

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

УДК 655.3.066.364

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ БАНКОТ ПІД ЧАС ІМІТАЦІЇ ЗНОШУВАННЯ**

© Т. Ю. Киричок, к.т.н., доцент, В. М. Нестеренко, здобувач,  
Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца, магістрантки, НТУУ «КПІ», Київ,  
Україна

**Проведен анализ процессов, детерминирующих особенности изнашивания банкнот изготовленных на двухслойной бумаге, определены тенденции изменения прочностных характеристик банкнот, изготовленных на экспериментальных основах с разным покрытием в процессе их искусственного износа.**

**The analysis of processes determining the features of deterioration of banknotes made on a double-layer paper was conducted. Tendencies of durable characteristics change for banknotes made on experimental bases with different coverage in the process of their simulated deterioration were certain.**

#### **Постановка проблеми**

Сьогодні проблема зносостійкості банкнот та підвищення її міцнісних характеристик є не менш важливою, ніж проблема їх захищеності. Адже банкноти повинні не тільки мати високий ступінь захисту, але й зберігати під час перебування в обігу сукупність оптичних, міцнісних та хімічних показників на певному рівні. Ці якості визначаються значною мірою характеристиками основи, що задруковується.

Проблема збереження банкнотами зносостійкості відзначається багатьма науковцями та представниками центральних банків багатьох країн, однак результати таких досліджень публікуються обмежено і стосуються, головним чином, євро [1–4]. Відсутні конкретні рекомендації щодо впровадження

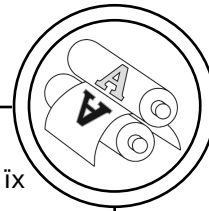
змін в технологічний процес виготовлення банкнот для забезпечення їх зносостійкості. Разом з тим, проблема зносостійкості стоїть гостро й для банкнот української гривні.

#### **Мета роботи**

Метою даного дослідження було визначити максимально стійку до чинників штучного зношування основу банкнот, виготовлених на тиражному та експериментальних видах банкнотного паперу.

#### **Результати проведеного дослідження**

Для виконання експериментальних досліджень щодо визначення зміни показників зношування банкнот було виготовлено експериментальні зразки, що різняться за наступними характеристиками:



1. Тип задрукованого матеріалу:

- експериментальний банкнотний папір з покриттям 1;
- експериментальний банкнотний папір з покриттям 2;
- тиражний банкнотний папір.

2. Розташування полімерної металізованої стрічки:

- занурена в масу;
- віконного типу.

3. За наявністю методу друкування:

- без друку;
- тільки офсетний друк;
- тільки односторонній металографічний друк;
- офсетний і односторонній металографічний друк;
- офсетний і двосторонній металографічний друк.

4. За технологічними особливостями металографічного друку:

- з пониженим тиском в друкарському контакті;
- з нормальним тиском в друкарському контакті;
- з підвищеним тиском в друкарському контакті.

Дослідні зразки було поділено на групи (табл. 1).

Аналіз характеристик паперу, що використовувався в дослідженнях (табл. 2), показує, що експериментальні види паперу мають значно нижчу поверхневу вбирність, вищий опір роздиранню, вологоміцність, кількість подвійних перегинів.

Штучне зношування, як процес, ставить за мету детермінувати стохастичний простір подій, що відбуваються з банкнотами у реальному обігу та впливають на показників зношування банкнот, а також

визначити тенденції щодо їх зміни у процесі зношування.

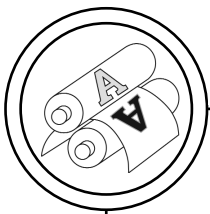
Експериментальні зразки піддавалися штучному зношуванню за допомогою імітатора зношування, приладу з автоматизованою системою управління ротаційним механізмом обертання барабану (контейнера розміром 280×220×220 мм з кришкою, затискачами та ущільненням), здатного здійснювати обертові рухи з певними параметрами (частота, рух проти та за годинниковою стрілкою).

Під час імітації зношування використовувався зношувальний агент — скляні кульки двох фракцій — діаметром 2 мм (вага 1 кг) та 3,3–3,8 мм (вага 1 кг), що забезпечило множинні механічні пошкодження банкнот.

Для надання жорсткості банкнотам в процесі імітації зношування використовувалися смужки жорсткості, вирізані з пластику товщиною 0,5 мм у формі, подібної до кістки для собак, шириною 10 мм, з отворами з кожного боку для фіксації у попередньо підготованих в дослідних зразках отворах на лівому та правому краях банкноти. Для фіксації смужок жорсткості використовують фторопластові затискачі.

В ході експериментів досліджувалися показники банкнот, що не піддавалися зношуванню, а також банкнот, що піддавалися вологості зношуванню та банкнот, що піддавалися сухому зношуванню.

За показники зношування обрано: зміни оптичних характеристик (яскравість; кольоровий зсув) та зміни розмірних структурних характеристик роз-



Таблиця 1

Експериментальні зразки, що підлягали дослідженню

Номер групи зразків	Особливості технологічного процесу	Тип основи банкнот	Тип полімерної металізованої стрічки
1	без металографічного друку**, чистий	тираж.**	занур. в масу**
	без металографічного друку, офсет	тираж.	занур. в масу
	безфарбове металографічне тиснення на чистому папері	тираж.	занур. в масу
2	односторонній** металографічний друк (понижений тиск), офсет	тираж.	занур. в масу
	односторонній металографічний (нормальний тиск), офсет	тираж.	занур. в масу
	односторонній металографічний (максимальний тиск), офсет	тираж.	занур. в масу
	двосторонній** металографічний, офсет	тираж.	занур. в масу
3	без металографічного друку, чистий	1*	занур. в масу
	без металографічного друку, чистий	2*	віконного типу
	без металографічного друку, офсет	1	занур. в масу
	без металографічного друку, офсет	2	віконного типу
4	односторонній металографічний (понижений тиск**), офсет	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (нормальний тиск**), офсет	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (максимальний тиск**), офсет	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (нормальний тиск), офсет	2	віконного типу
5	односторонній металографічний (понижений тиск), без офсету	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (нормальний тиск), без офсету	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (максимальний тиск), без офсету	1	занур. в масу
	односторонній металографічний (нормальний тиск), без офсету	2	віконного типу

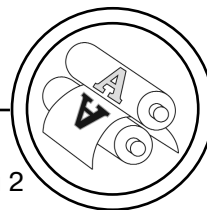
Примітка: 1\* — експериментальний папір з покриттям 1; 2\* — експериментальний папір з покриттям 2.

\*\*Тут і далі скорочення: тираж. — тиражний; занур. в масу — занурена в масу паперу, металогр. др. — металографічний друк; одностор. — односторонній; двосторон. — двосторонній; понижен. тиск — понижений тиск; норм. тиск — нормальний тиск; макс. тиск — максимальний тиск.

мірно-структурних характеристик (маса, товщина, повітропроникність).

Визначення даних характеристик відбувалось для банкнот всіх груп зразків до зношування та після кожного циклу зношування у відповідності до діючих

нормативних документів. Після проведення всіх циклів зношування також встановлювалися механічні пошкодження зразків — надриви по полімерній металізованій стрічці, надриви по крайці банкнот, загинання кутків.



Таблиця 2

Характеристики паперу, що використовувався в дослідженнях

Показники якості	Тиражний	Експериментальний 1	Експериментальний 2
Товщина, мкм	108±6	110±2	114±2
Маса, г/м <sup>2</sup>	85±4	90,3	91,5
Вологість, %	6,5–7,5	6,1	6,2
Лінійна деформація, %	2	2	2,2
Поверхнева вбирність, г/м <sup>2</sup>	20–50	12,4±0,8	11,4±1 — b; 18,5±3,6 — c
pH водної витяжки	5,5–7,0	6,9	6,5
Шорсткість, мл/хв	200–500	b = 377; c = 360	b = 428; c = 379
Непрозорість, %	85	ср = 91,0	ср = 91,0
Абсолютний опір роздиранню, мН	700	Маш. = 840; попер. = 980	Маш. = 875; попер. = 960
Вищипування	18	b = 16; c = 16	b = 16; c = 16
Подвійні згини	Маш. = 4900; попер. = 2700	Маш. = 7647; попер. = 4338	Маш. = 7168; попер. = 4342
Руйнівне зусилля, Н		Маш. = 131; попер. = 69	Маш. = 127; Попер. = 66
Відносне подовження, %	Маш. = 3,5 %; попер. = 7,5 %	Маш. = 5,2 %; попер. = 9,9 %	Маш. = 5,6 %; попер. = 9,4 %
Вологоміцність, %	35,0	50,4	50,4
Зольність, %	2–3	3	3

Вологе зношування 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 до 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. Як забруднювальні було обрано такі речовини:

1. Тверді забруднювальні речовини:

— біла глина, як аналог гідрофільного сухого броду з

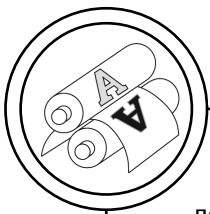
розвиненою морфологією поверхні;

2. Рідкі забруднювальні речовини:

— 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. Дані речовини, зазвичай, викликають пожовтіння банкноти;

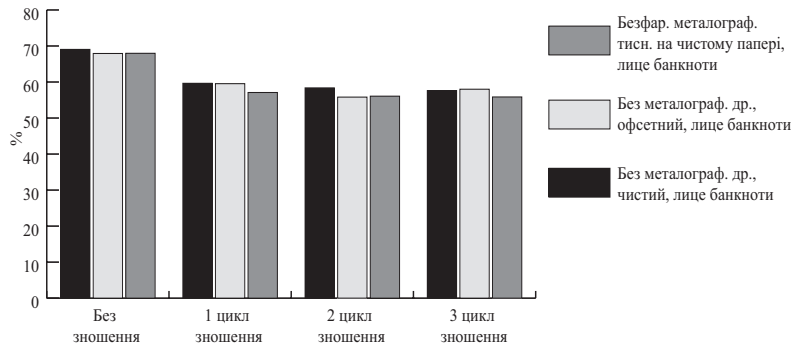
— штучна речовина, що за своїм складом близька до складу людського поту (хлорид натрію (4,5 г); хлорид калію (0,3 г); хлорид амонію (0,4 г); сульфат натрію (0,3 г); молочна кислота, 80 % (3,0 мл); сечовина (0,2 г); дистильована вода (1000 мл).



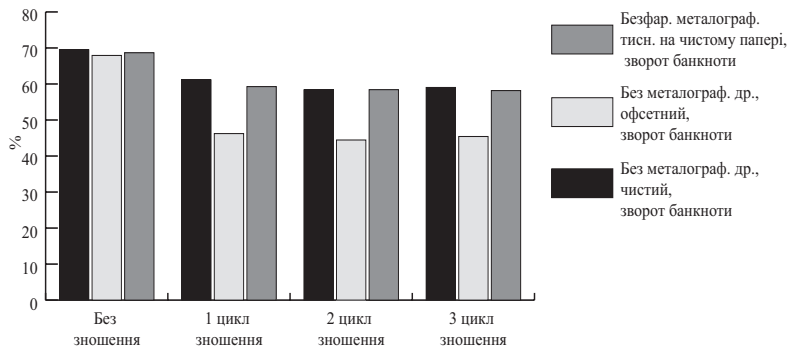
Суше зношування проводиться без використання забруднювальних речовин та зі збільшенням часу перебування зразків в імітаторі до 120 хв.

В результаті зношування відбуваються зміни оптичних характеристик зразків: відбу-

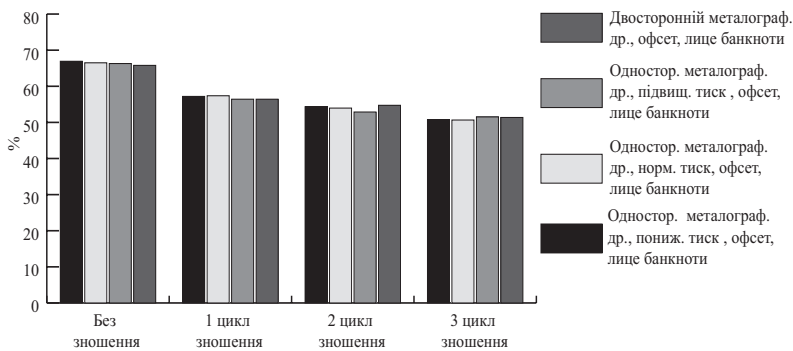
вається зсув координат кольору, зменшуються значення світлоти та яскравість банкнот. На рис. 1 (а-и) подано графічні залежності яскравості лиця та звороту банкнот від циклу та методу зношування для всіх груп зразків.



а

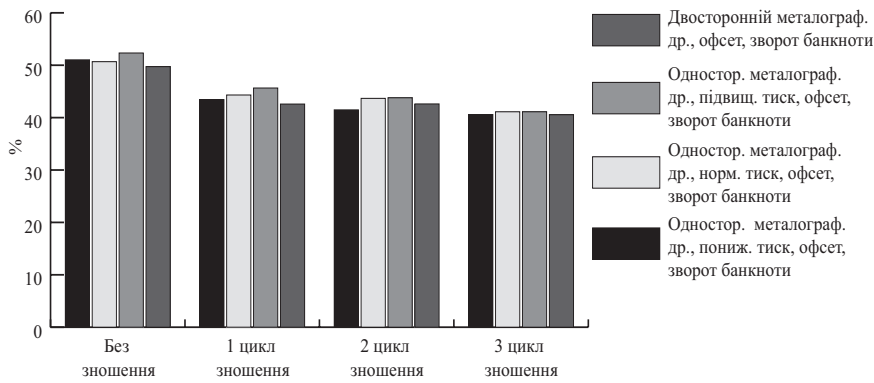
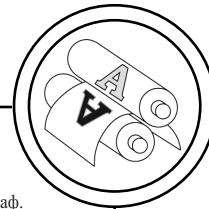


б

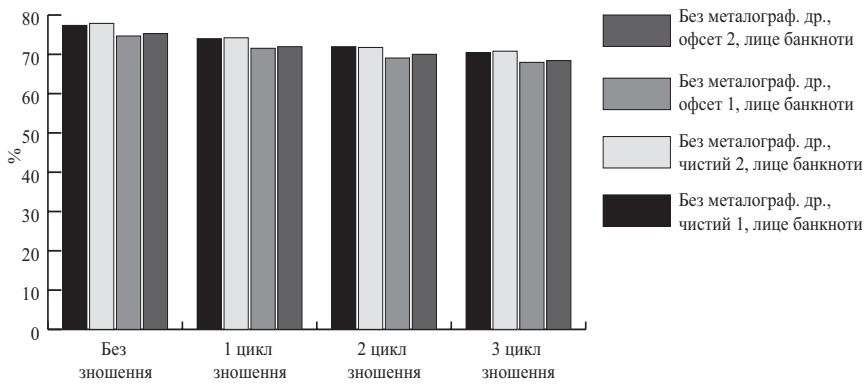


в

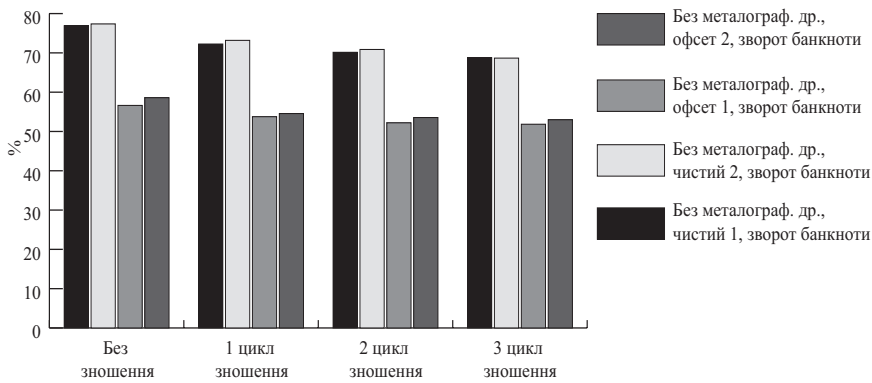
Рис. 1. Динаміка зміни значень яскравості банкнот різного типу залежно від методу зношування. Початок



Г

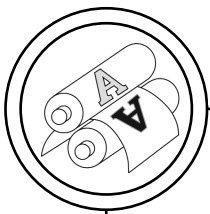


Д



Е

Рис. 1. Динаміка зміни значень яскравості банкнот різного типу залежно від методу зношування. Продовження



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

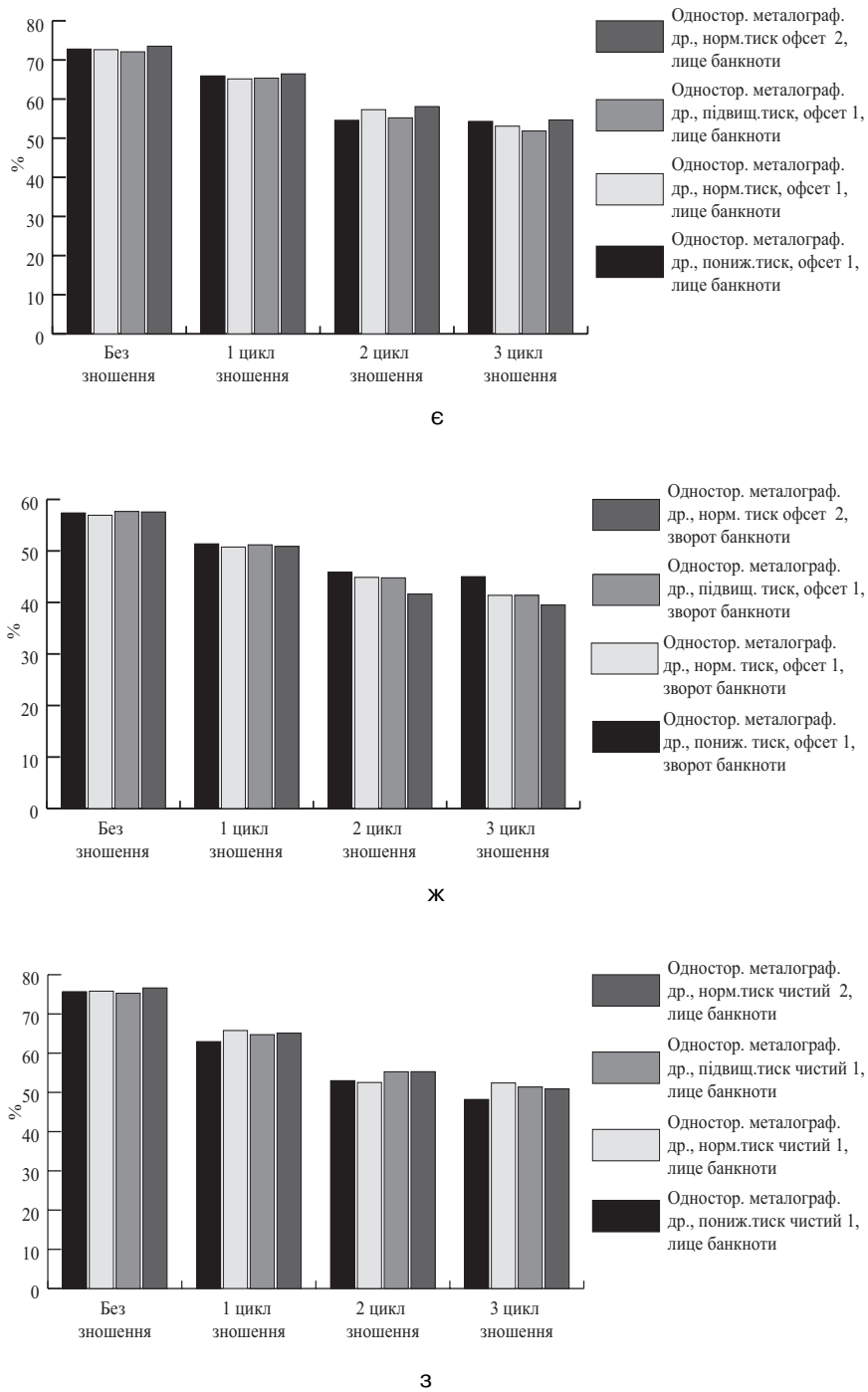


Рис. 1. Динаміка зміни значень яскравості банкнот різного типу залежно від методу зношування. Продовження

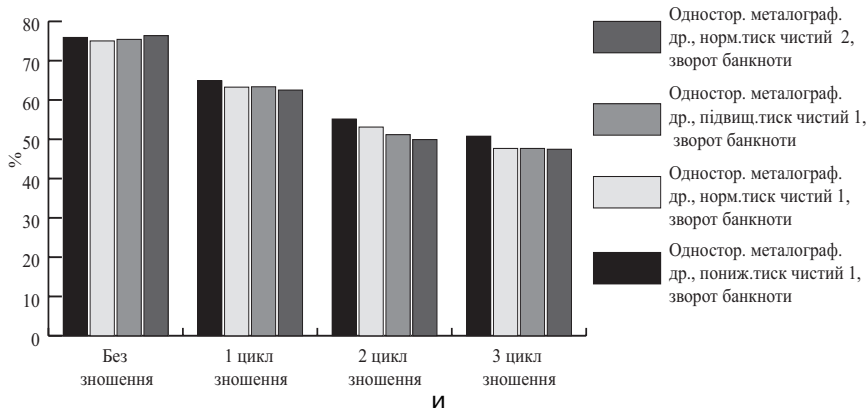
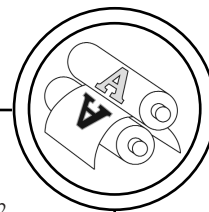
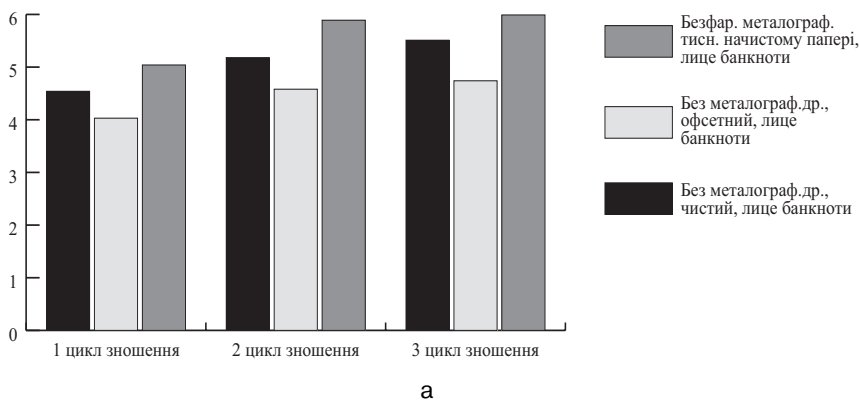
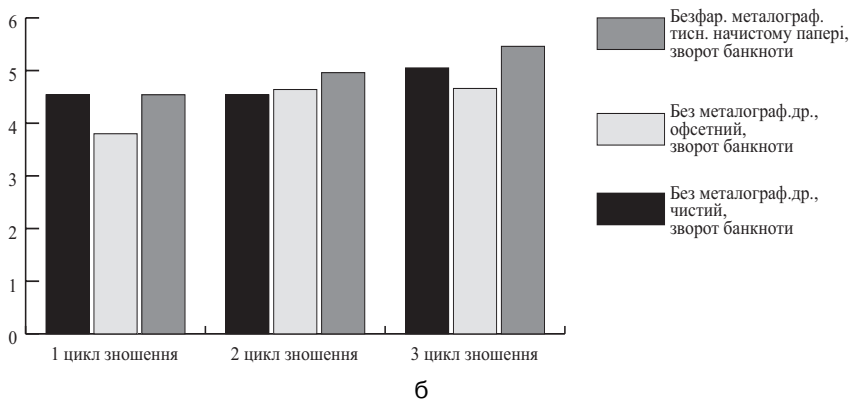


Рис. 1. Динаміка зміни значень яскравості банкнот різного типу залежно від методу зношування. Закінчення

Визначення колірних характеристик в кольоровому просторі CIELab дозволяє за допомогою величини кольорового зсуву  $\Delta E$  чисельно виразити відмінність між кольором зразків після кожного етапу зношування. Графічне відображення отриманих результатів подано на рис. 2 (а-б).



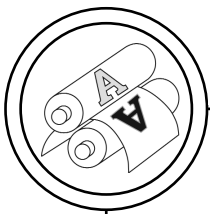
а



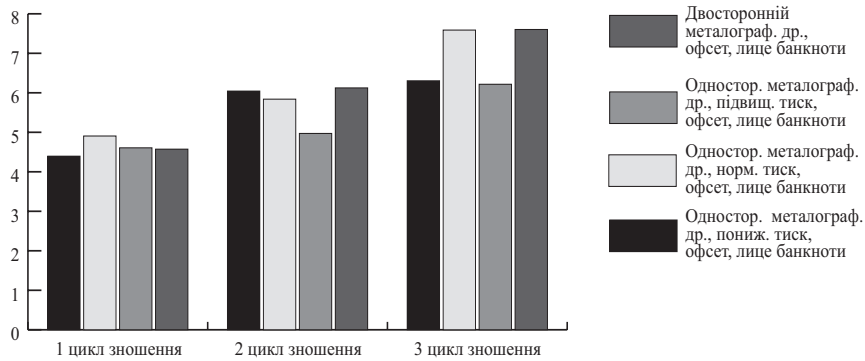
б

Рис. 2. Динаміка зміни значень кольорового зсуву банкнот різного типу залежно від ступеню зношування. Початок

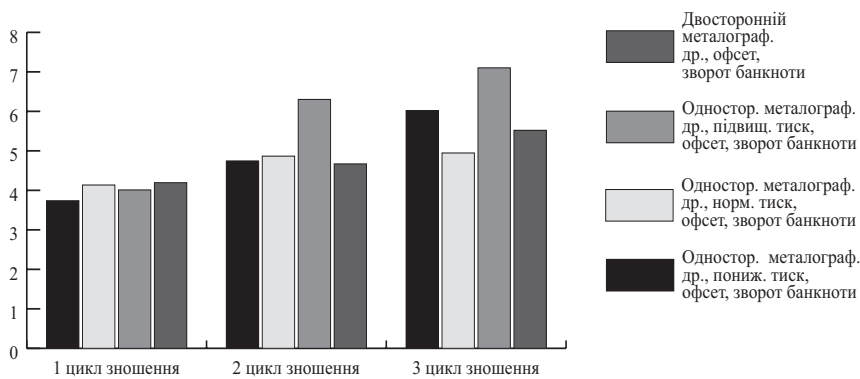




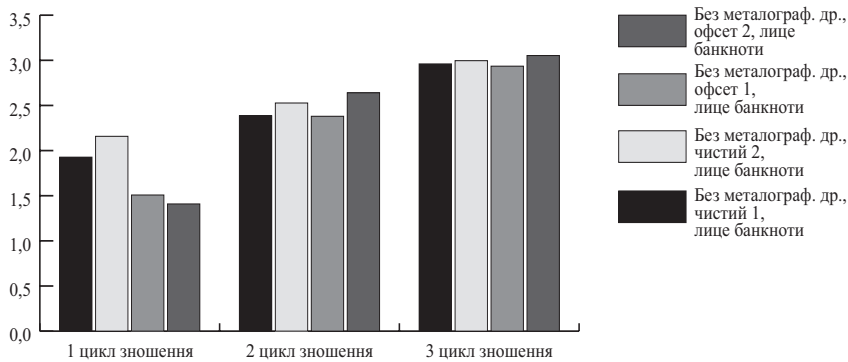
## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



В



Г



Д

Рис. 2. Динаміка зміни значень кольорового зсуву банкнот різного типу залежно від ступеню зношування. Продовження

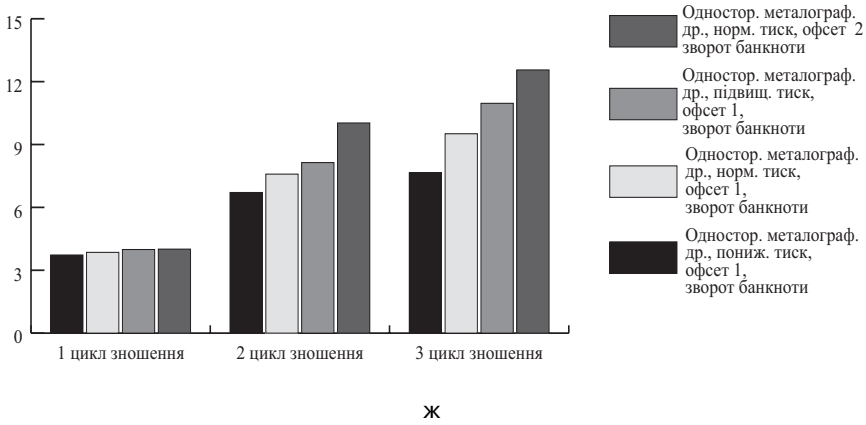
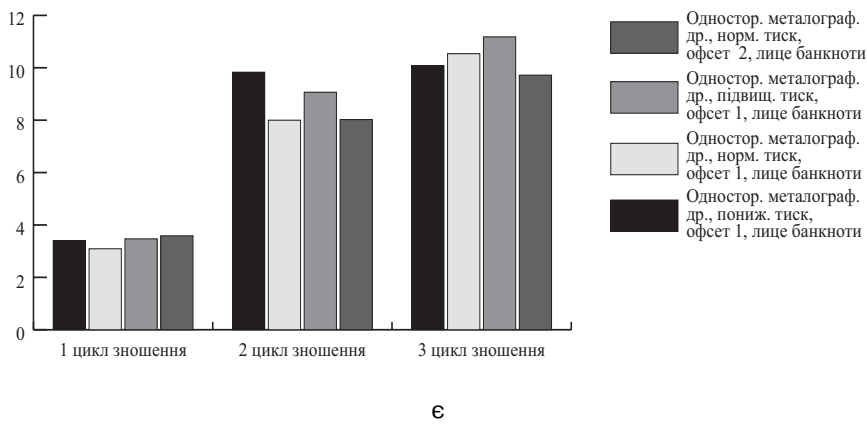
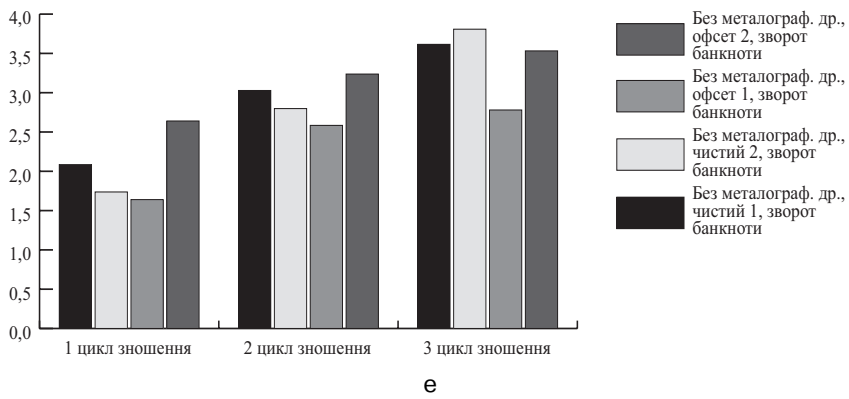
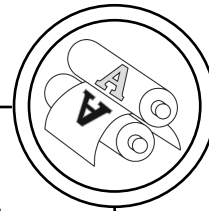
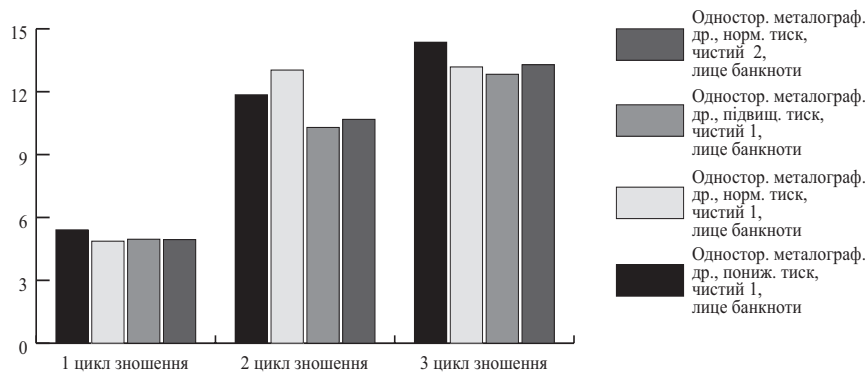
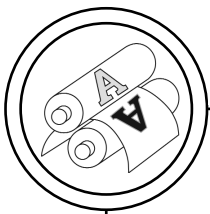
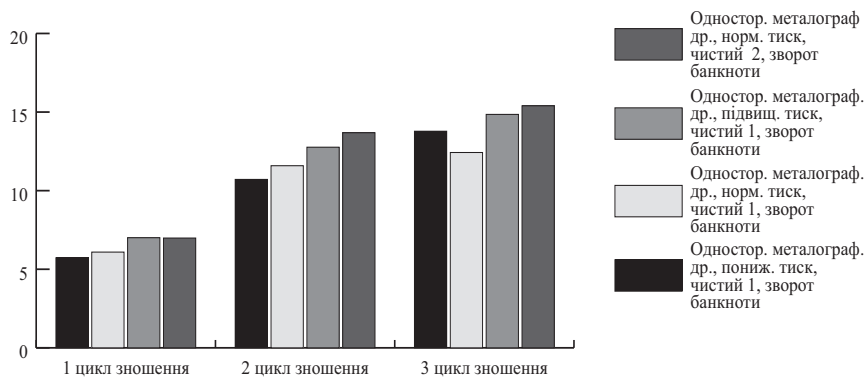


Рис. 2. Динаміка зміни значень кольорового зсуву банкнот різного типу залежно від ступеню зношування. Продовження



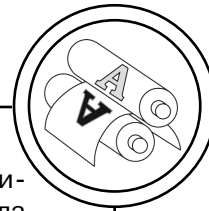
з



и

Рис. 2. Динаміка зміни значень кольорового зсуву банкнот різного типу залежно від ступеню зношування. Закінчення

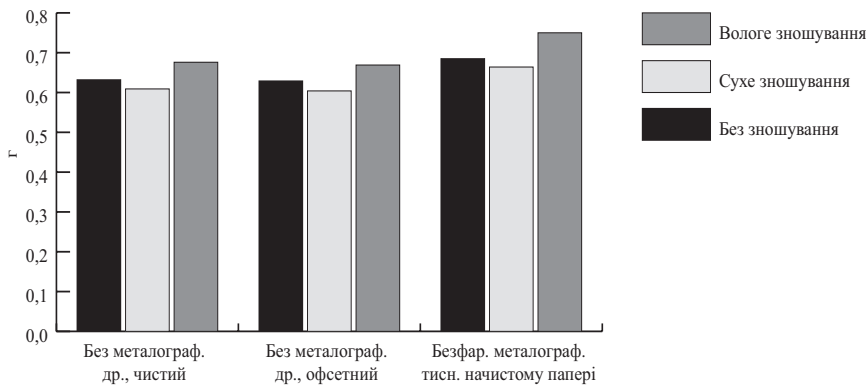
З отриманих залежностей можна зробити висновки, що яскравість банкнот у процесі їх зношування зменшується і найстрімкіше її зменшення відбувається на банкнотах, що належать до 5 групи зразків (зменшення яскравості у середньому більш ніж на 25 %). Найкращі показники мали банкноти третьої групи зношування (без металографічного друку, офсет 1). Найбільше зростання кольорового зсуву спостерігається на зразках четвертої та п'ятої груп (кольоровий зсув після третього зношування порівняно з першим зростає у середньому на 6–7 одиниць). Таким чином, зразки, виготовлені на експериментальних видах паперу з використанням



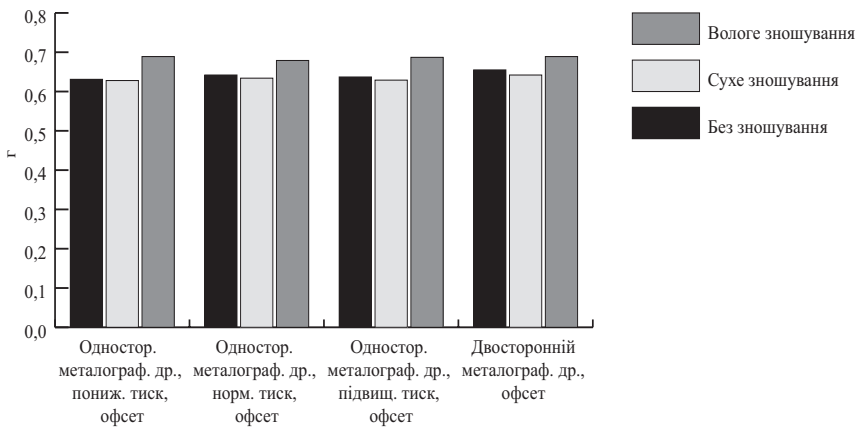
металлографічного друку, у процесі штучного зношування зазнали найбільших змін оптичних характеристик. Даний факт може бути пояснено руйнуванням фарби металлографічного друку в процесі штучного зношування та включенням залишків фарби до складу забруднювальної суміші. Таким чином, фарба інтаглідруку внаслідок її недо-

статньої адгезії до експериментальних видів паперу стала додатковим забруднювальним чинником.

Результати дослідження зміни розмірно-структурних характеристик, а саме маси та товщини банкнот, у процесі їх зношування подані графічними залежностями на рис. 3 (а-и) та рис. 4 (а-д) відповідно.

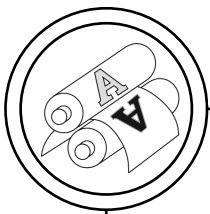


а

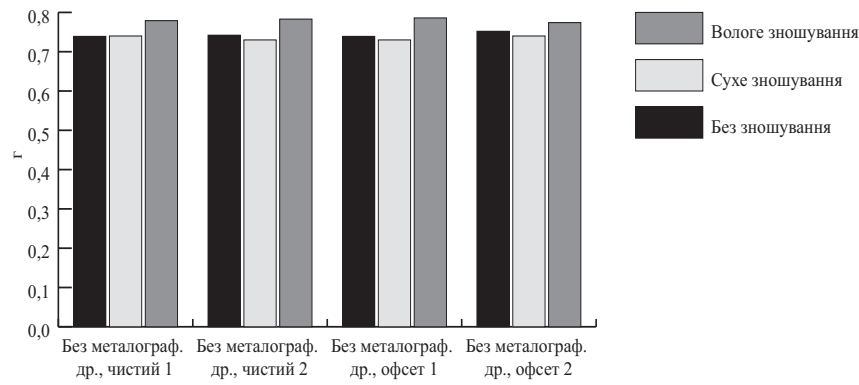


б

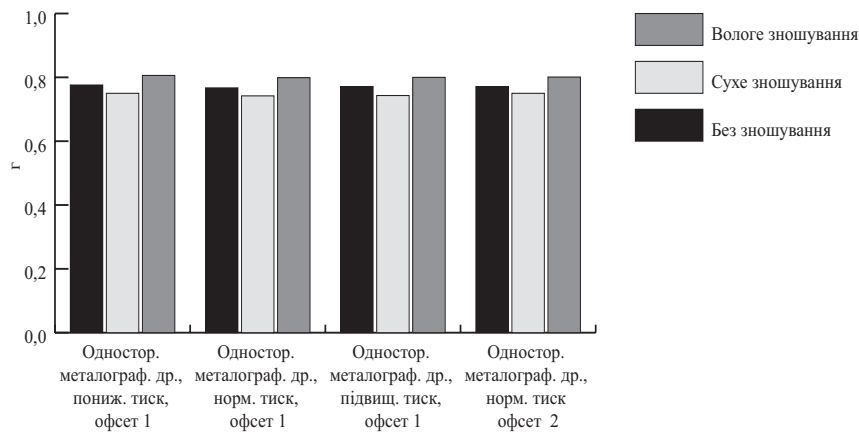
Рис. 3. Динаміка зміни значень маси банкнот різного типу залежно від методу зношування. Початок



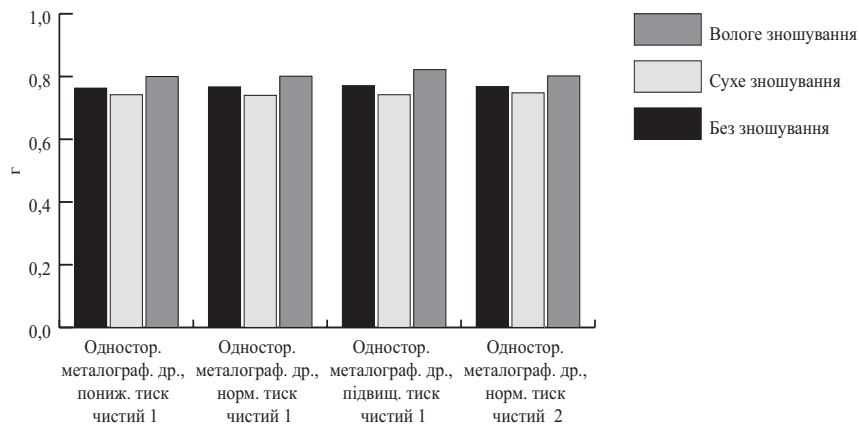
## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



В

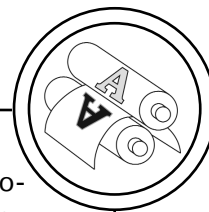


Г



Д

Рис. 3. Динаміка зміни значень маси банкнот різного типу залежно від методу зношування. Закінчення



З отриманих залежностей видно, що маса банкнот при їх вологому зношуванні має тенденцію до зростання, а при сухому, навпаки, до зменшення. Це можна пояснити тим, що забруднювальні речовини, присутні при вологому зношенні, накопичуються на банкнотах під час імітації зношування та збільшують їхню масу. Під час сухого зношення внаслідок механічного впливу зношувальних агентів відбувається часткове руйнування шару інтагліодруку, що призводить до незначного зменшення маси зразків. Треба відзначити, що зміна даної величини відбувається лінійно та майже однаково по всіх групах зразків.

Товщина банкнот у процесі їх зношування також має тенденцію до зростання, хоча й не залежить від вибору методу зношування. Її різке збільшення відбувається після першого

циклу зношування (в середньому на 5,5 %) по всіх групах зразків. Це відбувається за рахунок розпушення структури паперової основи. Як під час вологого, так і сухого зношування найсуттєвіше збільшується товщина зразків банкнот, виготовлених на тиражному папері. Варто також відзначити, що товщина зразків, підданих сухому зношуванню, збільшилася помітніше, що можна пояснити більшим розпушенням структури паперу, в той час як під час вологого зношування присутність рідких забруднювальних речовин збільшує еластичність волокон, стримуючи процес розпушення. Така відмінність практично відсутня для зразків, виготовлених із застосуванням двостороннього інтагліодруку, що обумовлено сильним каландрувальним ефектом цього виду друку.

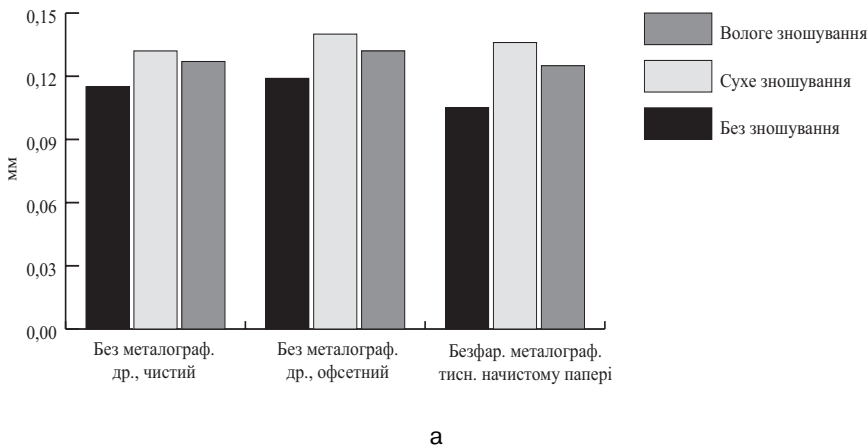
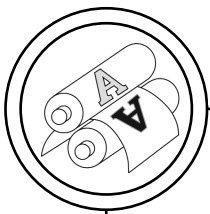


Рис. 4. Динаміка зміни значень товщини банкнот різного типу залежно від методу зношування. Початок



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

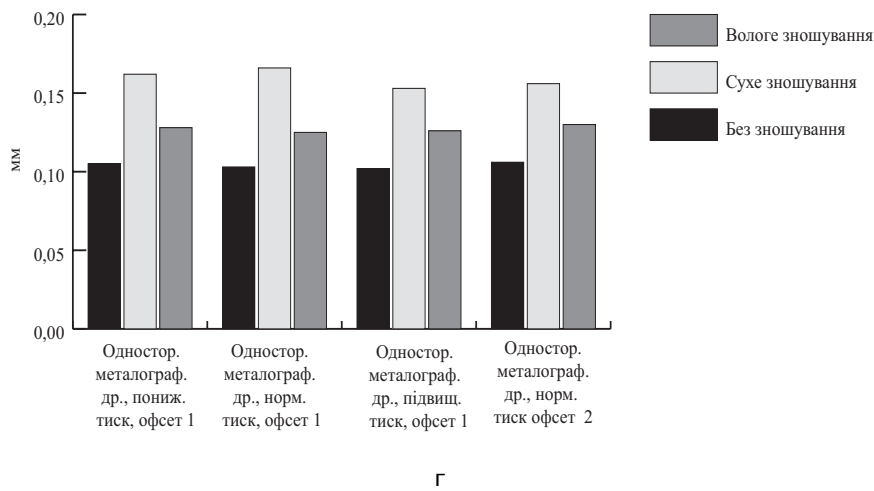
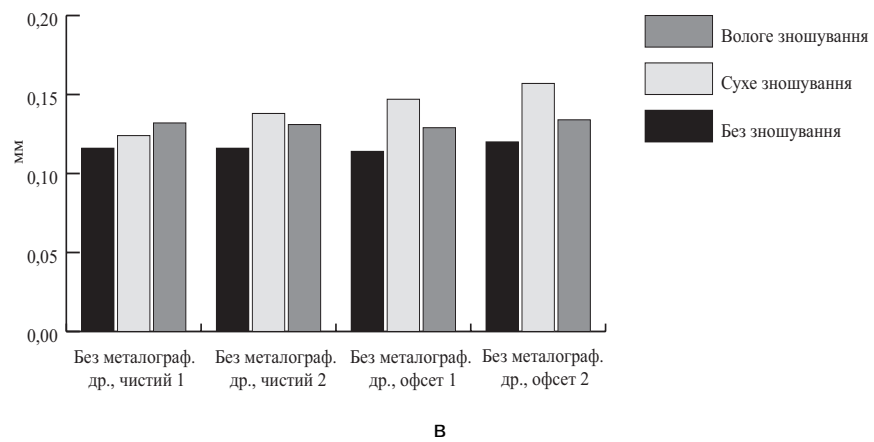
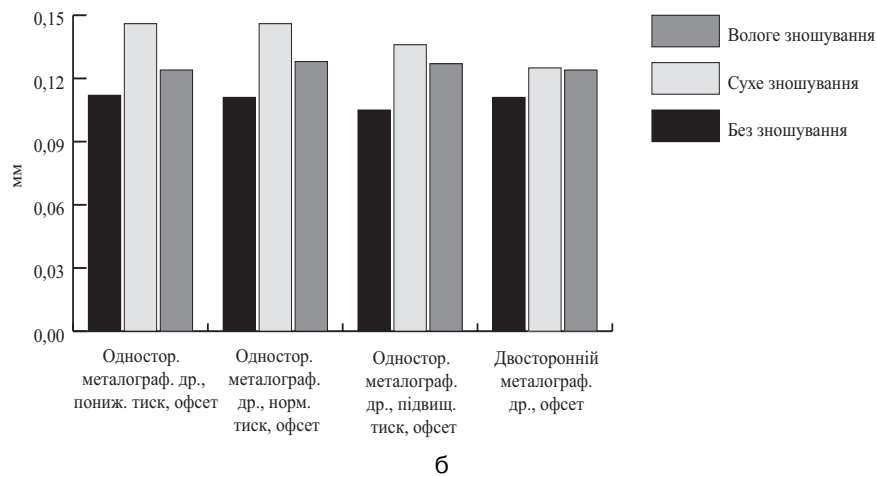
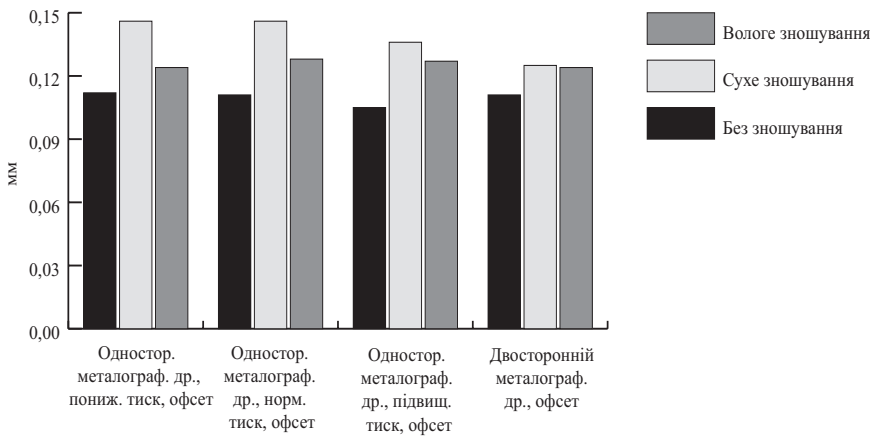
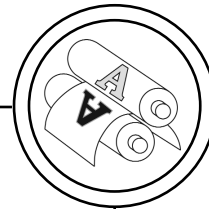


Рис. 4. Динаміка зміни значень товщини банкнот різного типу залежно від методу зношування. Продовження



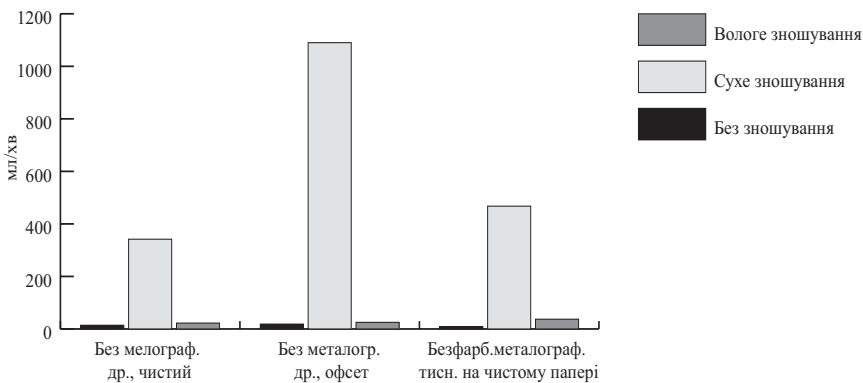
д

Рис. 4. Динаміка зміни значень товщини банкнот різного типу залежно від методу зношування. Закінчення

Спостерігається набагато помітніше збільшення повітропроникності зразків, зношених сухим способом, що підтверджує вже висловлене припущення про розпушення структури паперу під час сухого зношування (рис. 5, а–д). Експериментальні види паперу демон-

струють значно менше збільшення повітропроникності за умов обох видів зношування.

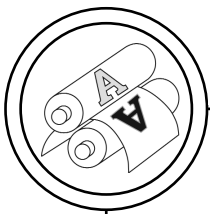
Найменша зміна повітропроникності під час штучного сухого та вологого зношення — у зразків четвертої групи, що виготовлені на експерименталь-



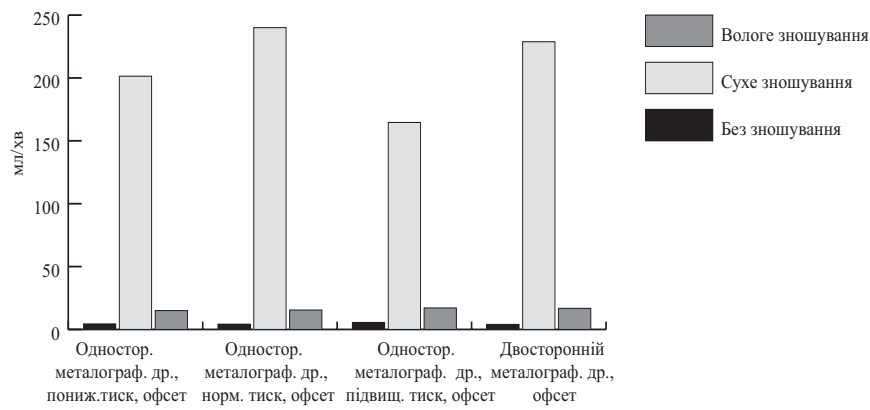
а

Рис. 5. Динаміка зміни значень повітропроникності банкнот різного типу залежно від методу зношування. Початок

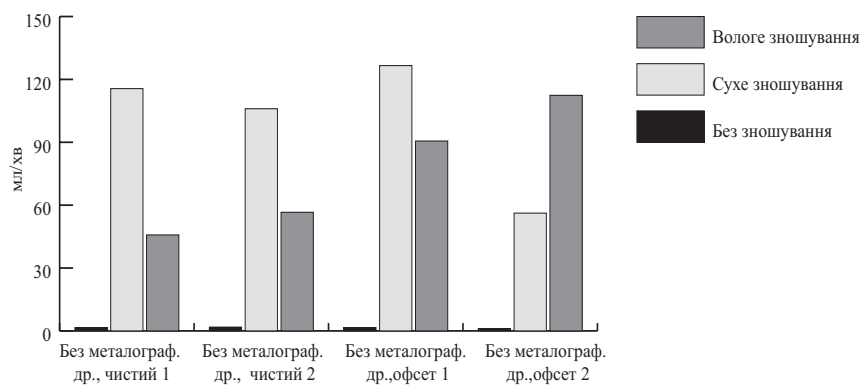




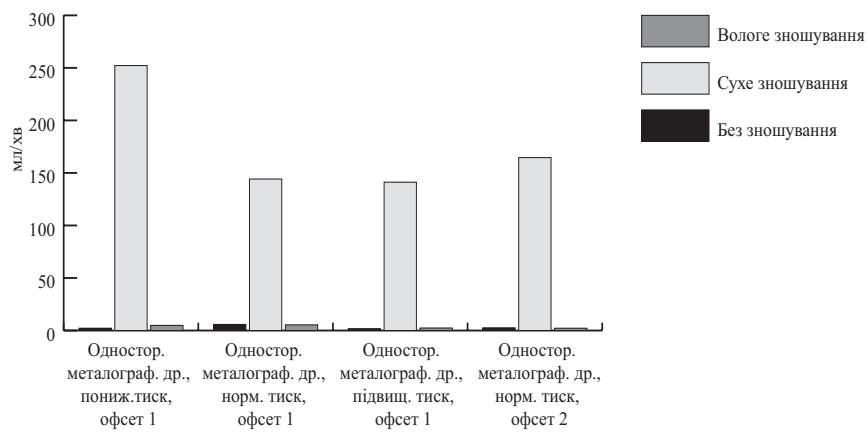
## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



б

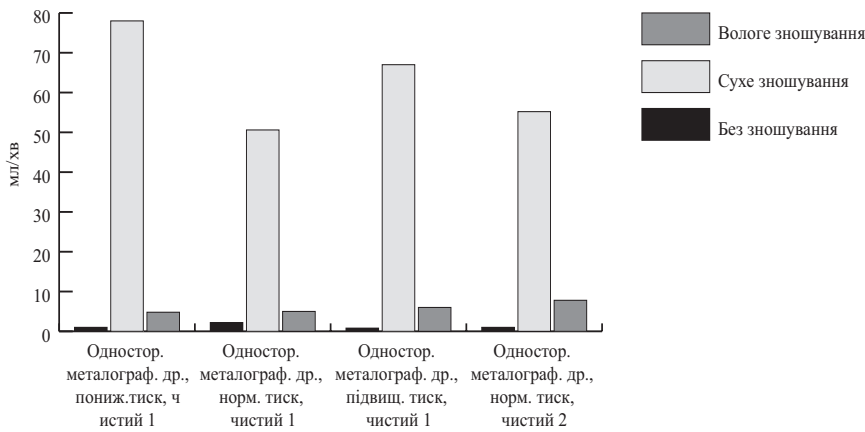
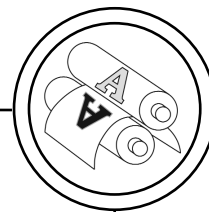


в



г

Рис. 5. Динаміка зміни значень повітропроникності банкнот різного типу залежно від методу зношування. Продовження



Д

Рис. 5. Динаміка зміни значень повітропроникності банкнот різного типу залежно від методу зношування. Закінчення

ному папері 1 із застосуванням одностороннього металографічного друку з підвищеним тиском, та у зразків, які виготовлені на експериментальному папері 2 з застосуванням металографічного друку з нормальним тиском.

У результаті зношування на експериментальних зразках відбулося утворення множинних надривів крайки, а також надривів по полімерній стрічці. Урахування даних про надриви дає змогу чітко оцінити міцнісні характеристики досліджуваних зразків. Для графічного представлення отриманих результатів щодо надривів було обраховано середню величину сумарного розриву серед банкнот кожного виду (рис. 6). Надриви, що утворились в місцях розташування полімерної металізо-

ваної стрічки дають змогу оцінити ступінь її закріплення в масі, а отже і ступінь міцності паперової основи.

Аналіз отриманих даних (рис. 6) дозволяє зробити висновки, що найменших деформаційних змін у процесі штучного зношення зазнали зразки, що виготовлені на експериментальному папері 2 (з полімерною металізованою стрічкою віконного типу). Отже, застосування полімерної металізованої стрічки віконного типу дозволяє підвищити зносостійкість банкнот.

Важливим показником зносостійкості банкнот є кількість загнутих та втрачених кутиків, оскільки наявність таких пошкоджень перешкоджає використанню банкнот у банкоматах. За цим показником експериментальні види паперу, і особливо

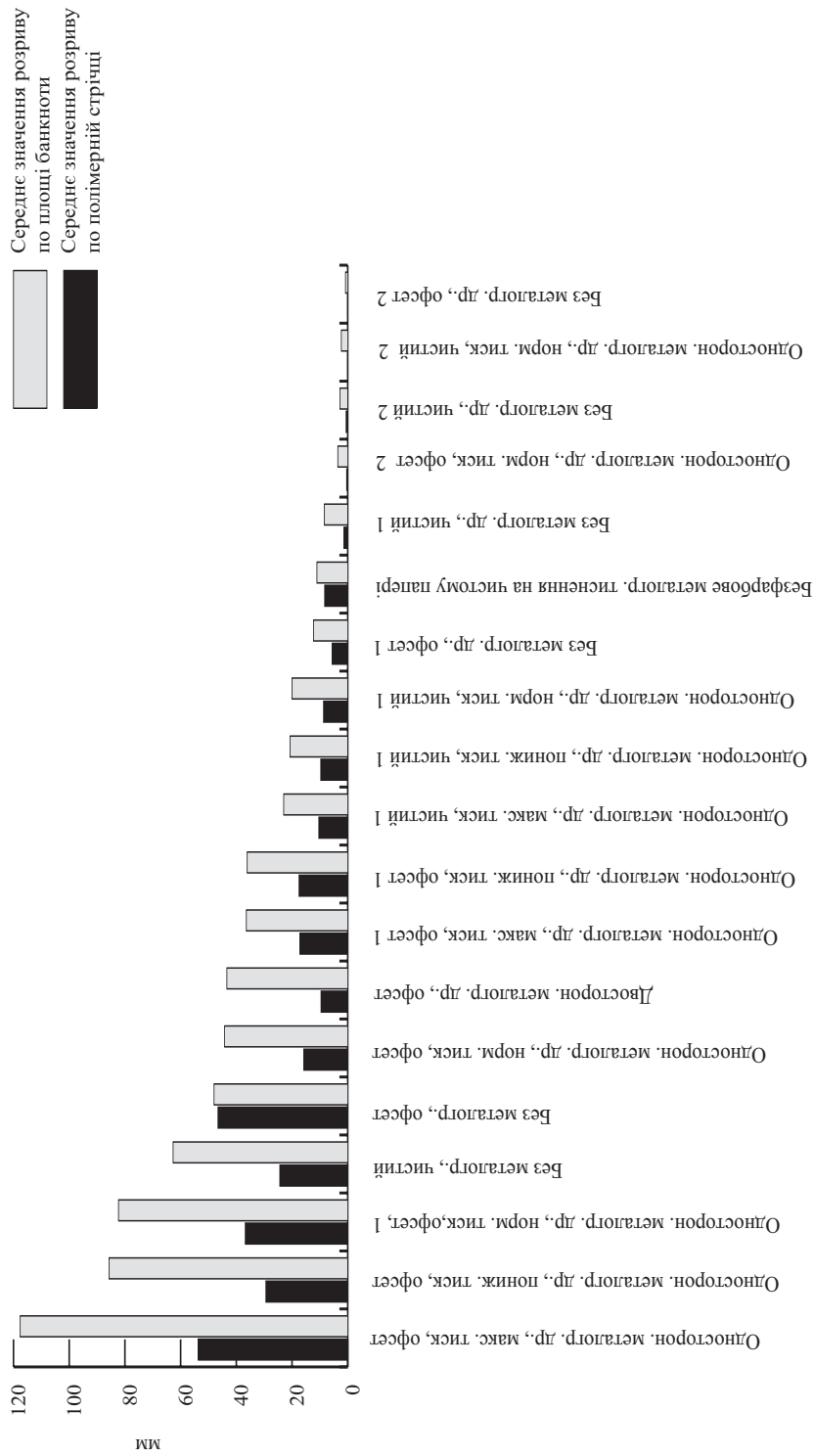
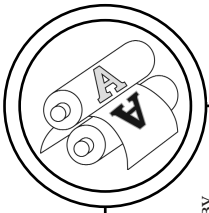


Рис. 6. Середня величина сумарних розривів по полімерній стрічці та по площі банкноти

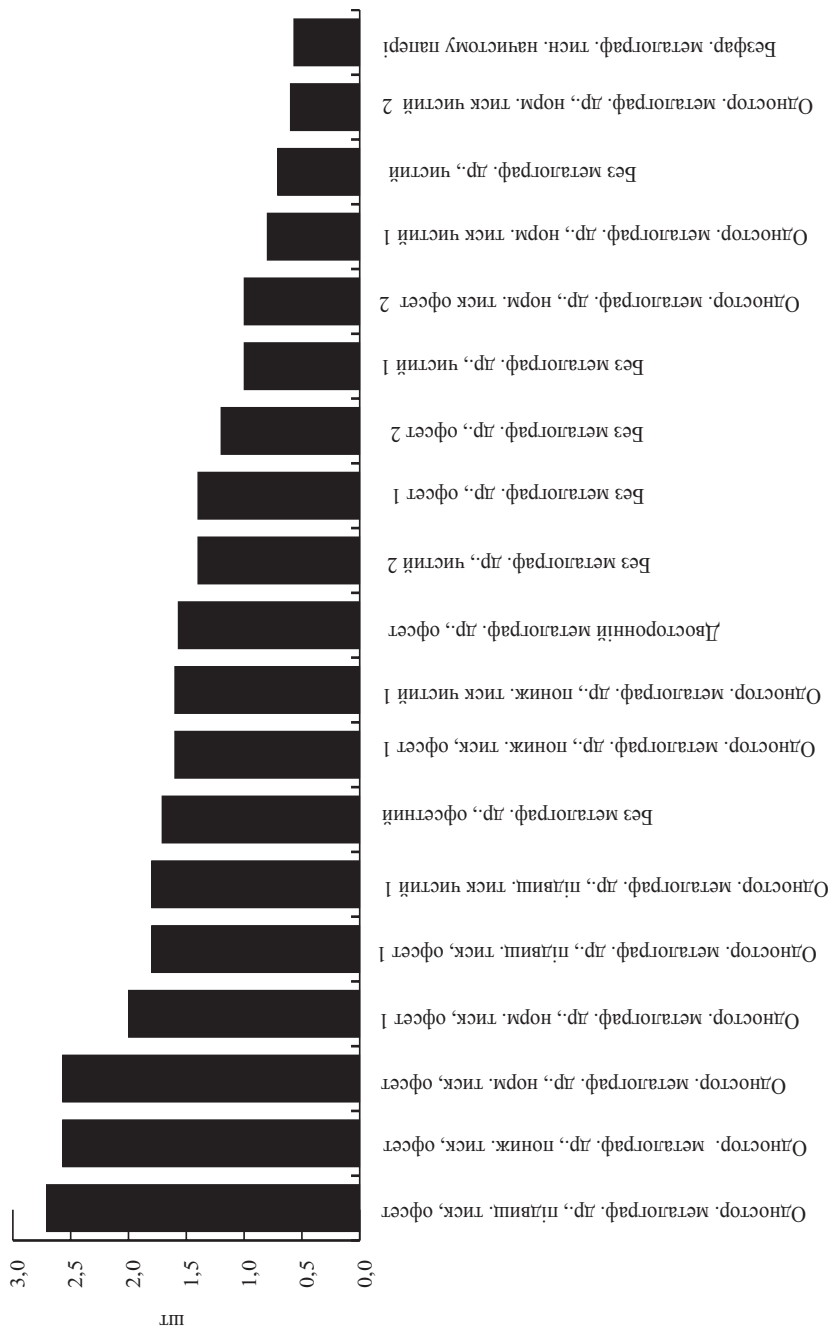
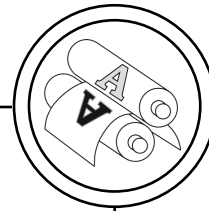
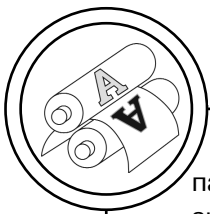


Рис. 7. Середня кількість загнутих кутиків на одну банкноту



папір з стрічкою віконного типу, значно переважають тиражний папір (рис. 7).

### Висновки

У результаті проведеного дослідження зміни характеристик зносостійкості експериментальних зразків банкнот при імітації їх зношування можна зробити наступні висновки:

— зразки, виготовлені на тиражному банкнотному папері, демонструють кращі оптичні характеристики в процесі їх зношування, аніж зразки, виконані на експериментальних паперах. Високі показники кольорового зсуву зразків, виготовлених на експериментальних видах банкнотного паперу, викликані руйнуванням фарби металографічного друку в процесі штучного зношування та включенням залишків фарби до складу забруднювальної суміші. Таким чином, фарба інтаглідруку внаслідок її недо-

статньої адгезії до експериментальних видів паперу стала додатковим забруднювальним чинником;

— зразки, виготовлені на експериментальних видах паперу, демонструють кращі міцнісні характеристики;

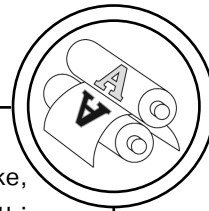
— зразки із полімерною металізованою стрічкою віконного типу, виконані на експериментальному папері 2, мають найкращі механічні деформаційні характеристики;

— підвищення тиску в друкарській парі при металографічному друці, а також застосування двостороннього інтаглідруку підвищує міцнісні показники банкнот при їх зношуванні за рахунок каландрувального ефекту.

Як напрямок подальших досліджень рекомендується провести аналіз можливих причин поганої адгезії фарб металографічного друку до експериментальних банкнотних паперів з висуненням рекомендацій щодо їх усунення.

1. Jan-Mark Geusebroek, Peter Markus, Peter Balke. Learning banknote Fitness for Sorting. — DNB Betalingsverkeer. Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Шлях доступу : <http://www.dnb.nl/binaries>.  
2. From Fit to Unfit: How Banknotes Become Soiled. — Peter Balke, Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Шлях доступу : <http://www.dnb.nl/binaries>.  
3. Tom Buitelaar. The Colour of Soil. — DNB Cash Seminar 2008/ Amsterdam, 28-29 February, 2008. — De Nederlandsche Bank NV. — Шлях доступу : <http://www.dnb.nl/binaries>.  
4. New Soiling Test Method : Anti-Dirty Fingers. — Peter Balke, Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Шлях доступу : <http://www.dnb.nl/binaries>.

1. Jan-Mark Geusebroek, Peter Markus, Peter Balke. Learning banknote Fitness for Sorting. — DNB Betalingsverkeer. Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Шлях доступу : <http://www.dnb.nl/binaries>.



ries. 2. From Fit to Unfit: How Banknotes Become Soiled. — Peter Balke, Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Shliakh dostupu : <http://www.dnb.nl/binaries>. 3. Tom Buitelaar. The Colour of Soil. — DNB Cash Seminar 2008/ Amsterdam, 28-29 February, 2008. — De Nederlandsche Bank NV. — Shliakh dostupu : <http://www.dnb.nl/binaries>. 4. New Soiling Test Method : Anti-Dirty Fingers. — Peter Balke, Cash Policy Department, De Nederlandsche Bank NV. — Shliakh dostupu : <http://www.dnb.nl/binaries>.

Рецензент — О. І. Лотоцька, к.т.н.,  
доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 20.12.12