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції, заснований на фізичному зношенні зразків банкнот шляхом їх обертання у присутності забруднювальної суміші в імітаторі обігу (контейнері зі зношувальними агентами - скляними кульками), що забезпечує забруднення, розриви, втрату жорсткості та загинання кутів банкноти. Зношувальними агентами є скляні кульки діаметром 2...5 мм та кульки, поверхня котрих має шорсткість R_z 100...400, діаметром 10...15 мм.

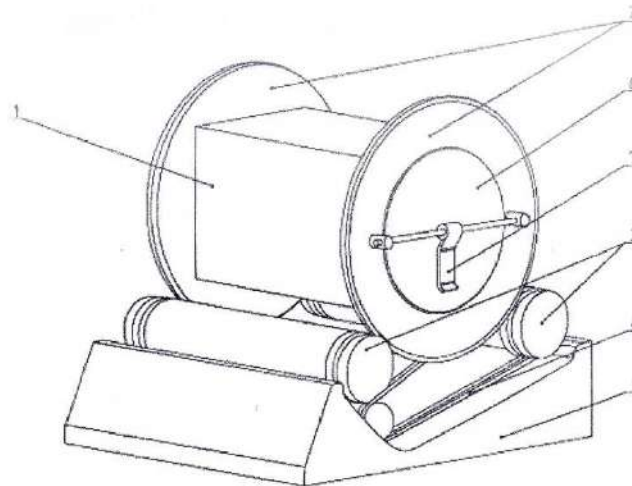
UA 103510 U

2. Bartz, W., and Crane, T. Circulation simulator method for evaluating bank note and optical feature durability. - Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI. Edited by van Rensse, Rudolf L. Proceedings of the SPIE, Volume 6075. - 2006. - pp. 75-83.

5

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції, заснований на фізичному зношенні зразків банкнот шляхом їх обертання у присутності забруднювальної суміші в імітаторі обігу (контейнері зі зношувальними агентами - скляними кульками), що забезпечує забруднення, розриви, втрату жорсткості та загинання кутів банкноти, який **відрізняється** тим, що зношувальними агентами є скляні кульки діаметром 2...5 мм та кульки, поверхня котрих має шорсткість R_z 100...400, діаметром 10...15 мм.
2. Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції за п. 1, який **відрізняється** тим, що як зношувальний агент передбачено використання прес-пластини масою 200...1000 г.
3. Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції за п. 1 та п. 2, який **відрізняється** тим, що використовуються 2...6 навантажувальних елементів вагою 7...12 г кожна, які фіксуються на краях банкноти попарно симетрично відносно осей симетрії банкноти.
4. Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції за п. 1 та п. 2, який **відрізняється** тим, що в об'ємі контейнера під час циклічно повторюваних етапів температура становить 20...50 °С.
5. Метод випробування, що імітує процес зношування банкотної продукції за п. 1, який **відрізняється** тим, що забруднювальна суміш вноситься до контейнера імітатора обігу перед початком кожного з циклічно повторюваних етапів.



Фіг. 1

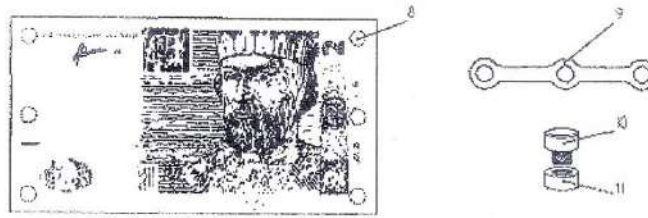


Fig. 2

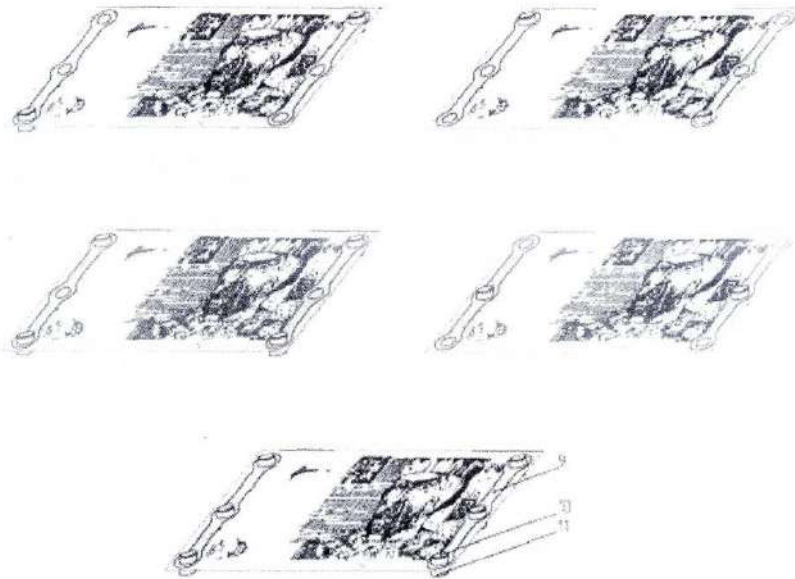
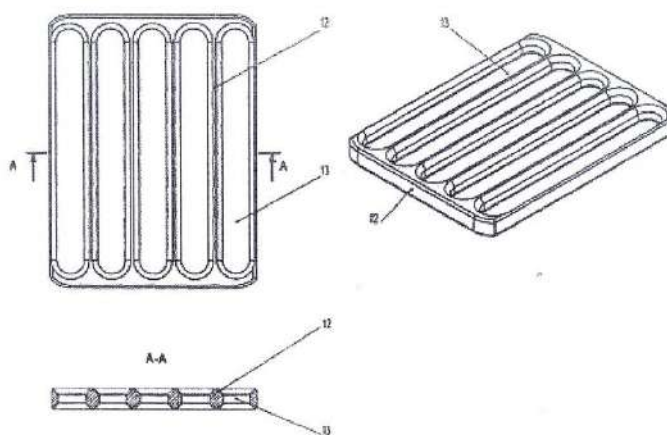


Fig. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

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

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

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 102351

СПОСІБ ОЦІНКИ ЗНОШЕНОСТІ БАНКНОТ

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

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.10.2015.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



Корисна модель належить до області контролю зношеності банкнот та може бути використана для визначення придатності банкнот до обігу.

Задачею даної корисної моделі, виходячи з вищевикладеного, є визначення придатних та непридатних банкнот, зокрема до обігових операцій.

5 Відомий метод визначення поверхневої провідності [1], що використовує конфігурацію трьох електродів: вимірювального, електрода напруги та захисного електрода.

Недоліком цього методу є необхідність використання часу витримки зразка під напругою протягом 60 с.

10 Відомий метод визначення поверхневої провідності паперу [2]. Цей метод є найбільш близьким до корисної моделі за технічною суттю та ефектом, що досягається, і прийнятий за найближчий аналог.

Недоліками даного способу є надмірна вага верхнього електрода (27-135 кг) та використання напруги біля 500 ± 5 В, що унеможливує використання даного методу для оперативної обробки банкнот.

15 Постійне використання паперових банкнот в обігу призводить до їх зношування. Банкноти повинні бути розпізнаваними користувачами та перебувати в стані, що дозволяє автоматичну обробку. Надмірно зношені (забруднені, пошкоджені) грошові знаки можуть привести до помилок в їх розпізнаванні, через що зношені банкноти не допускаються до обігу. Саме тому моніторинг стану та вилучення з обігу зношених банкнот потребує автоматизованих систем та простих способів розпізнавання.

20 Для реалізації поставленої корисною моделлю задачі пропонується пристрій для визначення ступеня зношеності банкнот, який схематично зображений на фіг. 1, його електрична схема зображена на фіг. 2.

25 Даний спосіб включає прикладання напруги величиною 10...50 В до банкноти між точками 1 та 2 на протилежних краях її коротшої сторони та підтримується постійною напругою (U_{12}), для чого використовується блок живлення 5.

Внаслідок прикладення напруги виникає струм у напрямку від точки 1 до точки 2, котрий є адитивною величиною струмів через усі складові структури банкноти. Вимірювання вольтметром (V) величини напруги між протилежними до місця прикладення напруги ділянками зразків (3 і 4 на фіг. 1) відбувається за допомогою точкових вимірювальних електродів.

30 Точки прикладення напруги 1 і 2 розташовані на осі симетрії банкноти 6 вздовж її довшої сторони, R_{12} - опір цієї ділянки. Точки вимірювання 3 і 4 розташовані на осі, що є перпендикулярною до осі симетрії з урахуванням вимоги забезпечення відстані між електродами не менш як 2 см. R_{24} - опір ділянки паперу між точками 2 та 4, R_{34} - опір ділянки паперу між точками 3 та 4.

35 Значення струму, що проходить через структуру банкноти, змінюється в залежності від величини забруднення та вологості грошового знаку, у результаті чого відбувається падіння напруги, що і вимірюється за допомогою чутливого вольтметра 7. На основі вимірної зміни величини напруги і робиться висновок щодо стану банкноти та її придатності до подальшого обігу.

40 Технічний результат полягає у швидкому та об'єктивному оцінюванні зношеності банкнот.

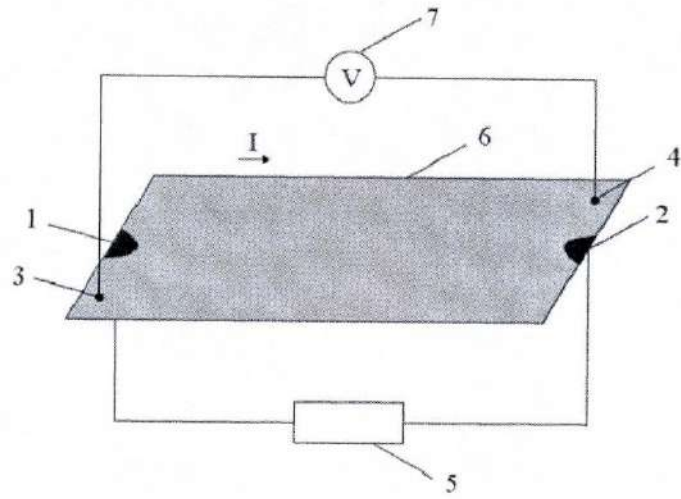
Джерела інформації:

1. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления: ГОСТ Р 50499-93. - [Действителен от 01.01.1994]. М.: Госстандарт РФ, 1994. - 26 с. (Национальный стандарт РФ).

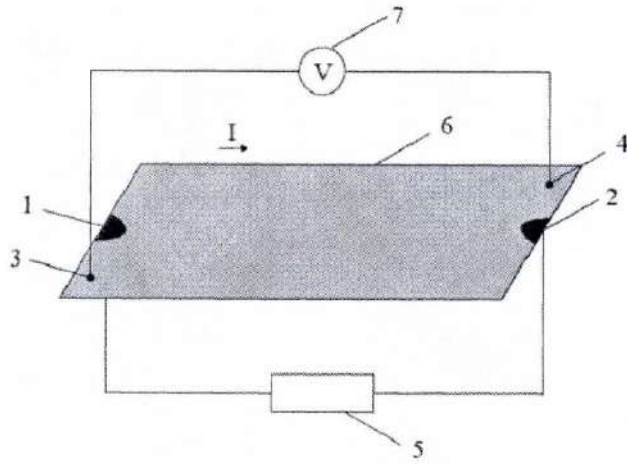
45 2. Borch J., Lyne M. B., Mark R.E., Habeger C. Handbook of Physical Testing of Paper: Vol. 2. - CRC Press, 2001. - P. 377.

50 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

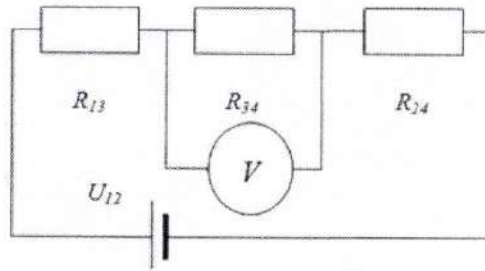
Спосіб оцінки зношеності банкнот, який полягає у тому, що до банкноти прикладається постійна напруга, внаслідок чого виникає струм, що проходить через структуру банкноти, котрий змінюється в залежності від ступеня її зношеності, у результаті чого має місце падіння напруги, який **відрізняється** тим, що напруга 10-50 В прикладається до країв банкноти в точках на протилежних краях її коротшої сторони, вимірювання спаду напруги здійснюється за допомогою точкових електродів у точках, що розташовані на осі, яка є перпендикулярною до осі симетрії вздовж довшої сторони банкноти з урахуванням вимоги забезпечення відстані між електродами не менш як 2 см.



Фиг. 1



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацело

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

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

(11) 102351

(19) UA

(51) МПК (2015.01)
G07D 7/00
G01N 27/22 (2006.01)

-
- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки: | u 2015 04060 | (72) Винахідники: | Киричок Тетяна Юріївна, UA,
Сухіна Єлизавета
Геннадіївна, UA,
Гуца Олена Володимирівна,
UA |
| (22) Дата подання заявки: | 27.04.2015 | | |
| (24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: | 26.10.2015 | | |
| (46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: | 26.10.2015,
Бюл. № 20 | (73) Власники: | Киричок Тетяна Юріївна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ,
03056, UA,
Сухіна Єлизавета
Геннадіївна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ,
03056, UA,
Гуца Олена Володимирівна,
вул. Янгеля, 1/37, м. Київ,
03056, UA |

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОЦІНКИ ЗНОШЕНОСТІ БАНКНОТ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб оцінки зношеності банкнот, який полягає у тому, що до банкноти прикладається постійна напруга, внаслідок чого виникає струм, що проходить через структуру банкноти, котрий змінюється в залежності від ступеня її зношеності, у результаті чого має місце падіння напруги, який відрізняється тим, що напруга 10-50 В прикладається до країв банкноти в точках на протилежних краях її коротшої сторони, вимірювання спаду напруги здійснюється за допомогою точкових електродів у точках, що розташовані на осі, яка є перпендикулярною до осі симетрії вздовж довшої сторони банкноти з урахуванням вимоги забезпечення відстані між електродами не менш як 2 см.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102351** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G07D 7/00
G01N 27/22 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 04060	(72) Винахідник(и): Киричок Тетяна Юріївна (UA), Сухіна Єлизавета Геннадіївна (UA), Гуца Олена Володимирівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.04.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.10.2015	(73) Власник(и): Киричок Тетяна Юріївна, вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA), Сухіна Єлизавета Геннадіївна, вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA), Гуца Олена Володимирівна, вул. Янгеля, 1/37, м. Київ, 03056 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.10.2015, Бюл.№ 20	

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ЗНОШЕНОСТІ БАНКНОТ

(57) Реферат:

Спосіб оцінки зношеності банкнот полягає у тому, що до банкноти прикладається постійна напруга, внаслідок чого виникає струм, що проходить через структуру банкноти, котрий змінюється в залежності від ступеня її зношеності, у результаті чого має місце падіння напруги. Напруга 10-50 В прикладається до країв банкноти в точках на протилежних краях її коротшої сторони. Вимірювання спаду напруги здійснюється за допомогою точкових електродів у точках, що розташовані на осі, яка є перпендикулярною до осі симетрії вздовж довшої сторони банкноти з урахуванням вимоги забезпечення відстані між електродами не менш як 2 см.

UA 102351 U

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 118347

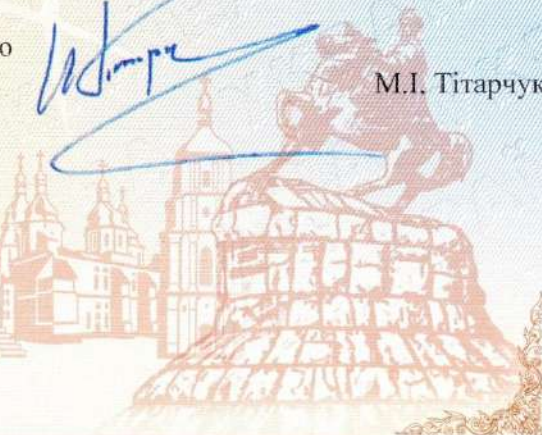
ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ
ФАРБОВОГО ШАРУ ІНТАГЛЮДРУКУ

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

Заресстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.08.2017**.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

М.І. Тітарчук





УКРАЇНА

(19) UA (11) 118347 (13) U
(51) МПК

G07D 7/12 (2016.01)

G07D 7/20 (2016.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

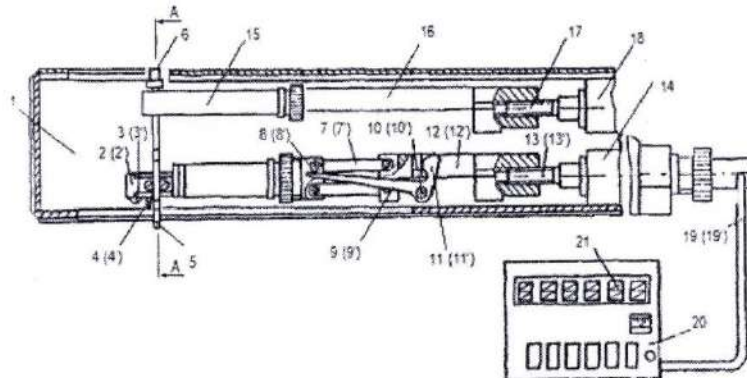
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 12816	(72) Винахідник(и): Киричок Тетяна Юрївна (UA), Киричок Петро Олексійович (UA), Кажмуратов Жомарт Тулегенович (UA), Талімонова Надія Леонідівна (UA), Коротенко Олена Володимирівна (UA), Булатов Дмитро Сергійович (UA), Сухіна Єлизавета Геннадіївна (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.12.2016	(73) Власник(и): Киричок Тетяна Юрївна, вул. Академічна, 17, м. Київ-27, 03027 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2017, Бюл.№ 15	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ФАРБОВОГО ШАРУ ІНТАГЛІОДРУКУ

(57) Реферат:

Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтагліодруку містить корпус, датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок зі світловим табло, кулачковий важіль, шкребок з регульованою силою притискання та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки, причому шкребок містить не менш ніж два вістря з основою у формі рівнобічної трапеції, розташованих на відстані, що регулюється, від 5 до 100 мм один від одного, виготовлених з інструментального матеріалу, профіль яких мають V-подібне заточування з кутом у вершині від 20 до 120°.



Фіг. 1

UA 118347 U

Корисна модель належить до пристроїв, призначених для перевірки достовірності банкнот та цінних паперів, при виготовленні яких використовується інтаглідрук.

Близьким до корисної моделі за технічною суттю є патент [1], 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.

Прототипом корисної моделі є описаний у патенті [2] пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів, який 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. Недоліками найближчого аналогу є можливість недостовірного результату через обмежену ширину досліджуваної лінії, вздовж якої рухається шкребок, що визначається кутом заточення основи шкребка, та через обмежену зону дослідження.

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою для визначення механічної стійкості фарбового шару, нанесеного способом інтаглідруку, із збільшеною зоною дослідження для підвищення рівня достовірності отриманого результату.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглідруку містить корпус, у якому розміщуються дві системи вимірювання профілю поверхні паперу, розміщених у одній площині та паралельно, кожна з яких містить датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок із світловим табло, кулачковий важіль; та додатково розміщується шкребок з регульованою силою притискання, що містить не менш ніж два вістря з основою у формі рівнобічної трапеції, розташованих на відстані, що регулюється, від 5 мм до 100 мм один від одного, виготовлених з інструментального матеріалу, профіль яких мають V-подібне заточування з кутом у вершині від 20° до 120° та розміщені в одній площині з вістрям алмазної голки; кромки вістер шкребка паралельні до напрямку руху.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де на Фіг. 1 схематично представлено пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглідруку, на Фіг. 2 - розріз А-А, на Фіг. 3 - вигляд вістря шкребка. Пристрій містить корпус 1, всередині якого розміщені дві системи вимірювання профілю поверхні, кожна з яких складається із рухомого датчика 2 (2') з колодкою 3 (3') і алмазної голки 4 (4'), а також шкребок 5 з механізмом притискання 6.

Підвіси 7 (7'), що тримають датчик з голкою, виконані у вигляді шарнірного паралелограма, верхню вісь 8 (8') знизу підтримує плече 9 (9') важеля, який встановлений на осі 10 (10'), друге плече важеля виконане у вигляді кулачка 11 (11'). Важіль є комбінацією одноплечого важеля і кулачка, який обертається навколо нерухомої осі. Кулачок важеля встановлено з упором в вертикальну поверхню бокового вирізу повзуна 12 (12') механізму трасування, внутрішньою різьбовою поверхнею з'єднаного з ходовим гвинтом 13 (13'), який обертається спільним приводом 14, який являє собою мікроелектродвигун з редуктором. Повзун встановлений напрямними в корпусі з можливістю виконання прямолінійних рухів. У корпусі за приводом 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 (19') попередній посилювач сигналів датчика з'єднаний з електронним блоком 20, який оснащений світловим табло 21.

Заявлений пристрій працює у такий спосіб.

За допомогою механізму 6 встановлюється зусилля притискання шкребка 5. При включенні приводу 14, обертанні ходового гвинта 13 (13'), повзун 12 (12') по напрямних переміщується в корпус 1. Кулачок 11 (11') і плече 9 (9') важеля повертається відносно осі 10 (10'), а вісь 8 (8') шарнірного паралелограма підвісів 7 (7') під дією маси датчика 2 (2') опускається разом з ним вниз, колодка 3 (3') з алмазною голкою 4 (4') стикаються з вимірною поверхнею, ковзаючи по ній на величину наступного трасування. Після цього включається реверс приводу 14 і повзун 12 (12') повертається назад. За цей час виконується вимір шорсткості поверхні на шляху трасування, довжина якого становить 20-40 мм. Коливання алмазної голки 4 (4') датчика 2 (2') посилюється на каскаді попереднього посилення, а сигнали по джгуту 19 (19') надходять для

5 подальшої обробки в електронний блок 20 і виводиться на світлові табло 21. Після трасування поверхні на зворотному ході алмазної голки 4 (4') повзун 12 (12') своєю площиною бокового вирізу повертає кулачок 11 (11') навколо осі 10 (10'), а плече 9 (9') важеля підтримує вісь 8 (8') піднімає датчик 2 (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 шкребок у 55 зворотному напрямку, привід 18 вимикається.

10 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 інтаглюдруку та про механічну стійкість шару фарби. 15 При порівняльному аналізі оперують наступними параметрами:

$$\Delta R_a, \Delta R_z, \Delta R_{max},$$

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

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

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

Джерела інформації:

25 1. Пат. UA № 56607 МПК G01B 5/28, G01B 11/00 Універсальний профілометр / Киричок Т.Ю., Клименко Т.Є.; власник НТУУ "КПІ". - № u201006543; заявл. 28.05.2010, опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. - 3с.

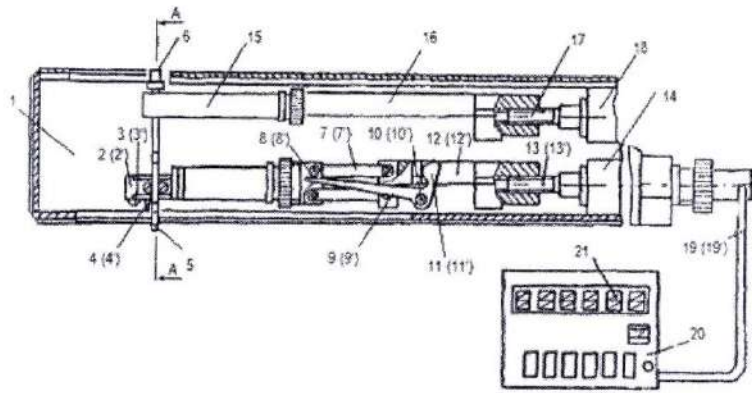
30 2. Пат. UA 70071 U МПК G07D 7/12 (2006.01) G07D 7/20 (2006.01) Пристрій для контролю механічної стійкості поверхневих елементів / Киричок Т.Ю., Шевчук А.В., Талімонова Н.Л. власник НТУУ "КПІ". - № u201113516; заявл. 16.11.2011, опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10. - 5с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

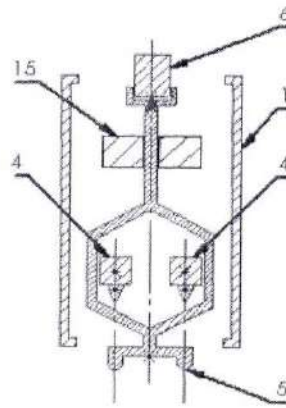
35 1. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглюдруку, що містить корпус, датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок зі світловим табло, кулачковий важіль, шкребок з регульованою силою притискання та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки, який **відрізняється** тим, що шкребок містить не менш ніж два вістря з основою у формі рівнобічної трапеції, розташованих на відстані, що регулюється, від 5 до 100 мм один від 40 одного, виготовлених з інструментального матеріалу, профіль яких мають V-подібне заточування з кутом у вершині від 20° до 120°.

2. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглюдруку за п. 1, який **відрізняється** тим, що вістря шкребка мають трапецієподібну форму.

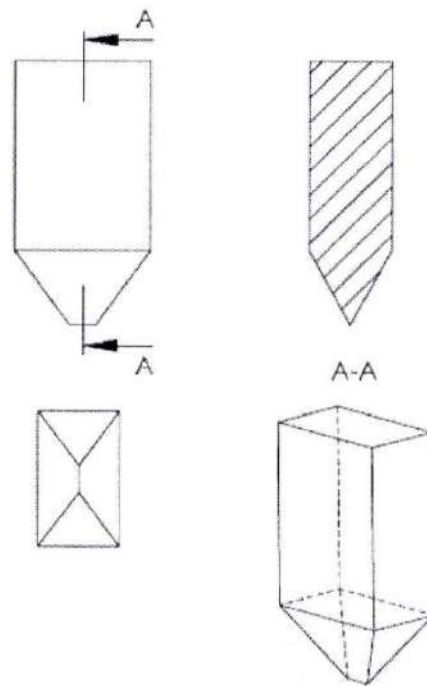
45 3. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглюдруку за п. 2, який **відрізняється** тим, що у корпусі пристрою розміщуються дві системи вимірювання профілю поверхні паперу, розміщених у одній площині та паралельно, кожна з яких містить датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок із світловим табло, кулачковий важіль.



Dir. 1



Dir. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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

(11) 118347

(19) UA

(51) МПК

G07D 7/12 (2016.01)

G07D 7/20 (2016.01)

(21) Номер заявки: **u 2016 12816**

(22) Дата подання заявки: **16.12.2016**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2017**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.08.2017, Бюл. № 15**

(72) Винахідники:

Киричок Тетяна Юріївна, UA,

Киричок Петро Олексійович,

UA,

Кажмуратов Жомарт

Тулєгенович, UA,

Талімонова Надія

Леонідівна, UA,

Коротенко Олена

Володимирівна, UA,

Булатов Дмитро Сергійович,

UA,

Сухіна Єлизавета

Геннадіївна, UA

(73) Власник:

Киричок Тетяна Юріївна,

вул. Академічна, 17, м. Київ-

27, 03027, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ФАРБОВОГО ШАРУ ІНТАГЛІОДРУКУ

(57) Формула корисної моделі:

1. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтагліодруку, 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, шкребок з регульованою силою притискання та розміщене в одній площині з вістрям алмазної голки, який відрізняється тим, що шкребок містить не менш ніж два вістря з основою у формі рівнобічної трапеції, розташованих на відстані, що регулюється, від 5 до 100 мм один від одного, виготовлених з інструментального матеріалу, профіль яких мають V-подібне заточування з кутом у вершині від 20° до 120°.
2. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтагліодруку за п. 1, який відрізняється тим, що вістря шкребка мають трапецієподібну форму.
3. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтагліодруку за п. 2, який відрізняється тим, що у корпусі пристрою розміщуються дві системи вимірювання профілю поверхні паперу, розміщених у одній площині та паралельно, кожна з яких містить датчик з алмазною голкою з вістрям у формі рівнобічного трикутника, колодку, механізм трасування з електроприводом, електронний блок із світловим табло, кулачковий важіль.

(11) 118347

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 3270080817.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

10.08.2017

ДОДАТОК В

Фотографії досліджуваних зразків



а)

б)

Рис. В.1. – а) зразки банкнот із реального обігу; б) штучно зношені зразки

ДОДАТОК Г

Параметри друкарської форми металографічного друку

Таблиця Г.1

Матриця виготовлення друкарської форми металографічного друку

	Прямокутний			Трапецієподібний		Трикутний глибина 100 мкм
				кут 60 ⁰	кут 75 ⁰	
	1	2	3	4	5	6
1	I / 90 / 90 / 30 / 40 / 90*	I / 90 / 90 / 100 / 60 / 90	I / 90 / 90 / 100 / 200 / 90	II / 60 / 90 / 30 / 90 / 90	II / 75 / 90 / 30 / 90 / 90	III / 72 / 60 / 100 / 90 / 90
2	I / 90 / 150 / 30 / 40 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 60 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 200 / 90	II / 60 / 150 / 30 / 90 / 90	II / 75 / 150 / 30 / 90 / 90	III / 64 / 90 / 100 / 90 / 90
3	I / 90 / 90 / 60 / 40 / 90	I / 90 / 90 / 30 / 90 / 90	I / 90 / 90 / 60 / 40 / 45	II / 60 / 90 / 60 / 90 / 90	II / 75 / 90 / 60 / 90 / 90	III / 57 / 120 / 100 / 90 / 90
4	I / 90 / 150 / 60 / 40 / 90	I / 90 / 150 / 30 / 90 / 90	I / 90 / 150 / 60 / 40 / 45	II / 60 / 150 / 60 / 90 / 90	II / 75 / 150 / 60 / 90 / 90	III / 51 / 150 / 100 / 90 / 90
5	I / 90 / 90 / 100 / 40 / 90	I / 90 / 90 / 60 / 90 / 90	I / 90 / 90 / 100 / 40 / 45	II / 60 / 150 / 100 / 90 / 90	II / 75 / 150 / 100 / 90 / 90	III / 64 / 90 / 100 / 90 / 45
6	I / 90 / 150 / 100 / 40 / 90	I / 90 / 150 / 60 / 90 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 40 / 45	II / 60 / 90 / 30 / 90 / 45	II / 75 / 90 / 30 / 90 / 45	III / 57 / 120 / 100 / 90 / 45
7	I / 90 / 90 / 30 / 60 / 90	I / 90 / 90 / 100 / 90 / 90	I / 90 / 90 / 60 / 90 / 45	II / 60 / 150 / 30 / 90 / 45	II / 75 / 150 / 30 / 90 / 45	III / 51 / 150 / 100 / 90 / 45
8	I / 90 / 150 / 30 / 60 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 90 / 90	I / 90 / 150 / 60 / 90 / 45	II / 60 / 90 / 60 / 90 / 45	II / 75 / 90 / 60 / 90 / 45	III / 64 / 90 / 100 / 150 / 90
9	I / 90 / 90 / 60 / 60 / 90	I / 90 / 90 / 100 / 150 / 90	I / 90 / 90 / 100 / 90 / 45	II / 60 / 150 / 60 / 90 / 45	II / 75 / 150 / 60 / 90 / 45	III / 57 / 120 / 100 / 150 / 90
10	I / 90 / 150 / 60 / 60 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 150 / 90	I / 90 / 150 / 100 / 90 / 45	II / 60 / 150 / 100 / 90 / 45	II / 75 / 150 / 100 / 90 / 45	III / 51 / 150 / 100 / 150 / 90

* - Вид профілю**/кут нахилу грані штриха/ширина штриха/глибина штриха/відстань між штрихами/кут нахилу до машинного напрямку паперу. ** - Вид профілю I – прямокутний; II – трапецієподібний; III – трикутний. ***- в трапецієподібному і трикутному профілях глибина штриха включає в себе глибину “заплечиків” – 8-10 мкм + глибину основного профілю.

ДОДАТОК Д

Програмний код, який визначає програмне забезпечення визначення точності позників зношення

Реалізація роботи алгоритму:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from matplotlib import style

style.use("ggplot")

import pandas as pd

from sklearn.cluster import KMeans

from mpl_toolkits.mplot3d import axes3d

fig = plt.figure()

ax1 = fig.add_subplot(111, projection='3d')

df=pd.read_excel('C: \\inputs\\data.xlsx')

df.corr()

#'resistanf_f', 'Front_light'

X = df[['tg', 'resistans_V', 'resistanf_f' ] ]

kmeans = KMeans(n_clusters=4)

kmeans.fit(X)

centroids = kmeans.cluster_centers_

labels = kmeans.labels_

print(centroids)
```

```

print(labels)

colors = ["g.", "r.", "c.", "y."]

lab=pd.DataFrame(labels)

A=pd.concat([X, lab], axis=1 )

A.rename(columns={0:'lab'}, inplace=True)

A1=A[A['lab']==0]

A2=A[A['lab']==1]

A3=A[A['lab']==2]

A4=A[A['lab']==3]

A4=A[A['lab']==4]

#ax1.scatter(centroids[:, 0],centroids[:, 1], marker = "x", s=150, linewidths = 5,
zorder = 10)

A1x=A1['tg']

A1y=A1['resistans_V']

A1z=A1['resistanf_f']

A2x=A2['tg']

A2y=A2['resistans_V']

A2z=A2['resistanf_f']

A3x=A3['tg']

A3y=A3['resistans_V']

A3z=A3['resistanf_f']

A4x=A4['tg']

```



```
A4y=A4['resistans_V']  
  
A4z=A4['resistanf_f']  
  
ax1.scatter(A1x, A1y, A1z, c='g', marker='o')  
  
ax1.scatter(A2x, A2y, A2z, c='r', marker='o')  
  
ax1.scatter(A3x, A3y, A3z, c='c', marker='o')  
  
ax1.scatter(A4x, A4y, A4z, c='y', marker='o')  
  
ax1.set_xlabel('x axis')  
  
ax1.set_ylabel('y axis')  
  
ax1.set_zlabel('z axis')  
  
plt.show()  
  
#cluster=pd.DataFrame(labels)  
  
#print(cluster)  
  
# import some data to play with  
  
# we only take the first two features.  
  
#kmeans = KMeans(n_clusters=4, random_state=0).fit(X)
```

Завантаження даних:

```
import scipy  
  
import matplotlib.pyplot as plt  
  
import numpy as np  
  
import pandas as pd  
  
import os
```

```

import matplotlib

import pypyodbc

conn = pypyodbc.connect('DSN=vb_crm')

conn1=pypyodbc.connect('DSN=vb')

cur=conn.cursor()

path='C:\\Users\\1\\Desktop\\EMAIL\\raw'

os.chdir(path)

generation_query=""select id, date(date_Created), id_user, id_type from
x27_emails where timestampdiff(day, date_created, now())<14""

webhook_query="" select id as id_webhook, id_type, id_email as id, id_user,
date_created from x27_emails_webhooks where timestampdiff(day,
date_created, now())<14 ""

email_type_query="" select id as id_type, alias from x27_emails_types""

webhook_type_query= ""select id as id_type, name from x27_webhooks_types
""

generation=pd.read_sql_query(generation_query, con=conn)

email_type=pd.read_sql_query(email_type_query, con=conn)

webhooks=pd.read_sql_query(webhook_query, con=conn)

webhook_type=pd.read_sql_query(webhook_type_query, con=conn)

email_total=pd.merge(generation, email_type, on='id_type', how='left')

webhook_total=pd.merge(webhooks, webhook_type, on='id_type', how='left' )

total_data=pd.merge(email_total, webhook_total, on='id', how='left')

total_data.to_csv('sending_data.csv')

```

```
sales_50=total_data[total_data['id_type_x']==15]
```

```
sales_50.to_csv('sales_50.csv')
```

```
halo=total_data[total_data['id_type_x']==33]
```

```
halo.to_csv('halo.csv')
```

Перетворення и графічне відображення результатів:

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from sklearn import linear_model, datasets
```

```
# import some data to play with
```

```
iris = datasets.load_iris()
```

```
X = iris.data[:, :2] # we only take the first two features.
```

```
Y = iris.target
```

```
h = .02 # step size in the mesh
```

```
logreg = linear_model.LogisticRegression(C=1e5)
```

```
# we create an instance of Neighbours Classifier and fit the data.
```

```
logreg.fit(X, Y)
```

```
# Plot the decision boundary. For that, we will assign a color to each
```

```
# point in the mesh [x_min, x_max]x[y_min, y_max].
```

```
x_min, x_max = X[:, 0].min() - .5, X[:, 0].max() + .5
```

```
y_min, y_max = X[:, 1].min() - .5, X[:, 1].max() + .5
```

```
xx, yy = np.meshgrid(np.arange(x_min, x_max, h), np.arange(y_min, y_max,  
h))
```

```
Z = logreg.predict(np.c_[xx.ravel(), yy.ravel()])

# Put the result into a color plot

Z = Z.reshape(xx.shape)

plt.figure(1, figsize=(4, 3))

plt.pcolormesh(xx, yy, Z, cmap=plt.cm.Paired)

# Plot also the training points

plt.scatter(X[:, 0], X[:, 1], c=Y, edgecolors='k', cmap=plt.cm.Paired)

plt.xlabel('Sepal length')

plt.ylabel('Sepal width')

plt.xlim(xx.min(), xx.max())

plt.ylim(yy.min(), yy.max())

plt.xticks(())

plt.yticks(())

plt.show()
```

ДОДАТОК Ж

Результати експериментальних досліджень профілографування поверхні зразків металографічного друку

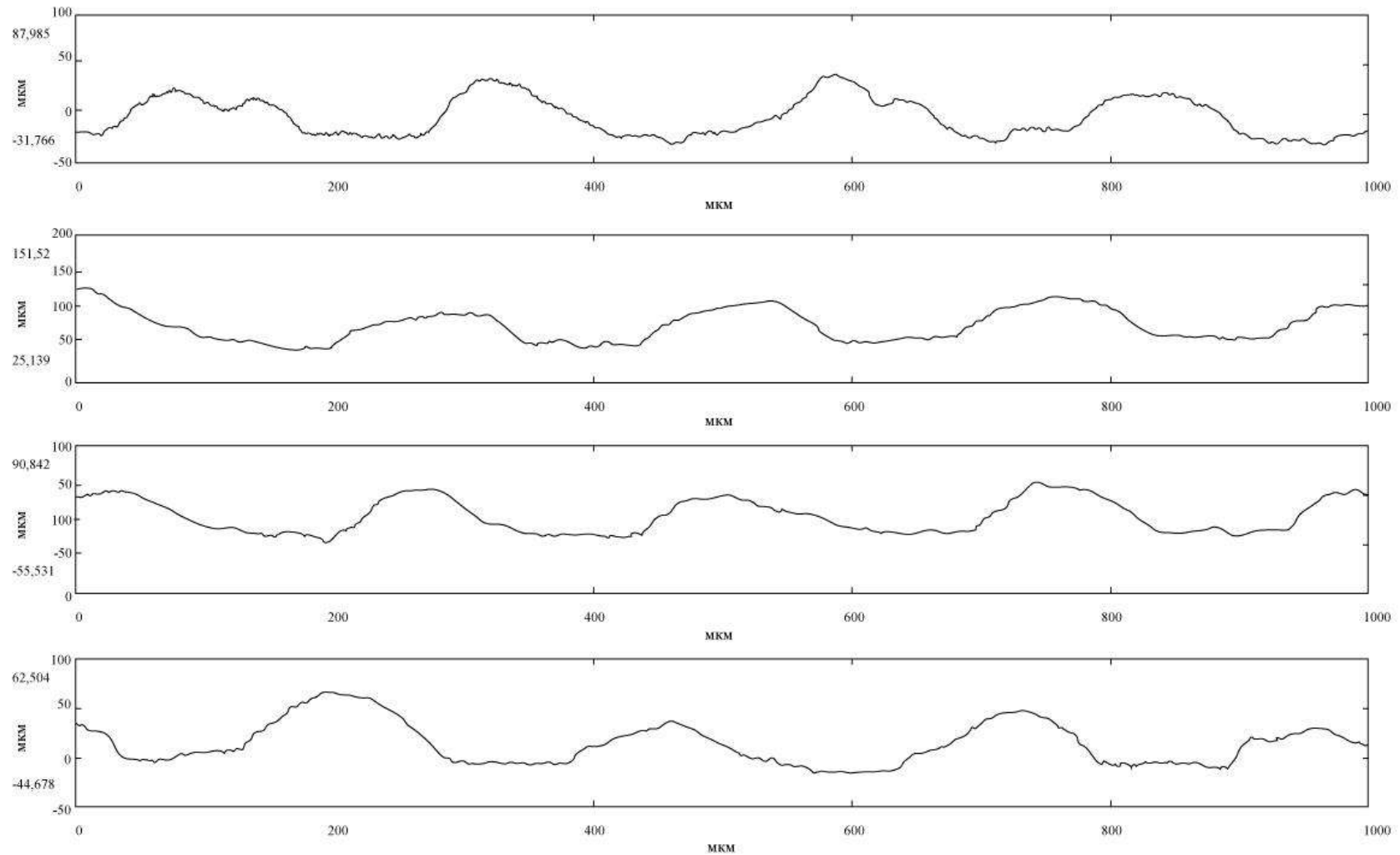


Рис. Ж. 1. Профілограми поверхні задрукованої зони зразка, що виготовлений з використанням трикутного профілю гравійованих штрихів з параметрами 51/150/100/90/90

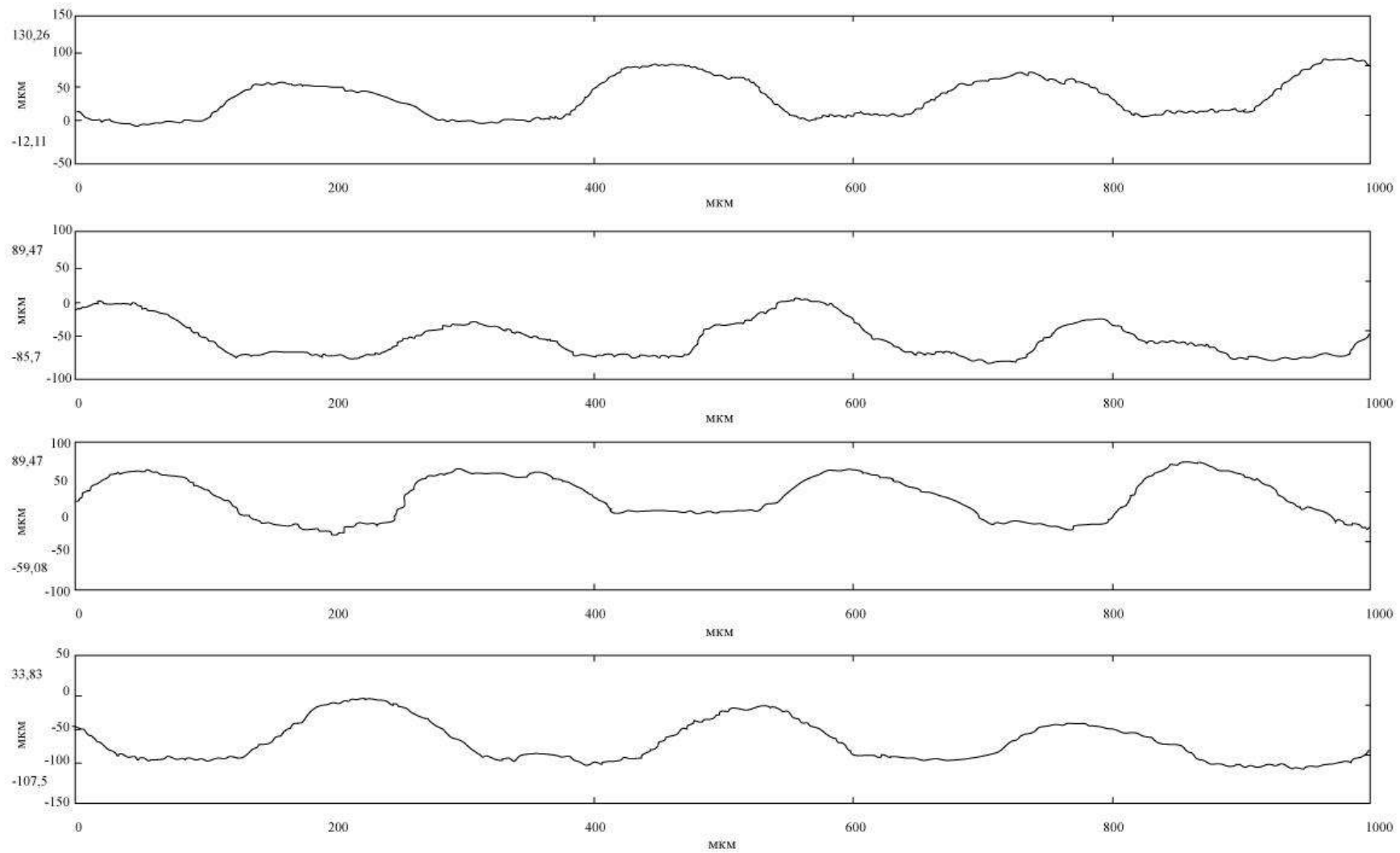


Рис. Ж. 2. Профілограми поверхні задрукованої зони зразка, що виготовлений з використанням трапецієподного профілю гравійованих штрихів з параметрами 60/150/100/90/90

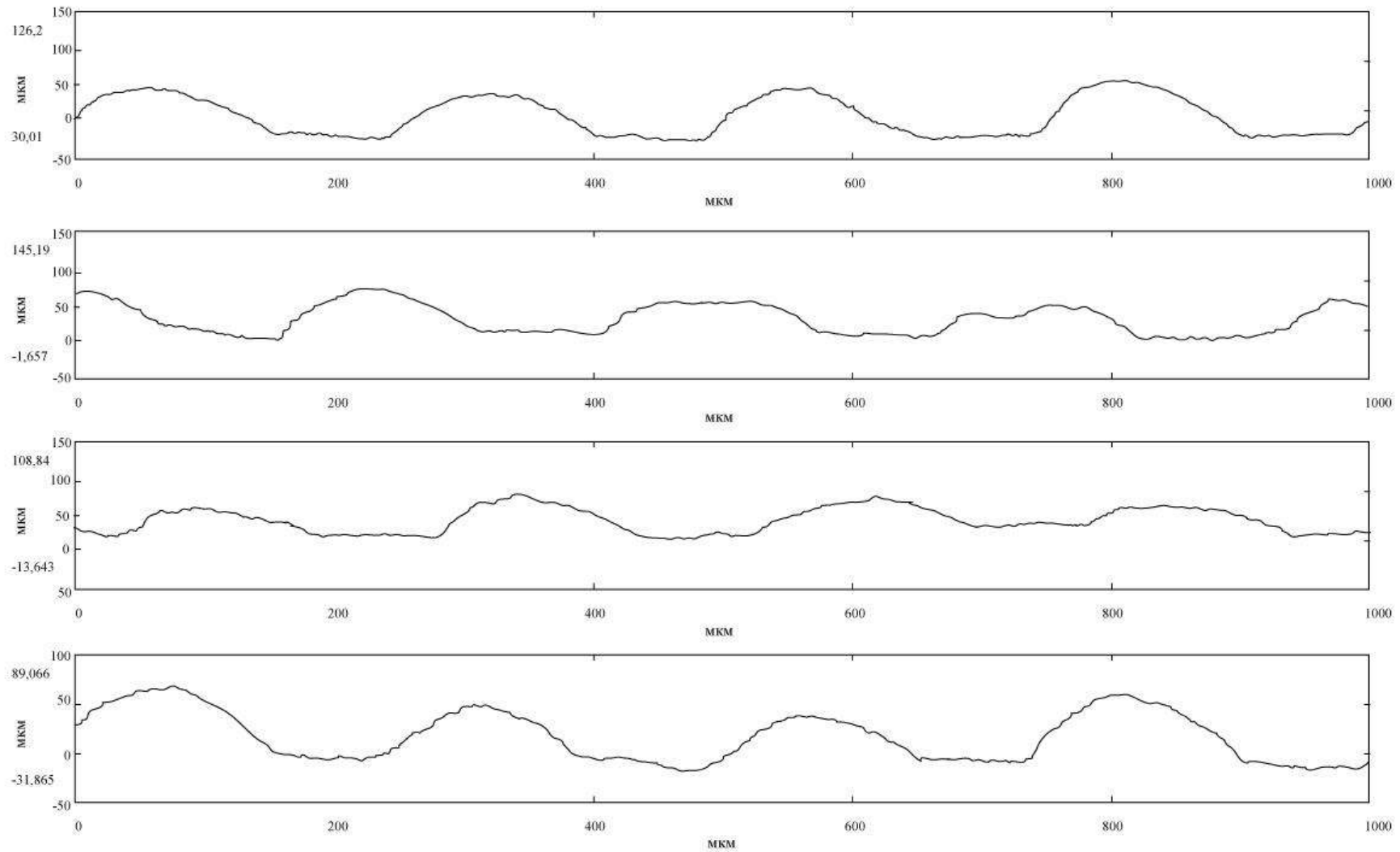


Рис. Ж. 3. Профілограми поверхні задрукованої зони зразка, що виготовлений з використанням трапецієподного профілю гравійованих штрихів з параметрами 75/150/100/90/90

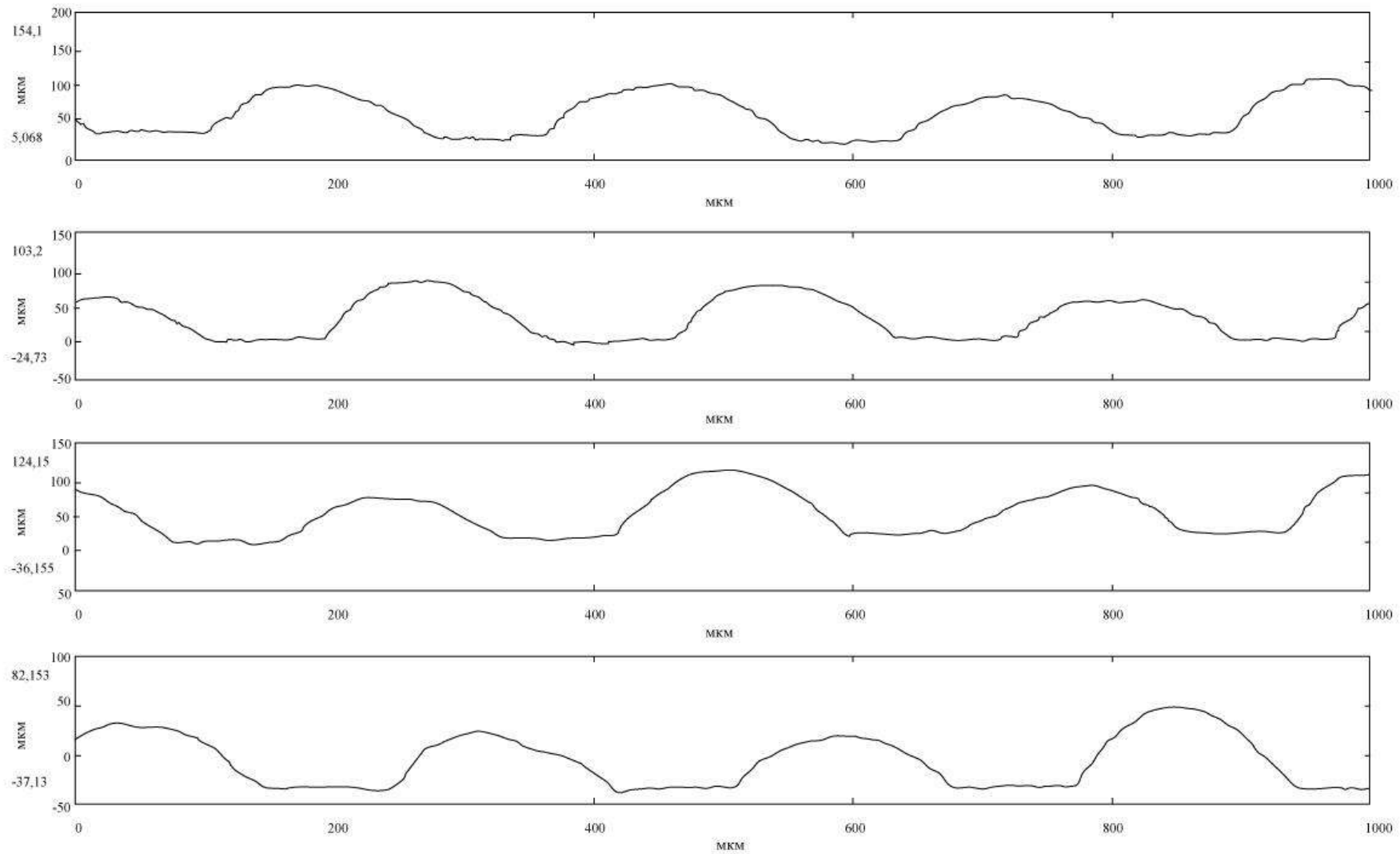


Рис. Ж. 4. Профілограми поверхні задрукованої зони зразка, що виготовлений з використанням прямокутного профілю гравійованих штрихів з параметрами 90/150/100/90/90

ДОДАТОК 3

Результати експериментальних досліджень впливу геометричних параметрів гравійованих штрихів друкарських форм металографічного друку на характер їх електрофізичних параметрів

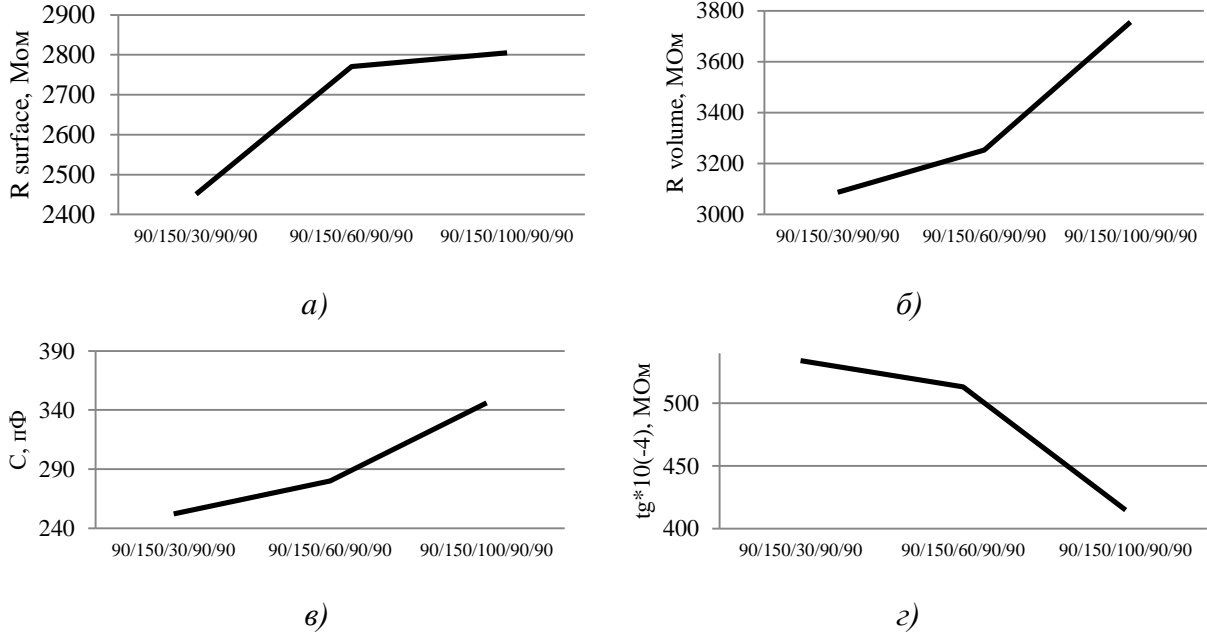


Рис. 3.2. Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр – висота комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат

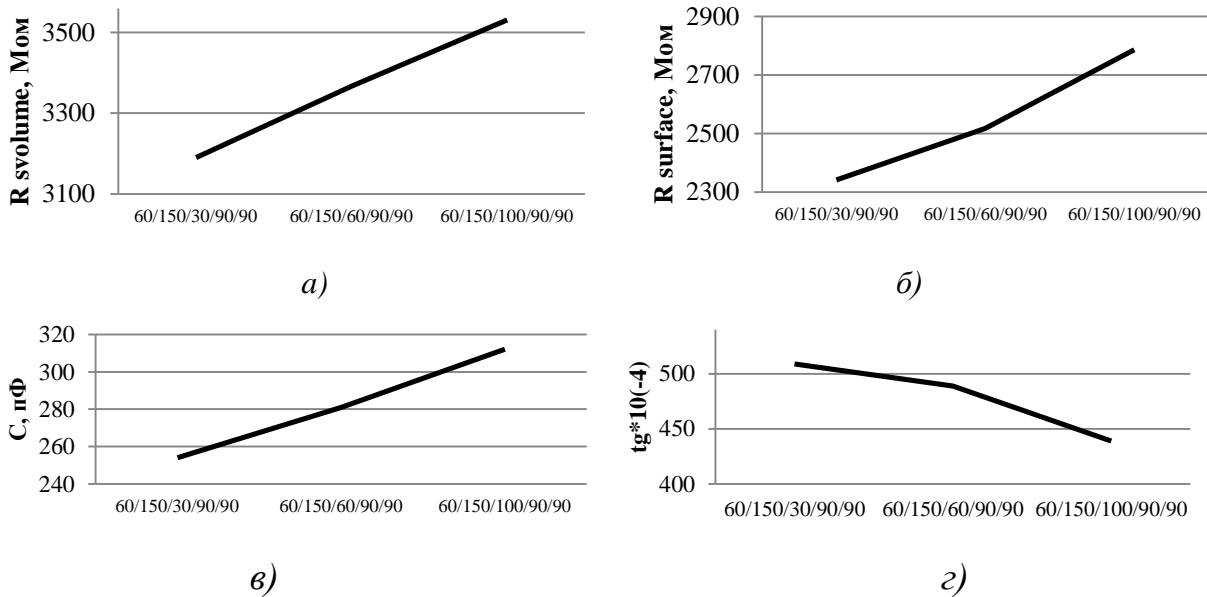
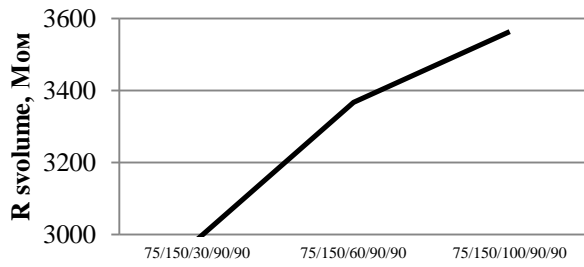
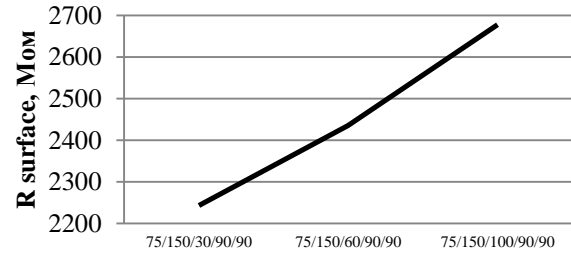


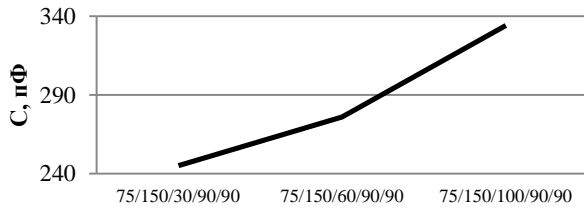
Рис. 3.2. Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю з кутом грані комірки 60° (ключовий параметр – висота комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



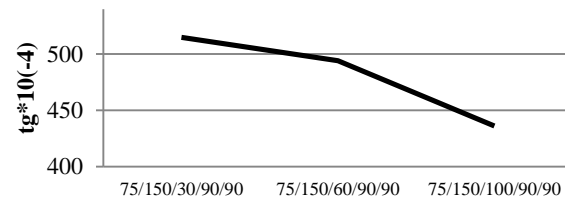
a)



б)

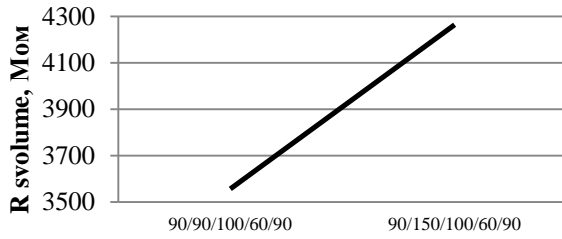


в)

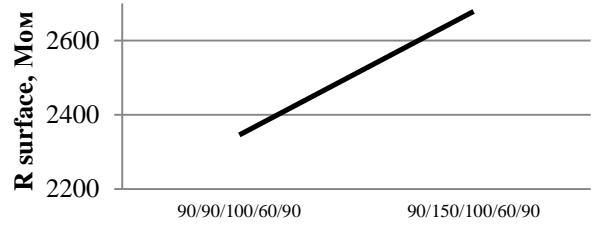


г)

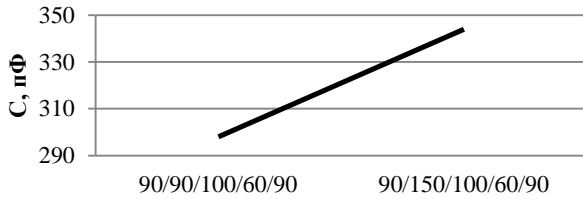
Рис. 3.3. Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю з кутом грані комірки 75° (ключовий параметр – висота комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



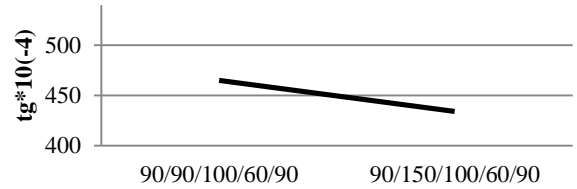
a)



б)

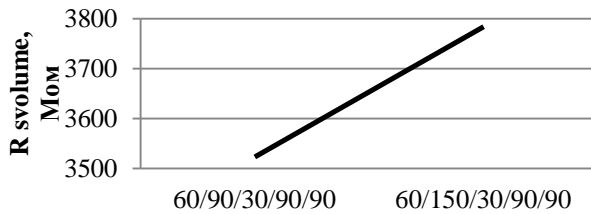


в)

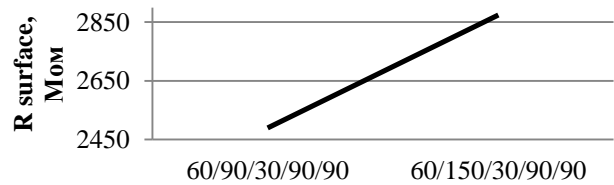


г)

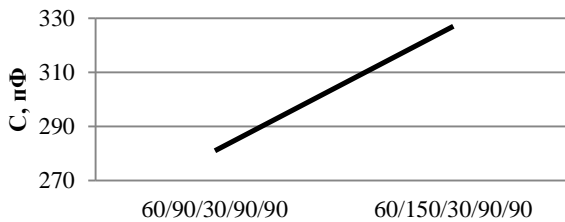
Рис. 3.4. Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю з кутом грані комірки 75° (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



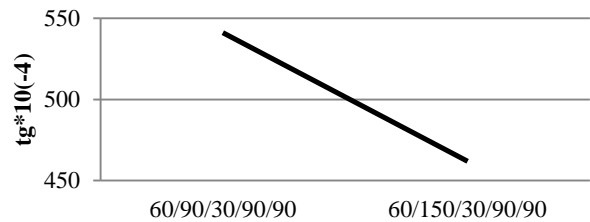
a)



б)

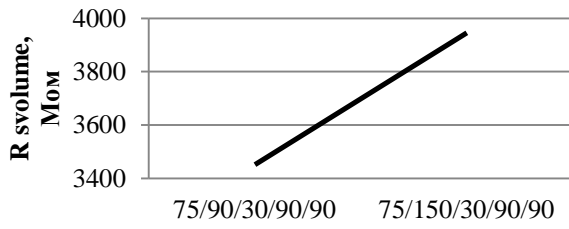


в)

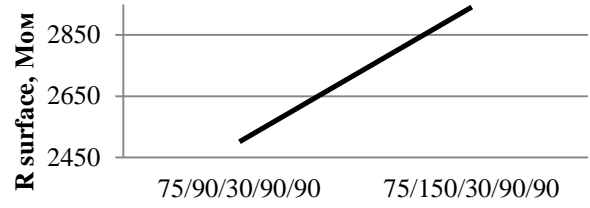


г)

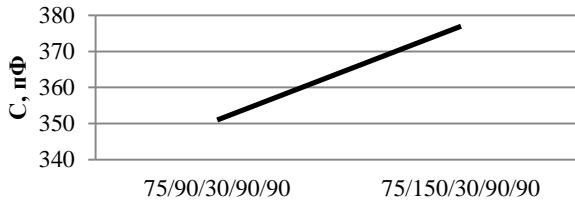
Рис. 3.5. Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю з кутом грані комірки 60° (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



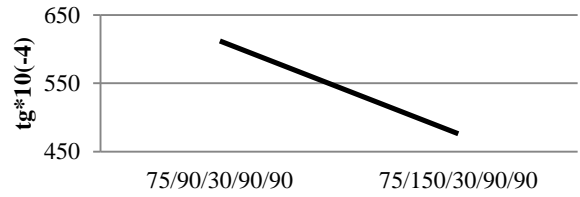
a)



б)

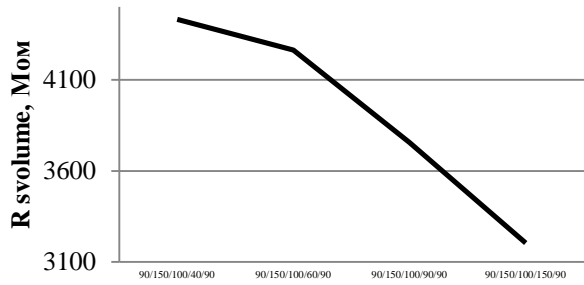


в)

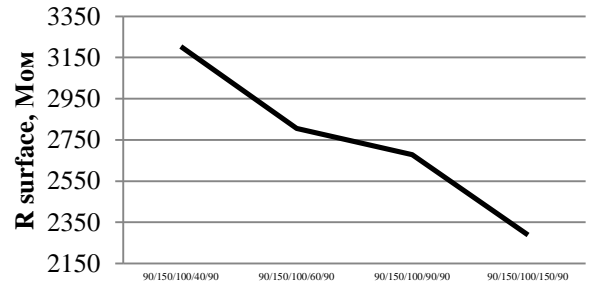


г)

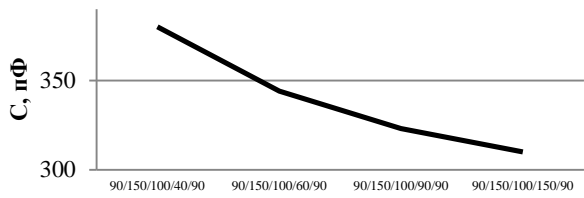
Рис. 3.6. Результати експериментальних досліджень для штрихів трапецієподібного профілю з кутом грані комірки 75° (ключовий параметр – ширина комірки друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



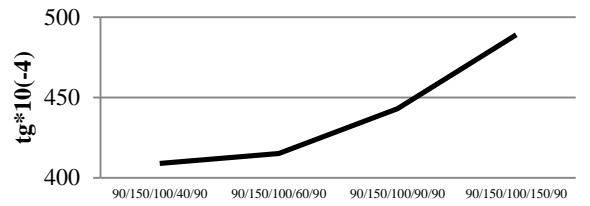
a)



б)

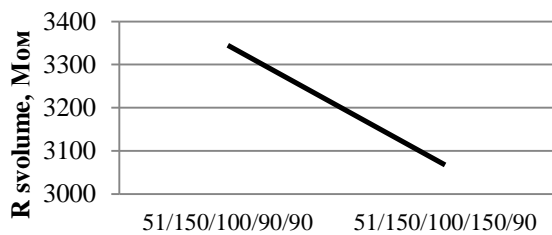


в)

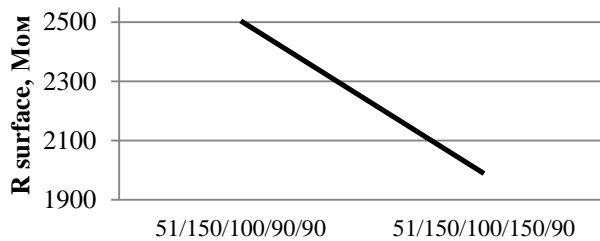


г)

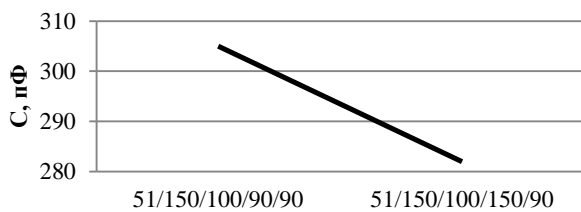
Рис. 3.7. Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр – відстань між комірками друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат



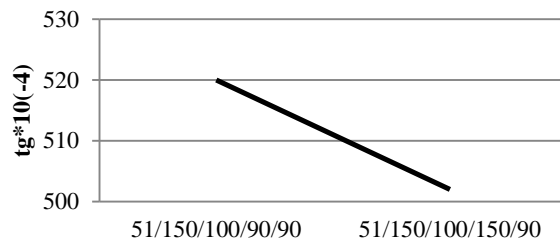
a)



б)



в)



г)

Рис. 3.8. Результати експериментальних досліджень для штрихів прямокутного профілю (ключовий параметр – відстань між комірками друкарської форми): а – об’ємний опір, б – поверхневий опір, в – ємність, г – тангенс кута діелектричних втрат

ДОДАТОК И

Програмний код, який визначає програмне забезпечення для коригування критичних меж показників зношування сортувальних процесів

```
#include <array>

#include <fann.h>

#include <fann_cpp.h>

using uint = unsigned int;

int main() {

    // Neural Network parameters

    constexpr uint num_inputs = 4;

    constexpr uint num_outputs = 1;

    constexpr uint num_layers = 2;

    constexpr uint num_neurons_hidden = 10;

    constexpr float desired_error = 0.01;

    constexpr uint max_epochs = 500000;

    constexpr uint epochs_between_reports = 1000;

    // Create the network

    const std::array<uint, 2> layers = {num_inputs, num_neurons_hidden,
num_outputs};
```

```
FANN::neural_net net(FANN::LAYER, num_layers, layers.data());  
  
net.set_activation_function_hidden(FANN::SIGMOID);  
  
net.set_activation_function_output(FANN::SIGMOID);  
  
    net.train_on_file("input_network.data", max_epochs,  
epochs_between_reports, desired_error);  
  
net.save("output_result.net");
```


ДОДАТОК К

Інтерфейс програмного забезпечення визначення показника фарбоперенесення металографічного друку

Вхідні дані

Форма профілю	<input type="text"/>	Питомий об. опір фарби	<input type="text"/>	450	
Кут нахилу бічної грані	<input type="text"/>	68	Об. опір паперу	<input type="text"/>	2000
Середня ширина комірок	<input type="text"/>	30 мкм	Середня висота штрихів	<input type="text"/>	10 мкм
Глибина комірок	<input type="text"/>	45 мкм	Середня товщина паперу	<input type="text"/>	100 мкм
Відстань між комірками	<input type="text"/>	35 мкм	Об. опір діл штрихів	<input type="text"/>	3400

Вхідні дані

34%

0,0034 м3

Рис. К.1. Інтерфейс програмного забезпечення визначення показника фарбоперенесення металографічного друку